



EESTI
GEOLOOGIATEENISTUS

Põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid 2025



TARTU 2025

Kaanefoto: Põhjaveeseiresüsteemist sõltuv ökosüsteem Piigastes. Autor Magdaleena Männik.

Soovitav viitamine: Marandi, A., Kuusma, E., Männik, M., Osjamets, M., Pärn, J., Raidla, V., 2025.

Põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid 2025. Eesti Geoloogiateenistus. EGF 4725.

KINNITATUD

Eesti Geoloogiateenistuse

Teadusnõukogu otsusega nr 26-11

Põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid

UURIMISTÖÖ ARUANNE

Töögrupi juht: Andres Marandi

Töögrupi liikmed: Elina Kuusma

Magdaleena Männik

Madis Osjamets

Joonas Pärn

Valle Raidla

TARTU 2025

Sisukord

SISUKORD.....	4
ANNOTATSIOON.....	7
SISSEJUHATUS	8
1 HÜDROGEOLOOGILINE TAUST	10
1.1 PÕHJAVEE TEKE JA HULK EESTIS.....	10
1.2 EESTI PÕHJAVEEKIHID.....	12
1.2.1 Põhjaveekihtide rajoneerimine	12
1.2.2 Põhjaveekihtide keemilist koostist mõjutavad tegurid	15
1.3 PÕHJAVEE KASUTUSE MÕJU JA PÕHJAVEEKIHTIDE BILANSS	19
2 EESTI PÕHJAVEEKOGUMID.....	22
2.1 PÕHJAVEEKOGUMI MÕISTE	22
2.2 EESTI PÕHJAVEEKOGUMID	22
2.3 PÕHJAVEEKOGUMITE BILANSS.....	27
2.4 PÕHJAVEEKOGUMITE SURVETEGURID	33
2.5 PÕHJAVEEKOGUMITE LÄVIVÄÄRTUSED.....	34
2.6 PÕHJAVEEKOGUMITE SEIREVÕRGU ANALÜÜS	35
2.7 PÕHJAVEEST SÕLTUVAD ÖKOSÜSTEEMID	36
2.8 PIIRIÜLESED PÕHJAVEEKOGUMID.....	38
2.8.1 WaterAct projekt.....	38
2.8.2 EU-Waterres projekt.....	41
KOKKUVÕTE	45
KASUTATUD KIRJANDUS.....	47
PÕHJAVEEKOGUMITE KONTSEPTUAALSE MUDELID	51
PVK1. KAMBRIUMI-VENDI GDOVI PÕHJAVEEKOGUM	52
PVK 2. KAMBRIUMI-VENDI VORONKA PÕHJAVEEKOGUM	63
PVK 3. KAMBRIUMI-VENDI PÕHJAVEEKOGUM.....	74
PVK 4. ORDOVIITSIUMI-KAMBRIUMI PÕHJAVEEKOGUM LÄÄNE-EESTI VESIKONNAS	85
PVK 5A. ORDOVIITSIUMI-KAMBRIUMI VIRUMAA PÕHJAVEEKOGUM	97
PVK 5b. ORDOVIITSIUMI-KAMBRIUMI TARTU PÕHJAVEEKOGUM	111
PVK 6. ORDOVIITSIUMI IDA-VIRU PÕHJAVEEKOGUM	123
PVK 7. ORDOVIITSIUMI IDA-VIRU PÕLEVKIVIBASSEINI PÕHJAVEEKOGUM	137

PVK 8. SILURI-ORDOVIITSIUMI HIIUMAA PÕHJAVEEKOGUM.....	153
PVK 9. SILURI SAAREMAA PÕHJAVEEKOGUM	164
PVK 10. SILURI-ORDOVIITSIUMI HARJU PÕHJAVEEKOGUM	181
PVK 11. SILURI-ORDOVIITSIUMI MATSALU PÕHJAVEEKOGUM.....	197
PVK 12. SILURI-ORDOVIITSIUMI PÄRNU PÕHJAVEEKOGUM	212
PVK 13. SILURI-ORDOVIITSIUMI PÕHJAVEEKOGUM IDA-EESTI VESIKONNAS	225
PVK 14. PANDIVERE SILURI-ORDOVIITSIUMI PÕHJAVEEKOGUM LÄÄNE-EESTI VESIKONNAS	240
PVK 15. SILURI-ORDOVIITSIUMI PANDIVERE PÕHJAVEEKOGUM IDA-EESTI VESIKONNAS	258
PVK 16. SILURI-ORDOVIITSIUMI ADAVERE-PÕLTSAMAA PÕHJAVEEKOGUM IDA-EESTI VESIKONNAS	276
PVK 17. SILURI-ORDOVIITSIUMI PÕHJAVEEKOGUM DEVONI KIHTIDE ALL LÄÄNE-EESTI VESIKONNAS.....	290
PVK 18. SILURI-ORDOVIITSIUMI PÕHJAVEEKOGUM DEVONI KIHTIDE ALL IDA-EESTI VESIKONNAS.....	302
PVK 19. KESK-ALAM-DEVONI RUHNU PÕHJAVEEKOGUM.....	313
PVK 20. KESK-ALAM-DEVONI KIHNU PÕHJAVEEKOGUM	322
PVK 21. KESK-ALAM-DEVONI PÕHJAVEEKOGUM LÄÄNE-EESTI VESIKONNAS	331
PVK 22. KESK-ALAM-DEVONI PÕHJAVEEKOGUM IDA-EESTI VESIKONNAS	344
PVK 23. KESK-DEVONI PÕHJAVEEKOGUM LÄÄNE-EESTI VESIKONNAS	357
PVK 24. KESK-DEVONI PÕHJAVEEKOGUM IDA-EESTI VESIKONNAS.....	370
PVK 25. KESK-DEVONI PÕHJAVEEKOGUM KOIVA VESIKONNAS	390
PVK 26. ÜLEM-DEVONI PÕHJAVEEKOGUM.....	403
PVK 27. KVATERNAARI VASAVERE PÕHJAVEEKOGUM	414
PVK 28. KVATERNAARI MELTSIVESKI PÕHJAVEEKOGUM	425
PVK 29. KVATERNAARI MÄNNIKU-PELGURANNA PÕHJAVEEKOGUM.....	435
PVK 31. KVATERNAARI PRANGLI PÕHJAVEEKOGUM	445

Tabelite nimekiri

Tabel 1. Põhjaveekogumite rajoneerimine sõltuvalt asukohast ning sügavusest.....	25
Tabel 2. Eesti põhjaveekogumite looduslik ressurss, kinnitatud põhjaveevaru ning veevõtt.	30
Tabel 3. WaterAct projektis kokkulepitud Eesti ja Läti piiriüleses ala soovituslikud põhjaveeseire punktid ühtlustatud seirevõrgus (Borizdins jt., 2022).	39
Tabel 4. WaterAct projektis kokkulepitud Eesti ja Läti piiriülese ala soovituslikud põhjaveeseire kvaliteedi komponendid ühtlustatud seireks (Borizdins jt., 2022).	40

Jooniste nimekiri

Joonis 1. Eesti põhjavee bilanss.....	10
Joonis 2. Eesti põhjaveekihtide ja veepidede levik ja rajoneerimine (A) ning paigutus läbilõikes (B). Joonisel: D ₂ – Kesk-Devoni põhjaveekiht, D _{2nr} – Narva veepide, D ₂₋₁ – Alam-Kesk-Devoni veekompleks, S-O – Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekompleks/veepide, O-Cm – Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks, C _{1lk-ln} – Kambriumi sinisavi veepide, Cm-V – Kambriumi-Vendi põhjaveekompleks, V _{2vr} – Voronka veekiht, V _{2kt} – Kotlini veepide, V _{2gd} – Gdovi veekiht, PR ₁ – aluskorra kristalsed kivimid.....	14
Joonis 3. Tasakaalus põhjaveekogum looduslikus seisundis (üleval) ning põhjavee tarbimise korral (all). (Seward jt., 2006)	20
Joonis 4. Maapinnalt esimeste põhjaveekogumite levik kaardipildis (A) ning põhjaveekogumite vertikaalne paiknemine põhjaveekihtides läbilõigetel (B). Põhjaveekogumite nimede vastavus numbritele on esitatud tabelis 1. Kaardil (A) toodud joones SN ja WE tähistavad läbilõigete (B) asukohta.....	26
Joonis 5. Eesti ja Läti piiriülesed põhjaveekogumid: A - Kesk-Alam-Devoni põhjaveekompleks, B - Ülem-Kesk-Devoni põhjaveekompleks ja C - Ülem-Devoni põhjaveekompleks (Borzdins jt., 2022). Eesti Põhjaveekogumite numbrite vastavus nimedega on toodud tabelis 1.....	38
Joonis 6. Eesti-Läti piiriülese ühtse põhjaveeseire võrgustikku sobivad puurkaevud ja 7 prioriteetset ala, kuhu soovitatakse lisada seirepunkte (Demidko jt., 2021)	43

Annotatsioon

Aruanne „Põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid 2025“ annab ajakohastatud ülevaate Eesti põhjaveekogumite hüdrogeoloogilistest ja hüdrokeemilistest tunnustest, toetades 2027–2032 veemajanduskavade koostamist. Uuring tugineb Euroopa veepoliitika raamdirektiivi ja põhjaveedirektiivi ühise rakendusstrateegia juhistele ning Eesti veemajanduskavade aluseks olevale vesikonna iseloomustuse dokumentatsioonile. Aruanne käsitleb 31 põhjaveekogumi geoloogilist ehitust, põhjavee liikumise ja toitumise protsesse, keemilise koostise kujunemist ning looduslikke ja inimtekkelisi mõjusid vee kvaliteedile.

Kontseptuaalsed mudelid, mis eelnevalt koostati 2012. aastal (Perens jt., 2012) ja 2019. aastal (Marandi jt., 2019), on käesolevas töös täiendatud uute andmete ja riskiteguritega. Mudelites käsitletakse põhjaveekogumite jagunemist avatud ja isoleeritud veekihtideks, arvestades nende kaitstust, veevahetuse kiirust ja haavatavust reostusele. Eraldi hinnatakse põllumajandusliku, tööstusliku, transpordiga seotud ja linnastumise mõjusid põhjavee seisundile ning esitatakse vastavad riskihinnangud. Uuring tuvastas 16 ohustatud põhjaveekogumit, mille puhul on vajalikud täiendavad kaitsemeetmed, veevõtu reguleerimine ja seirevõrgu kaasajastamine.

Lisaks kajastab aruanne piiriüleste põhjaveekogumite hindamise tulemusi koostööprojektide WaterAct ja EU-Waterres raames. Ühtlustatud seirevõrgustiku ja meetodikate abil on välja töötatud integreeritud käsitus piiriüleste põhjaveeressursside seiramiseks ning hallatavate alade seisundi koordineeritud jälgimiseks.

Aruanne on mõeldud praktiliseks tööriistaks nii veemajanduskavade koostajatele, haldus- ja järelevalveasutustele, teadlastele, veekasutajatele kui ka laiemale avalikkusele, võimaldades teha teaduspõhiseid otsuseid Eesti põhjaveevarude jätkusuutliku kasutamise ja kaitse tagamisel.

Sissejuhatus

Käesolev aruanne käsitleb Eesti põhjaveekogumite hüdrogeoloogilist iseloomustust ja tunnuseid 2027–2032 veemajanduskavade koostamise kontekstis. Analüüs on osa üldisemast vesikondade iseloomustusest, mis on kohustuslik osa Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivi ja põhjaveedirektiivi rakendamisel Eestis. Vastav analüüs tugineb dokumendile „Vesikonna tunnuste, inimtegevuse, veekasutuse ja oluliste veemajandusprobleemide analüüsid ja ülevaated“, mida ajakohastatakse vähemalt kaks aastat enne iga uue veemajanduskava perioodi algust.

Euroopa Komisjoni ühise rakendusstrateegia juhiste alusel on Eesti põhjaveekihid jaotatud põhjaveekogumiteks, mille omadusi on süstemaatiliselt kirjeldatud ja hinnatud. Käesoleva töö aluseks olevad põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid koostati 2019. aastal (Marandi jt., 2019). Käesoleva uuringu käigus on need mudelid ajakohastatud, arvestades uusi hüdrogeoloogilisi andmeid, täiendavaid reostusallikaid ning seiresüsteemi senist toimivust ja kvaliteedinäitajaid.

Aruande eesmärk on esitada süsteemne ülevaade Eesti põhjaveekogumite hüdrogeoloogilisest ehitusest, põhjavee liikumise ja toitumise protsessidest, keemilise koostise kujunemisest ning looduslikest ja inimtekkeliste tegurite mõjust vee kvaliteedile. Tähelepanu keskmes on põhjaveekogumite jaotamise põhimõtete selgitamine ning nende seisundi hindamiseks vajalike alusandmete ja kontseptuaalsete mudelite koondamine.

Käesolev dokument moodustab ühe osa kolmest 2025. aasta veemajanduskava jaoks koostatud aruandest. Lisaks sellele on koostatud eraldi põhjaveekogumite koormusallikate analüüs (Marandi jt., 2025) ning põhjaveeseire süsteemi ülesehituse ja toimimise hindamine (Osjamets jt., 2025). Ühtekokku moodustavad need dokumendid tervikliku aluse põhjavee seisundi hindamiseks ja riskijuhtimise kavandamiseks Eestis.

Uurimistöö viisid läbi Eesti Geoloogiateenistuse hüdrogeoloogia ja keskkonnageoloogia osakonna töötajad: Andres Marandi, Magdaleena Männik, Madis Osjamets, Joonas Pärn, Valle Raidla ja Elina Kuusma.

Aruande ülesehitus ja kasutusjuhend

Aruanne Põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid 2025 on valminud ühtse tööpaketi kokkuvõtva osana ning seob tervikuks seirevõrgu analüüsi, koormusallikate mõju hindamise ja põhjaveekogumite toimimise käsitlemise. Kuigi käesolev töö sisaldab ka aruannete Põhjavee riikliku seirevõrgu analüüs ning ettepanekute tegemine (Osjamets ja Marandi, 2025) ning Põhjaveekogumite koormusallikate mõju analüüs (Marandi jt, 2025) põhitulemuste kokkuvõtet, on üksiktemade põhjalikumaks mõistmiseks soovitatav lugeda ka neid aruandeid tervikuna.

Aruanne on üles ehitatud nii, et see oleks praktiliselt kasutatav väga erineva taustaga lugejate jaoks — alates poliitikakujundajatest kuni tehniliste ekspertide, teadlaste ja veekasutajateni. Kõik põhjaveekogumid on kirjeldatud ühtse struktuuri alusel, kus iga kogumi kohta on esitatud kontseptuaalne mudel nii tabeli kui ka jooniste kujul. Selline ülesehitus võimaldab kogumeid omavahel võrrelda, kuid samas võimaldab iga kogumi andmeid käsitleda ka eraldiseisvalt.

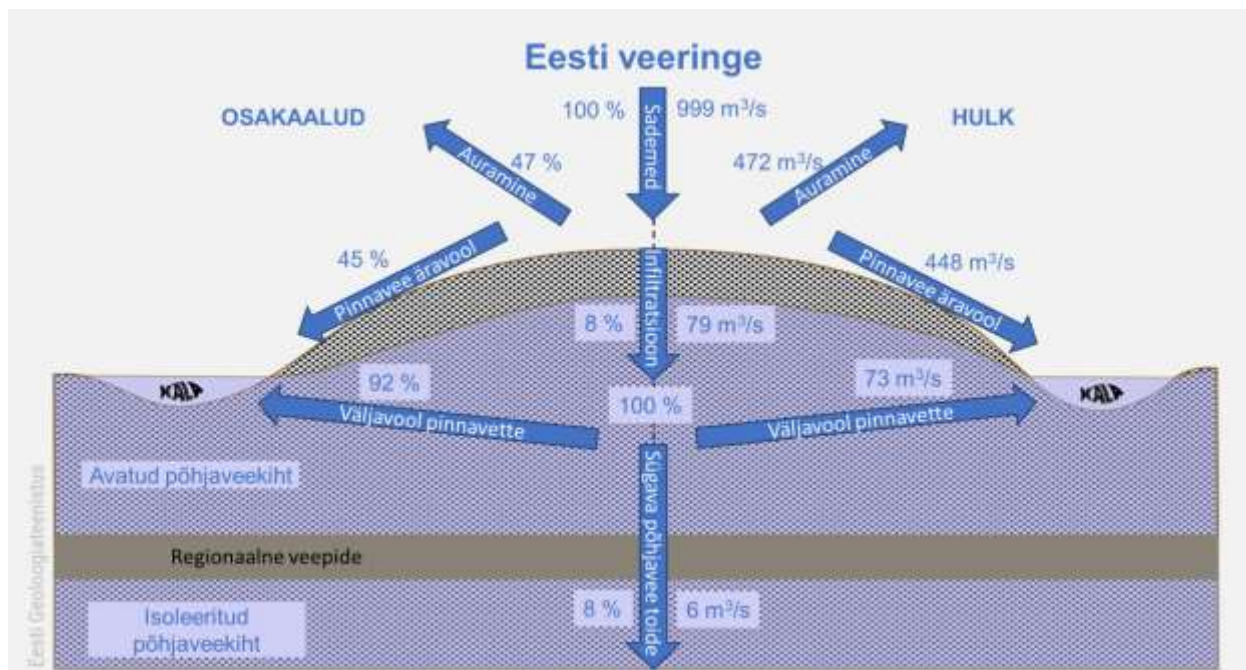
Aruande struktuur järgib loogilist järjestust alates üldisest hüdrogeoloogilisest taustast kuni detailsete kogumipõhiste mudeliteni. Joonised, tabelid ja kaardid on koostatud viisil, mis võimaldavad kiiresti mõista olulisi ruumilisi seoseid ja kogumispetsiifilisi omadusi.

Käesolev dokument on mõeldud praktiliseks tööriistaks mitte ainult 2027–2032 veemajanduskava koostamisel, vaid ka igapäevase põhjavee halduse, planeerimise, seirekorralduse ja teadustöö toetamiseks.

1 Hüdrogeoloogiline taust

1.1 Põhjavee teke ja hulk Eestis

Eesti arteesiabasseini mudeli arvutused, mille on koostanud Leo Vallner ja kolleegid (Vallner ja Porman, 2016, Marandi jt., 2019), näitavad, et Eesti ning sellega külgnevate põhjaveesüsteemide – ühiselt tuntud kui Eesti arteesiabassein – summaarne staatiline veemahtuvus on ligikaudu 2000 km³. See näitaja kirjeldab, kui palju vett mahub kokku kivimikihtide pooridesse ja lõhedesse. Tegemist ei ole aga numbriga, mis näitaks kasutatavat veevaru, vaid staatilise veemahuga, kuna põhjavesi on looduses pidevas liikumises.



Joonis 1. Eesti põhjavee bilanss

Põhjavee toitumine on osa looduslikust veeringest. Eestis toimub see peamiselt sademete ja lume sulavee imbumisel läbi pinnase. Vesi liigub raskusjõu toimele allapoole, jõudes lõpuks põhjaveekihtidesse. Keskmiselt langeb Eesti territooriumile umbes 1000 m³/s sademeid. Sellest vee hulgast veidi alla poole aurub, kas otseselt või taimede kaudu. Ülejäänud veest voolab ligikaudu 85% ehk 448 m³/s pinnaveekogudesse ja sealt merre, samal ajal kui vaid 8% ehk 79 m³/s infiltreerub põhjavette (Joonis 1).

Põhjavee toitumise intensiivsus sõltub tugevalt piirkonna setete ja kivimikihtide iseloomust ning kliimatilistest tingimustest. Näiteks Pandivere kõrgustikul on põhjavee toitumine oluliselt intensiivsem, ulatudes 200–300 mm aastas. Seevastu Lääne-Eestis ja madalikel jääb see vahemikku 0–50 mm aastas, viidates väga vähesele põhjavee täienemisele.

Oluline on märkida, et ka põhjaveekihtidesse imbunud veest jõuab enamik, ligikaudu 92%, tagasi pinnavette (Joonis 1). See toimub jõgede baasäravooluna (ehk põhjavee osa jõe äravoolust) ja väljavooluna merre. Seega ainult 8% tänapäevastest sademetest jõuab lõpuks sügavamatesse põhjaveekihtidesse. See tähendab, et umbes 200 m paksuse maapõue kihi põhjavesi moodustab pinnaveega ühtse dünaamilise süsteemi. Kui mõjutada üht – näiteks pumbata teatud piirkonnas välja suuri koguseid põhjavett – mõjutatakse paratamatult ka teist ehk pinnaveekogusid.

Veevahetuse kiirus põhjaveekihtides sõltub sügavusest. Maapinnalähedastes, paarikümne meetri sügavustes kihtides võib veevahetus toimuda ajavahemikus ühest aastast kuni sajandini (Vallner ja Porman, 2016). Sügavamal, esimeste püsivate veepidemete juures, ehk 20–50 meetri sügavusel, ulatub veevahetuse aeg mõnesaja aastani. Veelgi sügavamates kihtides pikeneb see hüppeliselt, ulatudes tuhandete aastateni.

Veemajanduse seisukohalt on kõige olulisem mõista esimese aktiivse veevahetusvööndi bilansi. Bilansi põhikomponentideks on jõgede äravool, mis Eestis moodustab umbes 39 miljonit m³ päevas, millest omakorda pärineb põhjaveest hinnanguliselt 16% ehk 6 miljonit m³ päevas, mis kinnitab põhjavee olulist rolli kogu veeringesüsteemis ja vajadust käsitleda seda tihedas seoses pinnaveega.

1.2 Eesti põhjaveekihid

Põhjavesi on kogu vesi, mis paikneb maapinnast allpool. See asub maapõue moodustavate setete ja kivimite poorides ja lõhedes. Sügavust, millest alates on kõik poorid ja lõhed veega täidetud nimetatakse põhjaveetasemeks.

Laiemas vaates saab pinnased jagada kaheks: ühed juhivad vett hästi, teised halvasti. Samas tuleb rõhutada, et mõlemad pinnasetüübid võivad olla veega küllastunud. Erinevus seisneb selles, kui kiiresti ja millises ulatuses vesi nendes liikuda saab.

1.2.1 Põhjaveekihtide rajoneerimine

Eesti põhjaveekihtide levik sõltub eelkõige aluspõhjakeivimite ehitusest ning kvaternaarisetete iseloomust ja paiknemisest. Geoloogiliselt paikneb Eesti Balti settebasseini põhjaservas. Siin on kivimikihid kallutatud lõuna suunas, mistõttu osa lõunapoolseid kivimeid ei ulatu Põhja-Eestisse (Joonis 2). Maapinna reljeef, kivimite leviala ja nende hüdrogeoloogilised omadused mõjutavad ühiselt põhjaveekihtide paiknemist, vee liikumist, toitumist ja väljavoolu.

Eesti põhjavesi jaguneb mitmeks hüdrogeoloogiliseks kompleksiks (Joonis 2). Peamised neist on Kvaternaari (Q), Devoni (D), Siluri-Ordoviitsiumi (S-O), Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) ning Kambriumi-Vendi (Cm-V). Cm-V põhjaveekompleks on Põhja- ja Ida-Eestis omakorda jagatud Voronka (V₂Vr) ja Gdovi (V₂Gd) põhjaveekihtideks. Täpsem ülevaade Eesti põhjaveekihtide ja hüdrogeoloogilise ehituse kohta on leitav näiteks Vallneri (1995), Kinki (1996) ning Perensi ja Vallneri (1997) töödes.

Sõltuvalt põhjaveekihi toitumisviisist ja veevahetuse kiirusest – mis omakorda sõltuvad põhjaveekihi sügavusest ja selle kaetusest regionaalsete veepidemetega – jagunevad põhjaveekihid kaheks (Joonis 2):

1. maapinnalähedasteks ehk avatud põhjaveekihtideks ning
2. sügavamateks ehk isoleeritud põhjaveekihtideks.

Selline jaotus lähtub veehaarde avatud osa sügavusest ja hüdrogeoloogilisest kontekstist.

- 1. Avatud põhjaveekihid** on rajoneerimise käigus liigitatud kolme tüüpi, mis esindavad Eesti eri piirkondades valitsevaid hüdrogeoloogilisi tüüptingimusi.

Esimene tüüp on karbonaatkivimite avamusala. Selle alla kuuluvad Ordoviitsiumi, Siluri ja Ülem-Devoni ladestute karbonaatkivimid, v.a ranniku- ja saarte piirkonnad. Karbonaatkivimite avamusalad on põhjavee kaitstuse seisukohalt tundlikud, kuna neis piirkondades on pinnakate sageli õhuke ning kivimid võivad olla karstunud. Sademevee infiltreerumine ning põhjavee liikumine on kiired ja see suurendab maapinnalt pärineva reostuse leviku riski, eriti piirkondades, kus põhjavesi ei ole looduslikult kaitstud.

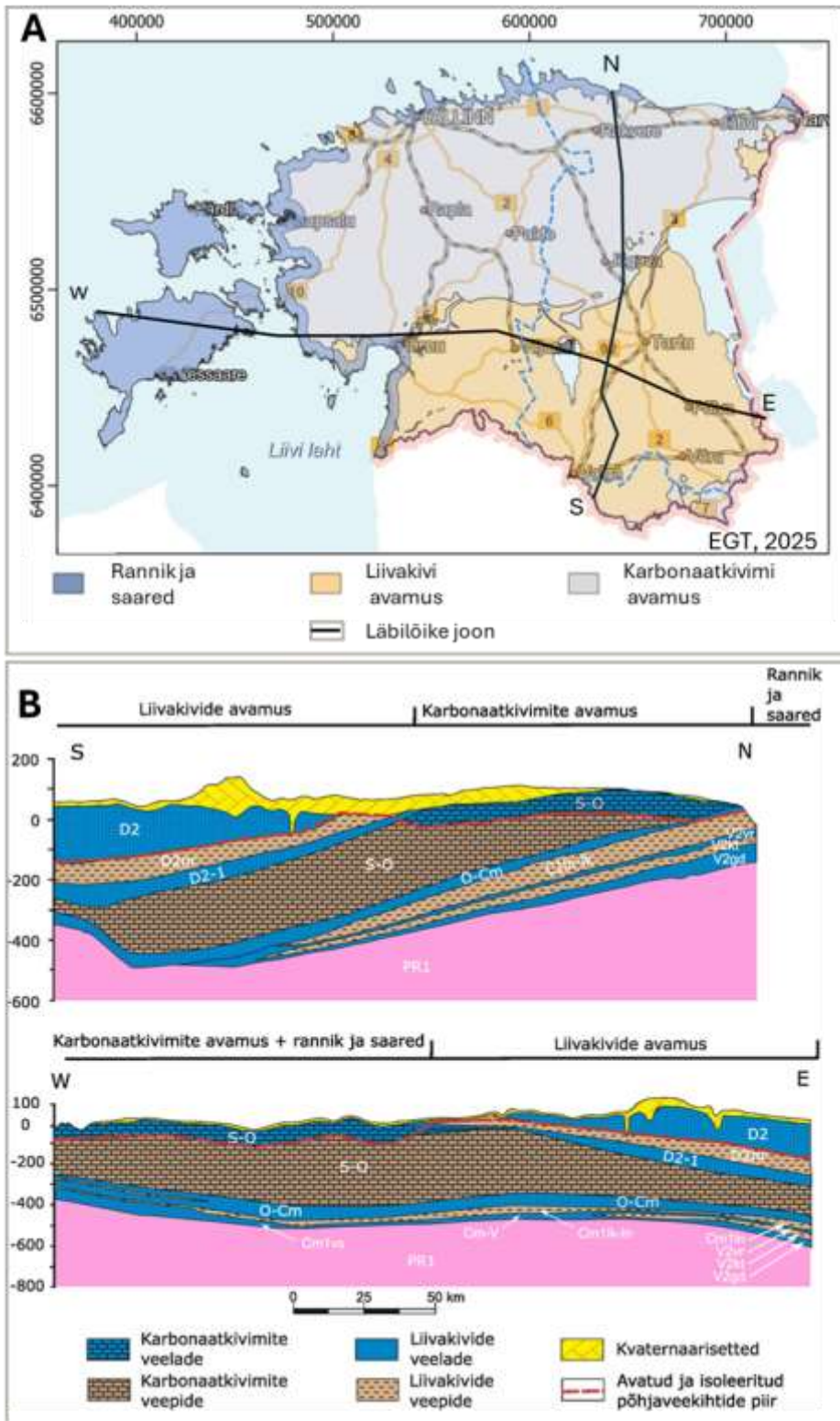
Teine tüüp on liivakivide avamusala, mis vastab Devoni liivakivide levikualale. Liivakivides olevate veehaarete puhul on veeand üldiselt väiksem kui karbonaatkivimites. Samuti on pinnakate tavaliselt paksem, mistõttu on põhjavesi paremini kaitstud. Kuigi liivakivi on hea veekandja, on vee liikumine ja reostuse levik seal võrreldes karbonaatkivimitega aeglasem.

Kolmas tüüp hõlmab rannikualasid ja saari. Nendes piirkondades on lisaks reostusallikatele olulise riskitegurina arvestatav ka merevee sissetung põhjaveekihtidesse, mis võib põhjustada joogivee soolsuse suurenemist. Põhja-Eestis on rannikupiirkonnaks määratletud klindiesine ala, kus Kvaternaari põhjaveekihti avavates puurkaevudes võib toimuda põhjavee ja merevee segunemine. See ala asub Lontova savi avamusel, mis tähendab, et piirkond seondub valdavalt isoleeritud põhjaveekihtidega. Avatud põhjaveekihtideks saab seal pidada vaid Kvaternaari setetes paiknevaid kihte, mis on seotud ürgorgudega.

Lääne-Eestis ulatub merevee mõju ulatuslikumalt sisemaale – kuni 5 kilomeetri kaugusele rannikust. Kõik saared on samuti arvatud selle rajoneeringu alla. Nii rannikualad kui ka saared kuuluvad oma looduslike ja geoloogiliste tingimuste tõttu avatud veekihtide rajooni, kus vee kvaliteet ja kaitstus on eriti olulised tegurid põhjavee seire ja majandamispõhimõtete väljatöötamisel.

2. Põhjaveekihtid, mis paiknevad allpool regionaalset veepidet, liigitatakse sügavateks ehk **isoleeritud põhjaveekihtideks**. Neis kihtides on veevahetus väga aeglane ning otsene seos tänapäevase veeringega praktiliselt puudub. Selle tõttu ei jõua maapinnalt lähtuv reostus tavaliselt nendesse kihtidesse.

Isoleeritud põhjaveekihtide vee kvaliteet kujuneb eeskätt looduslike tegurite mõjul, eelkõige sõltuvalt veekihte moodustavate kivimite koostisest. Siiski võib vee kvaliteeti mõjutada ka vee sissevool teistest põhjaveekihtidest, mille kvaliteet võib olla halvem. Peamisteks ohuallikateks on merevee sissetung põhjarannikul ja külgsuunaline soolase vee sissevool lõunapoolsetes sügavates kihtides. Need ohud realiseeruvad eelkõige siis, kui põhjavee tarbimine on intensiivne ja põhjaveekihtide survetase langeb, võimaldades soolasema vee liikumist isoleeritud kihtidesse.



Joonis 2. Eesti põhjaveekihtide ja veepide levik ja rajoneerimine (A) ning paigutus läbilõikes (B). Joonisel: D₂ – Kesk-Devoni põhjaveekiht, D_{2nr} – Narva veepide, D₂₋₁ – Alam-Kesk-Devoni veekompleks, S-O – Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekompleks/veepide, O-Cm – Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks, C_{1k-In} – Kambriumi sinisavi veepide, Cm-V – Kambriumi-Vendi põhjaveekompleks, V_{2vr} – Voronka veekiht, V_{2kt} – Kotlini veepide, V_{2gd} – Gdovi veekiht, PR₁ – aluskorra kristalsed kivimid.

1.2.2 Põhjaveekihtide keemilist koostist mõjutavad tegurid

Käesoleva alapeatüki ülevaade on koostatud joogiveehaarete riskihindamise aruandes (Hunt jt., 2024) toodud materjalide põhjal.

Looduslikud tingimused kujundavad põhjaveekihtides iseloomuliku keemilise koostise vastavalt veevahetuse kiirusele ja geoloogilisele keskkonnale, kuid inimtegevus võib seda tasakaalu muuta. Kõige enam on mõjutatud avatud ja kiire veevahetusega põhjaveekihi, kuid teatud juhtudel võib inimõju ulatuda ka sügavamatesse, aeglase veevahetusega isoleeritud veekihtidesse.

Seetõttu võib põhjavee kvaliteedi kujunemist mõjutavad protsessid liigitada kolmeks:

1. looduslikud;
2. inimõjuga kaudselt seotud;
3. inimõjuga otseselt seotud.

1. Looduslikuks põhjavee kvaliteeti kujundavaks protsessiks peetakse kõiki neid nähtusi, mis toimuvad põhjavee toitumisel ja liikumisel läbi põhjaveekihi vähese või olematu inimõju tingimustes. Sellised protsessid määravad põhjavee koostise ning kvaliteedi tausttaseme.

Põhjaveekihi kvaliteet on väga suures sõltuvuses sellest, kas tegemist on avatud või isoleeritud põhjaveekihtiga, milline on põhjaveekihtide kivimiline koostis ning millises Eesti piirkonnas põhjaveekiht asetseb.

Mõned keemilised reaktsioonid on väga aeglased ega mõjuta oluliselt põhjavee kvaliteeti. Näiteks liivakivides leiduvate silikaatmineraalide, nagu päevakivide ja kvartsi, lahustumine toimub äärmiselt aeglaselt. Samas on olemas ka protsesse, mis mõjutavad põhjavee keemilist koostist palju kiiremini. Nende hulka kuuluvad näiteks lubjakivides esinevate mineraalide – kaltsiidi, dolomiidi ja püriidi – lahustumine ning kivimite või setete pindadele seotud ainete vabanemine vette. Need protsessid võivad toimuda tundide või päevade jooksul ning määravad sageli põhjavee loodusliku keemilise koostise.

Lisaks mõjutab põhjavett ka erineva koostisega vee segunemine looduslikes tingimustes. See toimub peamiselt sügavamates põhjaveekihtides või rannikualadel, kus madalama mineraalsusega põhjavesi seguneb suurema mineraalsusega merelise päritoluga vee või otseselt mereveega.

Sügavamates põhjaveekihtides püsib vee keemiline koostis enamasti stabiilsena. Kui veevõtt on väike, toimuvad koostises muutused vaid väga pika aja jooksul – tavaliselt kümnete kuni tuhandete aastate vältel. Selle põhjuseks on aeglane veevahetus ja vähene seotus tänapäevase veeringega.

Maapinnalähedaste põhjaveekihtide puhul on olukord teistsugune. Nendes kihtides võib vee kvaliteet kõikuda üsna kiiresti ja sõltub tugevalt aastaajast. Muutused on seotud põhjavee toitumise intensiivsusega, st sellega, kas põhjavette lisandub parasjagu värsket vett. Eestis kestab kõrgvee periood tavaliselt oktoobrist aprillini, välja arvatud juhtudel, kui talvel esineb pikemaid külmaperioode. Madalvee periood jääb ajavahemikku maist septembrini. Piirkonniti võivad nende perioodide algus ja lõpp nihkuda umbes kuu võrra.

Aktiivse toitumise ajal, kui vihm ja sulavesi imuvad läbi maapinna, satuvad põhjaveekihtidesse ka ained, mis pärinevad pinnasest või mullakihist. Nende hulka kuuluvad näiteks nitraadid ja teised inimõjuga seotud ühendid, mis võivad kiirelt sattuda põhjavette.

Põhjavees lahustunud ainetest moodustavad valdava osa – enam kui 95% – 7 niinimetatud põhiiooni, mille sisaldus kujuneb valdavalt looduslike protsesside tulemusena. Nendeks ionideks on kaltsium (Ca^{2+}), magneesium (Mg^{2+}), naatrium (Na^+), kaalium (K^+), vesinikkarbonaat (HCO_3^-), kloriid (Cl^-) ja sulfaat (SO_4^{2-}).

Kaltsium-, magneesium- ja vesinikkarbonaatioonid satuvad põhjavette peamiselt karbonaatkivimeid moodustavate mineraalide – kaltsiidi ja dolomiidi – lahustumisel. Nende ionide sisaldus määrab põhjavee kareduse ehk vees lahustunud mineraalainete hulga, mis mõjutab vee tarbimis- ja tehnilist kvaliteeti.

Karbonaatseid mineraale leidub peale karbonaatkivimite ka mullas, pinnakatte setetes (nt moreenis) ning liivakivides, kus need esinevad karbonaatse tsemendina. Seetõttu on nende mineraalide lahustumine sageli üks olulisemaid põhjavee kvaliteeti kujundavaid looduslikke protsesse.

Lisaks karbonaatidele on Eesti erinevates setetes ja kivimites levinud ka püriit – raudsulfiidmineraal, mis on looduslikus keskkonnas oluline sulfaatioonide (SO_4^{2-}) allikas. Püriidi oksüdeerumisel võib sulfaat põhjavette sattuda, mõjutades samuti vee keemilist koostist.

Naatrium- (Na^+) ja kaaliumioonid (K^+) võivad põhjavette sattuda peamiselt savimineraalide pindadelt toimuvate reaktsioonide kaudu ning vähesemal määral ka silikaatsete mineraalide lahustumisel. Nende ionide sisaldus põhjavees suureneb sageli erineva mineraalsusega vete segunemisel, mille käigus toimub vahetusreaktsioone savimineraalide pinnal. Samuti võib Na^+ ja K^+ sisaldus tõusta ainuüksi segunemisprotsessi mõjul, näiteks põhjavee sooldumisel – olukorras, kus põhjaveekihti tungib suurema mineraalsusega vesi.

Kloriidiooni (Cl^-) kõrge kontsentratsioon on samuti seotud soolase vee sissetungiga, eriti rannikualadel ja sügavates veekihtides, kus merelise päritoluga põhjavesi võib seguneda mageveega.

Teiste ionide sisaldus on põhjavees üldiselt väiksem kui seitsmel põhiioonil, kuid just need mikroelemendid ja ühendid määravad sageli vee sobivuse joogiveeks ning vajaduse täiendava puhastamise järele. Üks levinumaid põhjavee kvaliteediprobleeme Eestis on kõrge looduslik rauasisaldus (Fe), mis on seotud hapnikuvaeste tingimustega põhjaveekihtides. Kuigi ületatud rauasisaldus ei tähenda tingimata ohtu inimese tervisele, võib raua sadestumine põhjustada tehnilisi probleeme – kahjustada kodumasinaid ja torustikke ning halvendada vee organoleptilisi omadusi.

Hapnikuvaestes tingimustes võib lisaks rauale põhjavette vabaneda ka mangaan (Mn) ning sügavamates ja isoleeritud põhjaveekihtides võivad esineda looduslikud gaasid, nagu väävelvesinik (H_2S) ja metaan (CH_4). Need ühendid mõjutavad vee lõhna, maitset ja kasutuskõlblikkust ning viitavad tugevalt redutseerivale keskkonnale põhjaveekihtis.

Lisaks eelnevalt käsitletud ionidele mõjutavad Eesti põhjavee kvaliteeti ka loodusliku päritoluga fluoriidi (F^-), baariumi (Ba^{2+}) ja boori (B) sisaldused (nt Marandi jt., 2004; Karro ja Uppin, 2013; Raidla ja Truu, 2022; Raidla jt., 2023a,b; Koit jt., 2023). Nende elementide esinemine põhjavees on peamiselt seotud kivimite, eriti savide ja savikate lubjakivide, ning vee vaheliste geokeemiliste protsessidega.

Eestis on üheks laialt levinud probleemiks põhjavee kõrge fluoriidisisaldus. Ületatud joogivee piirnormid esinevad enam kui 30% uuritud põhjaveeproovidest (Perens jt., 2012). See viitab piirkondlikule geokeemilisele eripärale, mis võib avaldada mõju vee tarbimiskõlblikkusele ja tekitada vajaduse seda täiendavalt töödelda.

Kui veehaarde läheduses esinevad märgalad või kui pinnases ja kivimites leidub orgaanilisi setteid, võib põhjaveele olla iseloomulik suurenenud keemiline hapnikutarve (KHT) ning kõrgem ammooniumisisaldus (NH_4^+) (Karro jt., 2022). Need näitajad viitavad orgaanilise aine lagunemisele hapnikuvaestes tingimustes, mis võib mõjutada põhjavee biokeemilist koostist ja kvaliteeti.

Vees lahustunud orgaaniline aine võib lisaks siduda endaga teatud raskemetalle, nagu nikkel (Ni), tsink (Zn) ja molübdeen (Mo), mida neutraalsetes tingimustes (pH 6,5–8,5) ei peaks vees olulisel määral esinema (Savitskaja jt., 1996a,b, 1997; Pärn jt., 2017; Tamm jt., 2022; Raidla jt., 2023b; Tamm ja Leisk, 2024). Selliste ühendite teke võib viia mikroelementide sisalduse suurenemiseni ka näiliselt stabiilsetes keskkonnatingimustes.

Samuti on täheldatud, et püriidi lahustumise ning savimineraalide ja vee vahelise vastastikmõju tulemusel võib põhjavees suurened aseeni (As) sisaldus. Sellised protsessid on Eestis dokumenteeritud mitmetes piirkondades (Karro jt., 2022; Raidla jt., 2023a,b), kus põhjavee looduslik keemiline taust viitab suurele geokeemilisele varieeruvusele ja vajadusele piirkonnaspetsiifilise hindamise järele.

2. Inimmõjuga kaudselt seotud protsessid käivituvad olukordades, kus põhjaveevõtt või näiteks kaevanduste ja karjääride kuivendustegevus põhjustab põhjaveekihi veetaseme alanemise. Selline muutus mõjutab põhjaveekihtide geokeemilisi tingimusi, nagu on osutatud ka Pärn ja Truu (2024).

Põhjaveetaseme alanemine parandab hapniku juurdepääsu kivimitele ja setetele, mille tagajärjel käivitub püriidi lagunemine. Selle protsessi tulemusena suureneb põhjavee sulfaatiooni (SO_4^{2-}) sisaldus ja vee pH alaneb. Madalam pH omakorda soodustab karbonaatsete mineraalide lahustumist, mis viib kaltsiumi (Ca^{2+}) ja vesinikkarbonaadi (HCO_3^-) sisalduse suurenemiseni ning muudab vee märgatavalt karedamaks. Kõik need ioonid pärinevad looduslikest keemilistest reaktsioonidest, mis ei ole seotud ühegi sünteetilise aine ega tööstusliku protsessiga, kuid nende esinemine on tingitud inimtegevuse muudetud keskkonnatingimustest.

Isoleeritud põhjaveekihtides, kus veevahetus on aeglane või väga aeglane, avaldub inimmõju peamiselt kaudsete protsesside kaudu. Kuna need kihid on otsese reostuse eest hästi kaitstud, on kõige olulisem mõju põhjaveetaseme alanemisest tingitud hüdrauliliste tingimuste muutus. Eelkõige põhjustab rõhutaseme langus erineva koostisega põhjavete segunemist.

Veevõtt isoleeritud veekihtidest võib soodustada vee sissetungimist nii veekihi kohal kui ka all paiknevatest veekihtidest. Võõra vee sissetung muudab lahustunud põhiioonide omavahelisi vahekordi ja võib viia näiteks maapinnalähedasest avatud veekihist pärit vee tungimiseni seni isoleeritud põhjaveekihti. Selline olukord toob sageli kaasa Ca^{2+} , SO_4^{2-} ja HCO_3^- sisalduse suurenemise sügavamal kihis.

Teatud tingimustes võib põhjavee segunemine viia ka põhjavee sooldumiseni, mis toimub näiteks siis, kui sügavamates kihtides paiknev suurema mineraalsusega põhjavesi hakkab liikuma ülespoole madalama rõhuga piirkonda (Raidla ja Truu, 2020). Rannikualadel võib põhjavee sooldumise allikaks olla tänapäevane merevesi või ka Läänemere varasematest arengustaadiumitest säilinud reliktne soolane põhjavesi (Marandi jt., 2019).

Põhjavee sooldumist näitavad kõige selgemini naatriumi (Na^+) ja kloriidi (Cl^-) ionide kontsentratsiooni suurenemine. Samuti võivad kasvada kaltsiumi (Ca^{2+}) ja sulfaadi (SO_4^{2-}) sisaldused. Kõige sügavamates veekihtides, näiteks Kambriumi–Vendi põhjaveekompleksis, võib sügava soolase vee sissetung põhjustada ka põhjavee indikatiivdoosi suurenemise, viidates vee suurele vanusele ja pikaajalisele isoleeritusele.

3. Otsese inimmõjuga protsesside tõttu satuvad põhjavette ained, mis pärinevad otseselt inimese poolt loodud keemilistest protsessidest või toodetest. Nendeks aineteks on näiteks nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+), (orto)fosfaat (PO_4^{3-}), fenoolid, benseen, naftasaadused, polüaromaatsed

süsivesinikud (PAH-id), pestitsiidijäägid ja ravimijäägid. Looduslikus keskkonnas on nende ainete sisaldus tavaliselt väga väike või puudub üldse, mistõttu viitab nende suurem esinemine põhjavees otseselt inimtegevusest tingitud saastele.

Selliste ainete levik on kõige olulisem avatud, kiire veevahetusega põhjaveekihtides, kus põhjavesi on vähem kaitstud. Reostus on sageli lokaalne ja koondub konkreetsete koormusallikate – näiteks reovee immutusalade, põllumassiivide või teede – vahetusse ümbrusesse. Osa ühendeid, nagu PAH-id, pestitsiidijäägid, ravimijäägid ja ammoonium, on keskkonnas keemiliselt püsivad ning võivad jõuda ka isoleeritud põhjaveekihtidesse. Samas võivad ka vähem püsivad ühendid levida laialdaselt, kui põhjaveekihis esinevad tingimused on selleks sobivad ja/või kui neid kasutatakse suurtes kogustes, nagu näiteks põllumajanduses lämmastikväetistes kasutatav nitraat.

Mõned inimõjulised koormusallikad võivad mõjutada ka põhjavees leiduvate põhiioonide sisaldust. Näiteks libedusetõrjevahendite kasutamine maanteedes ääres ja linnapiirkondades võib põhjustada naatriumi (Na^+) ja kloriidi (Cl^-) sisalduse tõusu ümbritsevas põhjavees. Põllumajanduslik tegevus võib lisaks nitraatidele suurendada ka K^+ , Na^+ ja Cl^- sisaldusi. Kuigi need kontsentratsioonid ei pruugi ületada joogiveele kehtestatud piirmäärasid, võivad need oluliselt erineda looduslikust taustatasemest.

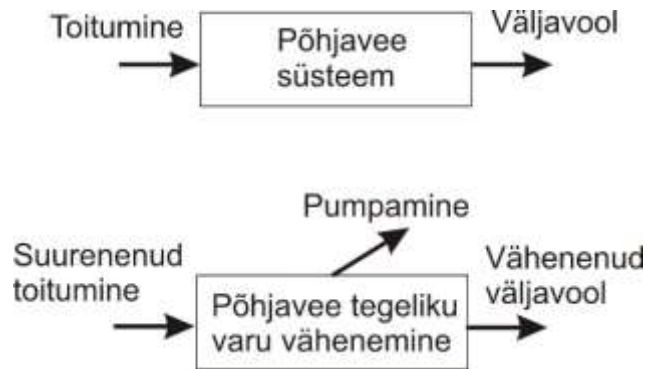
Kanaliseerimata piirkondades võib reovee pinnasesse immutamise põhjustada kohaliku põhjavee keemilise hapnikutarbe (KHT) ja ammooniumi sisalduse suurenemist, millele võib lisanduda ka mikrobioloogiline reostus.

1.3 Põhjavee kasutuse mõju ja põhjaveekihtide bilanss

Paljudel juhtudel on põhjaveevarude arvutuste keskmes eeskätt põhjaveetasemete languse prognoosimine – eesmärgiga ennetada, et kavandatava veevõtu tingimustes põhjaveetase ei lange 27 aasta jooksul alla lubatud piiri. Surveliste põhjaveekihtide puhul tähendab see piiri näiteks põhjaveekihi ülemise piirini või merega külgnevates piirkondades merepinna tasemeni.

Põhjavee looduslik seisund enne inimtekkelist kasutust on üldjuhul ligilähedane dünaamilisele tasakaalule, kus pikaajalises vaates on kogumi sissevool võrreldav väljavooluga. Kliimast või hooajalisusest tingitud kõikumised võivad seda tasakaalu ajutiselt mõjutada, kuid järgnevad tsüklid taastavad tasakaalu.

Põhjavee kasutuselevõtt katkestab selle loodusliku tasakaalu. Uue tasakaalu saavutamiseks peab kas suurenema põhjaveekogumisse siseneva vee hulk (nt sissetung maapinnalt või naabruses asuvatest kihtidest) või vähenema väljavool (nt allikad, jõed, merega kontakt). Seda dünaamikat illustreerib Joonis 3.



Joonis 3. Tasakaalus põhjaveekogum looduslikus seisundis (üleval) ning põhjavee tarbimise korral (all). (Seward jt., 2006)

Põhjaveevõtust tulenevaid muutusi põhjaveekogumis on võimalik kirjeldada klassikalise põhjavee bilansivõrrandi kaudu (Lohman, 1972):

$$R + \Delta R - (D + \Delta D) - Q = S(\Delta h/\Delta t),$$

kus

R – looduslik põhjavee toitumine,

ΔR – pumpamisest tingitud muutus toitumises,

D – looduslik väljavool põhjaveekihist,

ΔD – pumpamisest tingitud muutus väljavoolus,

Q – põhjavee pumpamine,

$S(\Delta h/\Delta t)$ – põhjavee koguse muutus kivimites (mahutavus S , veetaseme muutus ajas $\Delta h/\Delta t$).

Levinud eksiarvamuse kohaselt on põhjaveekogumist ohutu võtta vett koguses, mis on võrdne selle loodusliku toitumisega ($Q = R$). Tegelikuses tuleb arvestada, et looduslik tasakaaluseisundis on toitumine ja väljavool võrdsed ning põhjavee kogus ajas ei muutu ($S \cdot \Delta h/\Delta t = 0$), ehk:

$$R = D \text{ ja } Q = 0$$

Pumpamise korral aga tasakaal muutub ja uue tasakaalu saavutamine eeldab muutust toitumises või väljavoolus. Seetõttu on põhjavee kasutamise seisukohalt määravaks mitte algne toitumise (R) või väljavoolu (D) väärtus, vaid just pumpamisest põhjustatud muutused, s.o ΔR ja ΔD (Seward jt., 2006):

$$Q = \Delta R \text{ või } Q = -\Delta D$$

Filtratsiooniline põhjavee vool kivimipoorides tähendab, et pumpamise alguses tekib mittestatsionaarne olukord. Veevõtt toimub algselt peamiselt põhjaveekihi varust (*storage*), mille tulemusena veetaseme alaneb ja tekib depressioonilehter. Selle levik jätkub seni, kuni see ulatub piirtingimusteni, mis muudab süsteemi tasakaalu – kas lisatoitumise suurenemise (nt pinnaveekogud,

märgalad) või väljavoolu vähenemise (nt allikad, jõed) kaudu. Põhjaveevõtu mõjude hindamisel tuleb arvestada, et põhjaveekiht ei reageeri pumpamisest põhjustatud muutustele koheselt: uue tasakaalu saavutamine toimub viibega, mille pikkus sõltub hüdrogeoloogilistest omadustest (veekihi veemahtuvus) ja kaugusest piirtingimusteni. Seetõttu tuleb põhjaveevõtu hindamisel alati arvesse võtta kogu põhjaveekihi bilansimudelit, et hinnata potentsiaalset mõju nii pikaajastele põhjaveevarudele kui ka ökosüsteemidele.

2 Eesti põhjaveekogumid

2.1 Põhjaveekogumi mõiste

Põhjaveekiht on eelkõige (hüdro)geoloogiline mõiste, mis tähistab maapõues lasuvat kivimikihti või setet, millel on kindlad hüdrogeoloogilised omadused, mis võimaldavad põhjavee liikumist läbi sette või kivimi. Põhjaveekiht võib eksisteerida sõltumatult vee olemasolust ning on defineeritav litostratigraafiliste ja hüdrogeoloogiliste piiride kaudu. Näitena võib tuua liivakivi, karbonaatkivimi või moreense sette, mille struktuur võimaldab veega küllastumist ja vee liikumist.

Põhjaveekogum on seevastu veemajanduslik üksus, mis on määratletud Veemajanduskavade ja EL Vee raamdirektiivi (Euroopa Parlament ja Nõukogu, 2000) kohaselt. See tähistab veemajanduskavade koostamise jaoks konkreetses põhjaveekihis või -kihtide kompleksis piiritletud põhjaveemahtu, millel on määratletav bilanss (sissetulev ja väljaminev vee hulk) ning tüüpiline keemiline koostis. Erinevalt põhjaveekihist on põhjaveekogum dünaamiline majandamise üksus, mis võib asetseda põhjaveekihis või mis või hõlmata mitut põhjaveekihti, milles vesi liigub ning mille keemiline koostis kujuneb kivimi ja vee vaheliste looduslike protsesside, näiteks mineraalide lahustumise tulemusel. Samuti võib selle koostist mõjutada inimtegevus, sh põllumajanduslik hajureostus, reovee infiltratsioon või tööstuslikud saasteallikad.

Veemajanduskava tähenduses on põhjaveekogum oma olemuselt veel ka administratiivne üksus ehk veemajanduskavade aruandlusühik, mis käsitleb põhjavett, mida kasutatakse või soovitakse tulevikus joogiveeallikana kasutusele võtta, või mis on mingil muul moel oluline (nt põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide jaoks; Põhjavee kasutamine ja kaitse, 2004). Selle piiride määramisel ei lähtuta ainult geoloogilistest piiridest, vaid ka olulisematest regionaalse ulatusega koormusallikatest (nt Eestis kaevandamine ja NTA alad) ning administratiivpiiridest.

Teisisõnu, kui põhjaveekiht on geoloogiline raamistik, mille olemasolu ei sõltu vee sisaldusest, siis põhjaveekogum on toimiv põhjaveevoolu süsteem, mille seisundit hinnatakse ja mille majandamist kavandatakse. Põhjaveekogumi defineerimisel on oluline nii hüdrauliline seotus, veevahetuse intensiivsus, ruumiline ulatus kui ka keskkonnaseisundi hindamise võimalikkus. Seega on põhjaveekogum ruumiline osa põhjaveekihist või -kihtidest, mille seisundit hinnatakse ja mille majandamist kavandatakse tagamaks sealse veeresussi kestlik kasutamine.

2.2 Eesti põhjaveekogumid

Eestis põhineb põhjaveekogumite eraldamine Veepoliitika raamdirektiivil (Euroopa Parlament ja Nõukogu, 2000) ja Põhjaveedirektiivil (Euroopa Parlament ja Nõukogu, 2006), mis on integreeritud

riiklikku keskkonnaõigusesse. Täpsemalt reguleerib põhjaveekogumite moodustamist ja eraldamist Veeseadus (2025), mis sätestab põhjavee kaitse ja kasutamise põhimõtted. Põhjaveekogumite nimekiri, eristamise kord, kvaliteedinäitajad ning seisundi hindamise põhimõtted on sätestatud Keskkonnaministri määrusega nr 48 (2022).

Põhjaveekogum moodustatakse, kui on täidetud vähemalt üks järgmistest tingimustest:

- Põhjaveekihi olemasolu – peab olema kinnitatud vastav põhjaveevaru.
- Vee tarbimine – põhjaveekihi tarbib vett vähemalt 50 inimest.
- Tootlikkus – põhjaveekihi tootlikkus peab olema vähemalt 100 m³ ööpäevas.
- Keemiline koostis – põhjavee looduslik keemiline koostis võimaldab selle kasutamist joogiveeks.

Lisaks arvestatakse põhjaveekogumi ulatuse määramisel hüdrogeoloogilisi tingimusi, sealhulgas:

- Põhjavee looduslikku keemilist koostist.
- Kivimite füüsikalise-keemilise ja hüdraulilise omadusi.
- Veevahetuse kiirust ja tundlikkust hüdrokeemiliste mõjurite suhtes.
- Inimtegevuse võimalikku mõju ja sotsiaalmajanduslikke aspekte.

Eestis on moodustatud 31 põhjaveekogumit, mille seisundit hinnatakse veemajanduskavades. Põhjaveekogumite seisundi hindamisel arvestatakse nii keemilist kui ka koguselist seisundit, et tagada veevarude jätkusuutlikkus ja kvaliteet.

Kuna põhjaveekogumid on eraldatud põhjaveekihtide või -komplekside sees, siis tulenevalt geoloogilisest ehitusest ning nende rajoneerimisest avatud ja isoleeritud veekihtideks, võib ka põhjaveekogumid jagada maapinnalähedasteks (avatud) ning sügavateks (isoleeritud) põhjaveekogumiteks (Joonis 3, Tabel 1). Selline jagamine võimaldab lihtsustatult edasi anda põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise olulisi tegureid.

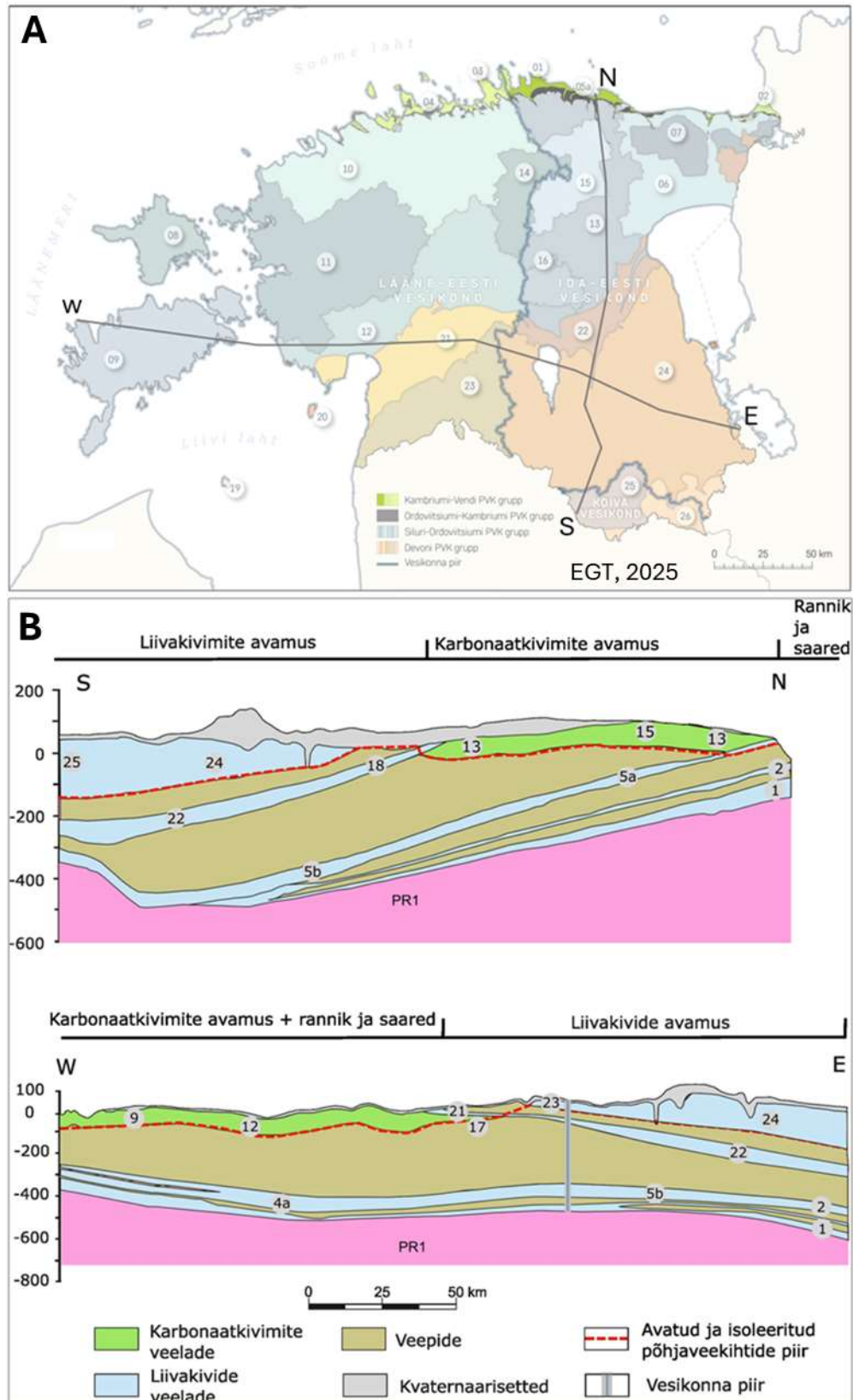
Iga konkreetse põhjaveekogumi geoloogiline ja hüdrogeoloogiline kontekst, vee bilanss, põhjavee liikumise seaduspärasused ning keemilise koostise kujunemise põhimõtted on koondatud põhjaveekogumi kontseptuaalsesse mudelisse. Seal kirjeldatakse ka kogumile iseloomulikke keemilise koostise eripärasid ning selgitatakse seoseid ökosüsteemidega, mis sõltuvad vastavast põhjaveekogumist.

Kontseptuaalsed mudelid on esitatud käesoleva aruande lõpu lisades (PVK 1-31) ning neid saab kasutada iseseisvate dokumentidena. Selguse ja võrreldavuse huvides on mudelid esitatud tabeli kujul,

millele on lisatud illustreerivad läbilõiked ja kaardid. Selline ülesehitus võimaldab kasutajal hõlpsalt jälgida iga kogumi omadusi ning võrrelda neid teiste põhjaveekogumitega.

Tabel 1. Põhjaveekogumite rajoneerimine sõltuvalt asukohast ning sügavusest. Tärniga tähistatud põhjaveekogumid levivad ainult klindiesisel alal või ulatuvad kuni 5 km kauguseni rannikust.

Tüüp	Rajoon	Põhjaveekogumi number	Põhjaveekogum
Maapinna-lähedased põhjaveekogumid (avatud)	Karbonaat-kivimite avamusel	26	Ülem-Devoni
		16	Siluri-Ordoviitsiumi Adavere-Põltsamaa
		15	Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
		14	Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
		13	Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
		12	Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu
		11	Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu
		10	Siluri-Ordoviitsiumi Harju
		7	Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini
		6	Ordoviitsiumi Ida-Viru
		27	Kvaternaari Vasavere
		29	Kvaternaari Männiku-Pelguranna
		Liivakivi avamustel	25
	24		Kesk-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
	23		Kesk-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
	28		Kvaternaari Meltsiveski
	Saared ja rannik	11	Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu*
		12	Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu* Siluri-Ordoviitsiumi Harju*
		23	Kesk-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas*
		29	Kvaternaari Männiku-Pelguranna*
		31	Kvaternaari Prangli
		9	Siluri Saaremaa
		8	Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa
		Sügavad põhjaveekogumid (isoleeritud)	20
	19		Kesk-Alam-Devoni Ruhnu põhjaveekogum
	22		Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas
	21		Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas
	18		Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all Ida-Eesti vesikonnas
	17		Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all Lääne-Eesti vesikonnas
5b	Ordoviitsiumi-Kambriumi Tartu põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas		
5a	Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas		
4	Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas		
3	Kambriumi-Vendi põhjaveekogum		
2	Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekogum		
1	Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum		



Joonis 4. Maapinnalt esimeste põhjaveekogumite levik kaardipildis (A) ning põhjaveekogumite vertikaalne paiknemine põhjaveekihtides läbilõigetel (B). Põhjaveekogumite nimede vastavus numbritele on esitatud tabelis 1. Kaardil (A) toodud joones SN ja WE tähistavad läbilõigete (B) asukohta.

2.3 Põhjaveekogumite bilanss

Põhjavee kasutamine koguses üle 150 m³ kuus või 10 m³ ööpäevas nõuab Eestis põhjavee erikasutuse luba. Kui põhjaveevõtt ületab 500 m³ ööpäevas, tuleb enne kasutuse alustamist uuringutega tõendada, et põhjaveevaru on piisav järgmiseks 10–30 aastaks.

Veeseaduse (2025) § 204 lõike 4 kohaselt tuleb põhjaveevarude hindamisel lähtuda eeskätt põhjaveekogumi looduslikust ressursist. Hindamisel tuleb arvesse võtta järgmisi tegureid:

- põhjaveekihi hüdrogeoloogilised tingimused;
- põhjavee kaitstus ja põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide säilimine;
- olemasolevad veehaarded ja kehtestatud põhjaveevaruga alad;
- inimtegevuse mõju;
- saastunud pinnase- ja põhjaveega alade ning potentsiaalselt ohtlike saasteallikate paiknemine.

Põhjaveekogumi koguselist seisundiklassi hinnatakse Eestis vastavalt kehtivale korrale (Keskkonnaministri määrus nr 3, 2023) heaks, kui põhjaveevõtu aastane keskmine hulk jääb alla kinnitatud põhjavee tarbevaru või vesikonna veemajanduskava koostamisel määratud loodusliku ressursi. Lisaks tuleb arvesse võtta põhjaveetaseme muutusi, mis võivad negatiivselt mõjutada põhjavee kvaliteeti või kahjustada põhjaveest sõltuvaid ökosüsteeme.

Lisaks keemilist seisundit mõjutavatele koormusallikatele mõjutavad põhjaveekogumite koguselist seisundit ka mitmed koormusallikad, millest peamine on veetarbimine. Veetarbimise mõju ulatus sõltub peamiselt kolmest tegurist: tarbitava vee mahust, veehaarete paiknemisest ehk hajutatusest ning põhjaveekihi hüdrogeoloogilistest omadustest.

Veeseaduse kohaselt on põhjavee looduslik ressurss põhjaveekogumi keskmine pikaajaline aasta toitumismäär, millest on lahutatud pikaajaline aastane vooluhulk, mis on vajalik põhjaveega seotud pinnavee hea ökoloogilise seisundi saavutamiseks, pinnavee ökoloogilise seisundi olulise halvenemise vältimiseks ja põhjaveest sõltuvate maismaa ökosüsteemide olulise kahjustumise vältimiseks. (Veeseadus, 2025).

Eesti põhjaveekogumid kujutavad endast kolmemõõtmeliselt piiritletud maapõue osi, mille omavaheline hüdrauliline seotus mõjutab vastastikku nende bilansse. Arvestada tuleb, et maapinnalähedased ja sügavamad põhjaveekihid alluvad erinevatele toitumistingimustele – sügavamates kihtides puudub otsene seos pinnaveekogude ja maismaa ökosüsteemidega. Kui põhjaveekiht paikneb regionaalse põhjaveepideme all, ei pruugi neile pinnavee valgala järgi

määratud kogumite piirid looduslikult kehtida. Seetõttu tuleb hinnata põhjaveekogumite looduslikku bilanssi alati seostatuna neid ümbritsevate kogumitega.

Põhjaveekogumite looduslikud bilansid arvutati eelmises planeerimisperioodis kontseptuaalsete mudelite koostamise käigus (Marandi jt., 2019), kasutades Eesti arteesiabasseini (EAB) kolmemõõtmelist põhjaveemudelit. Mudel, mis tugineb USGS poolt arendatud MODFLOW tarkvarale (Harbaugh & Arlen, 2005), võimaldab kirjeldada põhjavee dünaamikat kogu Eesti ulatuses koos Venemaale ja Põhja-Lätti jäävate naaberaladega.

Käesoleva töö raames muudeti Meltsiveski põhjaveekogumi (PVK 28) piire ja arvutati selle uutesse piiridesse jääv looduslik ressurss. Piiride muutmise vajadus tulenes 2020. aasta seisundihindamise tulemustest, mille kohaselt oli PVK 28 looduslik ressurss väiksem kinnitatud põhjavee tarbevarust (Marandi jt., 2020). Negatiivne bilanss osutus seejuures arvutuslikuks, kuna suur osa PVK 28 veehaarete tarbitavast veest pärineb tegelikult PVK 24 (Kesk-Devoni põhjaveekogum).

PVK 24 looduslik ressurss on 2 228 835 m³/ööpäevas, kuid põhjaveevõtt sellest on vaid 13 824 m³/ööpäevas (Tabel 2). Seega oli tegemist meetoodilise probleemiga, mille lahendamiseks laiendati PVK 28 piire PVK 24 arvelt. See muudatus on hüdrogeoloogiliselt põhjendatud ega mõjuta oluliselt PVK 24 ressursse.

Meltsiveski kogumi uue loodusliku ressursi arvutamiseks kasutati MODFLOW mudelit, mille tehniline kirjeldus on esitatud Tartu linna põhjaveevarude ümberhindamise aruandes (Polikarpus jt., 2017). Muudetud piiridega PVK 28 looduslik ressurss on hinnanguliselt 16 745 m³/ööpäevas.

Koormusallikate mõju analüüs (Marandi jt., 2025) näitas, et enamikes Eesti põhjaveekogumites on tegelik veetarbimine väiksem kui looduslik põhjavee taastumise määr (Tabel 2). Seetõttu ei ole nende kogumite koguselise seisundi olulist halvenemist seni täheldatud. Siiski on olemas piirkondi, kus põhjaveekogumid on suurema ohustatusega. Nendes piirkondades on ohuteguriteks nii intensiivne veekasutus kui ka keerukad hüdrogeoloogilised tingimused, mis aeglustavad looduslikku põhjaveevarude taastumist.

Eriti tähelepanuväärne on Ordoviitsiumi põhjaveekogum Ida-Viru põlevkivibasseinis (PVK 7), kus ulatuslik põhjavee väljapumpamine mõjutab kaevanduste läheduses paiknevaid puurkaeve. Lisaks võib põhjaveetaseme alanemine mõjutada ka lähedal asuvaid pinnaveekogusid ning nendega seotud ökosüsteeme.

Kõrgema ohustatusega on samuti isoleeritud Kambriumi-Vendi põhjaveekogum (PVK 3) Põhja-Eestis ning Ordoviitsiumi-Kambriumi Tartu põhjaveekogum (PVK 5b) Ida-Eesti vesikonna lõunaosas (Joonis 4). Neis põhjaveekogumites on põhjaveekihid sügaval ning looduslik taastumine on aeglane. Intensiivne veetarbimine võib seal põhjustada põhjaveetaseme olulist langust. Survetasemete alandus

võib suurendada merevee sissetungi ohtu Põhja-Eesti rannikualadel. Lisaks võib veetaseme alanemine soodustada vee liikumist ülemistest veekihtidest ning soolase vee juurdevoolu külgnevatest põhjaveekihtidest.

Madalama ohustatusega on piirkonnad, kus põhjavee kasutus toimub peamiselt pindmistest veekihtidest (Joonis 4), ammutamiskohtade hajutatus on suurem ning veevarude taastumine toimub kiiremini. Sellised põhjaveekogumid on Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa (PVK 8), Harju (PVK 10), Matsalu (PVK 11) ning Ida-Eesti (PVK 13) põhjaveekogumid, Pandivere Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas (PVK 15), Siluri-Ordoviitsiumi Adavere-Põltsamaa põhjaveekogum (PVK 16), Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas (PVK 21) ning Kvaternaari Männiku-Pelguranna põhjaveekogum (PVK 29). Nendes piirkondades on veetarbimine väiksem ja looduslik veeliikumine püsib stabiilsena, mistõttu ei ole seal seni täheldatud olulist põhjaveetaseme langust ega vee kvaliteedi halvenemist.

Tabel 2. Eesti põhjaveekogumite looduslik ressurss, kinnitatud põhjaveevaru ning veevõtt.

PVK nr	Nimi	Looduslik ressurss (m ³ /ööpäevas)	Põhjavee kinnitatud varu 2023.a (m ³ /ööpäevas)	Veevõtt 2023.a (m ³ /ööpäevas)	Kasutamiseks olev vaba põhjaveekogus*	Minimaalne looduslik vaba ressurss**	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk***
1	Kambriumi-Vendi Gdovi	10675	16560	6394	10166	-5885	4281
2	Kambriumi-Vendi Voronka	15442	12360	4829	7531	3082	10613
1+2	Kambriumi Vendi Gdov+Voronka ühendatud puurkaevudega		8670	238	8432		
3	Kambriumi-Vendi	25580	87900	23596	64304	-62320	1984
4	Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas	35714	30360	8983	21377	5354	26731
5a	Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	49519	7280	2632	4648	42239	46888
5b	Ordoviitsiumi-Kambriumi Tartu põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	4208	9250	2749	6501	-5042	1459
6	Ordoviitsiumi Ida-Viru	285853		434	-434	285853	285419
7	Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini	107903	5000	426211	-421211	102903	-318308
8	Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa	45522		420	-420	45522	45102
9	Siluri Saaremaa	126090	6100	4150	1950	119990	121940
10	Siluri-Ordoviitsiumi Harju	756654	2231	7409	-5178	754423	749244
11	Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu	459699	4900	5448	-548	454799	454251

PVK nr	Nimi	Looduslik ressurss (m ³ /ööpäevas)	Põhjavee kinnitatud varu 2023.a (m ³ /ööpäevas)	Veevõtt 2023.a (m ³ /ööpäevas)	Kasutamiseks olev vaba põhjaveekogus*	Minimaalne looduslik vaba ressurss**	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk***
12	Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu	471451	12400	8019	4381	459051	463431
13	Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	741250	2880	27153	-24273	738370	714097
14	Pandivere Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti vesikonnas	303295	3200	2792	408	300095	300503
15	Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas	483213	6910	16198	-9288	476303	467015
16	Siluri-Ordoviitsiumi Adavere-Põltsamaa põhjaveekogum	198805	2700	7928	-5228	196105	190877
17	Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all Lääne-Eesti vesikonnas	536689	23000	13478	9522	513689	523211
18	Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all Ida-Eesti vesikonnas	336699	29960	6690	23270	306739	330009
19	Kesk-Alam-Devoni Ruhnu	805		12		805	793
20	Kesk-Alam-Devoni Kihnu	1176				1176	1176
21	Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas	536689		607	-607	536689	536082

PVK nr	Nimi	Looduslik ressurss (m ³ /ööpäevas)	Põhjavee kinnitatud varu 2023.a (m ³ /ööpäevas)	Veevõtt 2023.a (m ³ /ööpäevas)	Kasutamiseks olev vaba põhjaveekogus*	Minimaalne looduslik vaba ressurss**	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk***
22	Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	336699	10920	6145	4775	325779	330554
23	Kesk-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas	460246		543	-543	460246	459703
24	Kesk-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas	2228835	16235	12352	3883	2212600	2216483
25	Kesk-Devoni põhjaveekogum Koiva vesikonnas	536689		223		536689	536465
26	Ülem-Devoni	221586		95		221586	221491
27	Kvaternaari Vasavere	13725	8000	5841	2159	5725	7884
28	Kvaternaari Meltsiveski	16745	7500	5897	1603	9245	10848
29	Kvaternaari Männiku-Pelguranna	34168		414	-414	34168	33754
31	Kvaternaari Prangli	740		28		740	712

* Kinnitatud varu miinus veevõtt;

** Looduslik ressurss miinus põhjavee kinnitatud varu;

*** Looduslik ressurss miinus veevõtt 2023. a.

Veevõtu ja kinnitatud varude andmed Keskkonnaagentuurist 2023. a seisuga, loodusliku ressursi andmed eelmise perioodi põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite tööst (Marandi jt., 2019)

Põhjavee ressursside ja põhjaveevõttude detailne analüüs on esitatud eraldi aruandes „Põhjaveekogumite koormusallikate mõju analüüs“ (Marandi jt., 2025), kus käsitletakse ka põhjaveekogumite keemilise ja koguselise seisundi muutusi tulenevalt inim mõjust.

2.4 Põhjaveekogumite survetegurid

Põhjaveekogumite survetegureid on analüüsitud eraldi aruandes „Põhjaveekogumite koormusallikate mõju analüüs“ (Marandi jt., 2025), mis on osa veemajanduskavade (2027–2033) vesikonna tunnuste analüüsi ettevalmistavast etapist. Uuring tugineb Euroopa Komisjoni juhenditele, mis on välja töötatud veepoliitika raamdirektiivi ja põhjaveedirektiivi ühise rakendusstrateegia alusel.

Analüüsi käigus täpsustati ja kaasajastati olemasolevate põhjaveekogumite ulatused ja piirid, lähtudes uuendatud geoloogilisest, hüdrogeoloogilisest ja muust asjakohasest teabest. Koormusallikate mõju hindamiseks kasutati ruumianalüüsi ja mudelarvutusi. Peamised hinnatud survetegurid olid: põllumajandusest tulenev hajukoormus, kaevandustegevus, heitvee väljalasud, transpordist põhjustatud koormus ning koormus kanaliseerimata aladelt.

Analüüs keskendus eeskätt maapinnalähedaste põhjaveekogumite seisundile, kuna neid mõjutavad otseselt maapinnalt pärinevad saasteallikad. Sügavamate, isoleeritud põhjaveekogumite puhul on esmane koormustegur põhjavee liigne tarbimine.

Põhjaveekogumite keemilist seisundit mõjutavad peamised koormusallikad on järgmised:

- **Põllumajandusest** tulenev hajureostus on suurim ja laialdaselt levinud survetegur, eriti Pandivere, Adavere-Põltsamaa ja Ida-Eesti Devoni põhjaveekogumites.
- **Kaevandustegevuse** mõju on lokaalne, kuid Ida-Viru põlevkivibasseinis väga oluline.
- **Linnastunud aladel**, nagu Meltsiveski ja Männiku–Pelguranna põhjaveekogumid, avaldab mõju **transport**.
- **Põhjaveekogumite koguselist seisundit mõjutab peamiselt põhjaveevõtt**. Selle mõju hindamisel võrreldi põhjaveevõtu mahtu kehtestatud põhjaveevaru ja loodusliku ressursiga. Kõrge veevõtukoormusega piirkonnad paiknevad peamiselt Harjumaal, Ida-Virumaal ning aktiivsetes kaevanduspiirkondades.
- Tulenevalt koormusallikate intensiivsusest ja põhjaveekogumite varasemast hinnatud seisundist, hinnati 31 põhjaveekogumist 16 **potentsiaalselt ohustatuks**:
 - **Põhjavee liigse tarbimise tõttu**: PVK 1, 2, 3, 4, 5b ja 7
 - **Varasemate hinnangute ja olemasoleva teabe põhjal**: PVK 6, 11, 27 ja 31
 - **Põllumajandusliku koormuse tõttu**: PVK 14, 15, 16 ja 24
 - **Transpordist tuleneva reostuskoormuse tõttu**: PVK 28 ja 29

Kokkuvõttes näitab analüüs, et põhjaveekogumite seisundile avaldab enim mõju koormusallikate paiknemine ja intensiivsus ning põhjaveekogumi iseloom, eeskätt selle kaitstus ja veevahetuse kiirus.

2.5 Põhjaveekogumite läviväärtused

Põhjaveekogumite seisundi hindamisel kasutatakse lisaks põhjavee kvaliteedistandarditele ka läviväärtusi, mis võimaldavad hinnata, kas konkreetses põhjaveekogumis esineb inimõigust tulenev keemilise koostise halvenemine. Läviväärtused on seatud selliselt, et nende ületamine viitab ohule põhjaveekogumi heale seisundile ning potentsiaalsele mõjule inimese tervisele, ökosüsteemidele või põhjavee kasutusvõimalustele.

Põhjavee kvaliteedistandardid (*groundwater quality standards*) on sätestatud põhjaveedirektiivis (Euroopa Parlament ja Nõukogu, 2006) ning kehtestatud Eestis Keskkonnaministri (2022) määrusega nr 48. Neid kasutatakse kogu Euroopa Liidus ühtselt selliste ainete hindamiseks nagu nitraadid ja pestitsiidid.

Läviväärtused (*threshold values*) on määratletud liikmesriigi tasandil ning lähtuvad kohaliku geoloogilise ja hüdrokeemilise tausta ning koormusallikate eripärast. Läviväärtused kehtestatakse ainetele ja näitajatele, millel on kohalik või piirkondlik tähtsus põhjaveekogumite seisundi hindamisel (nt kloriid, sulfaat, naftasaadused, PAH-id, benseen, fenoolid). Eesti põhjaveekogumitele kehtivad läviväärtused on samuti loetletud Keskkonnaministri (2022) määruses nr 48.

Lisaks on määruses nr 48 § 7 toodud täiendavad seisundikriteeriumid, sh pH vahemik, elektrijuhtivus, lahustunud hapniku sisaldus, keemiline hapnikutarve, ammoniumi sisaldus ning ohtlike ainete esinemine.

Hetkel kehtivad põhjaveekogumite läviväärtused määrati 2019. a põhjaveekogumite moodustamise töös (Marandi jt., 2019) ning sealt on toodud ka pikem läviväärtuste määramise meetodika. Läviväärtused määratakse kontseptuaalsete mudelite alusel, arvestades põhjaveekogumi hüdrogeoloogilist ehitust, veeliikumise suundi, looduslike taustatasemeid ning põhjavee ja selle tarbimise seoseid ökosüsteemide või pinnaveekogumitega. Läviväärtuste määramisel tuleb eelkõige hinnata, millist mõju võib põhjavesi avaldada kõige tundlikumale retseptorile – näiteks joogiveele, pinnaveele või põhjaveest sõltuvalle ökosüsteemile.

Läviväärtuste määramiseks võrreldakse iga saasteaine **taustataset** (looduslik sisaldus) vastava kriteeriumiväärtusega (keskkonnastandard või regulatiivne piirväärtus). Kui taustatase ületab kriteeriumiväärtuse, kasutataksegi läviväärtusena taustataset. Kui taustatase jääb alla kriteeriumiväärtuse, võib määrata rangema või strateegiliselt põhjendatud läviväärtuse.

Taustatasemete määramisel kasutatakse sobivaimat meetodikat. Eestis on peamiselt rakendatud 90% tõenäosuspiiri vastava aine sisalduste jaotusel (European Communities, 2009). Taustatasemetena on

kasutatud nii seireandmeid (2004–2017) kui ka ajaloolisi keemilisi analüüse (nt Tšeban, 1966) ning varasemate uuringute tulemusi (nt Infragate, 2013).

Käesolevas aruandes esitatud põhjaveekogumite kontseptuaalsete mudelite koostamisel läbi viidud hinnang kinnitab, et põhjaveekogumite keemiline kvaliteet on püsinud stabiilsena (vt Piperi diagrammid kontseptuaalsetes mudelites). Mudelite kaasajastamise tulemusel ei ilmnenud vajadust kehtivaid läviväärtusi muuta, kuna uued andmed ei viita senisest erinevale koormusolukorrale ega looduslikele taustatasemetele. Sellest tulenevalt ei tehtud muudatusi kehtivates läviväärtustes.

2.6 Põhjaveekogumite seirevõrgu analüüs

Eesti põhjaveekogumite seirevõrku on hinnatud eraldi aruandes „*Põhjavee riikliku seirevõrgu analüüs ning ettepanekute tegemine*“ (Osjamets jt., 2025), mille eesmärk oli analüüsida 2024–2025. aasta riikliku seirevõrgu sobivust, tihedust ja seire sagedust vastavalt Euroopa Komisjoni juhenditele, veepoliitika raamdirektiivile (Euroopa Parlament ja Nõukogu, 2000) ning põhjaveedirektiivile (Euroopa Parlament ja Nõukogu, 2006).

Uuring tugineb riikliku seireprogrammi andmetele (Keskkonnaministri määrus nr 3, 2023), 2023. aasta põhjaveeseire aruandele (Tamm ja Leisk, 2024) ning Life C.9 projektide tulemustele (Truu jt., 2023). Töö keskendub seirevõrgu vastavuse hindamisele kehtivate nõuete ja seire eesmärkidega ning annab konkreetsed soovitused võrgu arendamiseks:

1. Seirevõrgu ajakohastamine ja planeerimine

Paljudes põhjaveekogumites (PVK 3, 4, 5a, 5b, 6, 7, 9, 12, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 24, 28, 29) on seirevõrgu tihedus langenud allapoole 2012. aastal hinnatud miinimumtaset. Kontseptuaalsete mudelite ja varasemate seireanalüüside põhjal soovitatakse koostada seirejaamade uuendamise kava, mis hõlmaks:

- olemasolevate seirepunktide arvu piisavuse hindamist,
- uute seirepunktide otsingut,
- probleemsete seirekaevude uuringuid ja vajadusel uute kaevude rajamist,
- seire läbiviija kaasamist seirevõrgu arendamisse,
- lepingute sõlmimist eraomandis olevate seirepunktide kasutamiseks.

Töö peaks algama ohustatud põhjaveekogumitest ning jätkuma kogumites, kus seirepunktide arv jääb alla vajaliku piiri.

2. Seirepunktide kvaliteedi tagamine

Anomaalsete seiretulemustega kaevude kontrolli ja vajadusel puhastamist tuleb jätkata. Konstruktioonilise teabe puudumisel tuleks kasutada geofüüsikalisi uuringuid. Seiresse lisanduvad kaevud ja allikad tuleb eelnevalt üle kontrollida ning hinnata nende sobivust. Olemasolevate seirepunktide eemaldamisel tuleb säilitada neist kogutud seireandmed ning dokumenteerida eemaldamise põhjused (nt EELIS andmebaasis).

3. Keemilise seisundi hindamise meetodika täiendamine

Põhjaveekogumi keemiline seisund loetakse halvaks, kui probleemsete seirekaevude osakaal ületab 20% (Marandi jt., 2020). Kui aga kõiki prioriteetseid saasteaineid ei määrata igas seirekaevus, võib tulemuseks olla aine mõju alahindamine. Seetõttu soovitatakse:

- määrata kõik prioriteetsed saasteained vähemalt kord hindamisperioodi jooksul kõigis seirepunktides,
- vajadusel arvutada seirepunkti osakaal ainete põhiselt.

4. Seirevõrgu täiendamine ohustatud kogumites ja PSÖS piirkondades

Ohustatud põhjaveekogumites ja PSÖS (põhjaveest sõltuvad ökosüsteemid) piirkondades tuleb keemilise seisundi seiret tihendada. Paljudes märgalades ja järvedes puudub hetkel veetaseme seire, mistõttu ei saa hinnata kogumi mõju ökosüsteemi seisundile. Lisaks tuleb täiendada seiret valgaladel, kus uus pinnavee info viitab vajadusele rajada uusi seirepunkte.

Tallinna Ülikooli PSÖS vahearuaude järgi (Vainu jt., 2024) on Eestis 533 põhjaveest sõltuvat ökosüsteemi, ent enamiku läheduses puudub sobiv seirejaam. Sageli paikneb lähim punkt üle 10 km kaugusel ja teises valgalas. Seirepunktide arv jääb suurusjärgu võrra alla PSÖS objektide arvule.

5. NTA põhivõrgu kasutamine

NTA (nitraaditundlik ala) põhivõrgu seirekaevud sobivad kasutamiseks põhjaveekogumite keemilise seisundi hindamisel, nagu tehti ka 2020. aasta hindamises (Marandi jt., 2020). Nendes jaamades tuleks määrata samad saasteained, mis on ettenähtud põhjaveekogumite hindamisel. Kui kõiki aineid ei määrata, tuleks arvutada iga saasteaine osakaal eraldi.

2.7 Põhjaveest sõltuvad ökosüsteemid

Käesolevas töös on esitatud TLÜ uuringu (Vainu jt., 2025) tulemused uuringu esimesest etapist, mis oli esitatud tellijale vahearuaudena. Tegemist on esialgsete tulemuste ja vahehindamistega. Lõplikud järeldused, täpsustatud analüüsid ning lõpparuandele tuginevad otsused saavad selgeks alles 2025. aasta lõpuks. Seetõttu tuleb käesoleva vahearuaude tulemusi käsitleda kui tööprotsessi vahepealset kokkuvõtet, mitte lõplikku hinnangut põhjaveest sõltuvate ökosüsteemide seisundile ega nende sõltuvuse tugevusele põhjaveekogumitest.

Uuringu käigus on uuendatud põhjaveest sõltuvate maismaaökosüsteemide, vooluveekogude, seisuveekogude ning karstijärvikute nimekirjad. Kõik nimekirjad on koostatud olemasolevate andmete, eelnevate uuringute ja täiendavate meetodiliste arenduste alusel, kuid need on esialgsed ning võivad veel 2025. aasta jooksul täieneda ja täpsustuda. TLÜ töös esitatud põhjaveest sõltuvate maismaaökosüsteemide, vooluveekogude, seisuveekogude ja karstijärvikute uuendatud nimekirjad on esitatud aruande lõpus iga konkreetse põhjaveekogumi kontseptuaalses mudelis.

Maismaaökosüsteemide uuendatud nimekirja koostamisel on aluseks võetud GroundEco meetodika, mida on töö käigus täiendatud praktikas ilmnenud kitsaskohtadega arvestamiseks. Nimekirjade koostamisel on arvestatud loodusdirektiivi elupaigatüüpide inventuuride andmestiku, kehtivate pindalakriteeriumite ning kaitsealuste taimeliikide esinemisega. Piiritletud alade hulka on kaasatud vaid need ökosüsteemid, mille pindala, esinduslikkus ja liigikoosseis vastavad täiendatud kriteeriumidele. Kuna meetodika rakendamisel ilmnes, et algselt määratud pindalakriteeriumid andnuks ebapraktiliselt suure hulga objekte, siis täpsustati pindala alampiire vastavalt praktilistele kaalutlustele (Vainu jt., 2025).

Vooluveekogude ja seisuveekogude uuendatud nimekirjade koostamisel on arvestatud viimastel aastatel kogutud andmeid ning lisandunud uuringutulemusi, sealhulgas üksikuid põhjaveetoite määramisi valitud jõgedel. Süsteemne põhjaveetoite osakaalu hindamine kõigi Eesti vooluveekogude kohta siiski veel puudub. Antud etapis on kasutatud olemasolevate hüdromeetriaajaamade andmeid, varasemaid eksperthinnanguid ja osalisi mõõtmistulemusi, mille alusel on täpsustatud vooluveekogude seotust põhjaveekogumitega.

Karstijärvikute osas on uuendatud looduslikult väärtuslike karstijärvikute nimekirja, võttes arvesse nii varasemates töodes toodud andmeid kui ka hiljutisi kaardistustulemusi. Inventeeritavate karstijärvikute valikul on lähtutud eelkõige nende ökoloogilisest ja kaitselisest tähtsusest ning seotusest peamiste põhjaveekogumitega. Inventuur hõlmab valikut järvikutest, mille hulgast enamik paikneb Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere põhjaveekogumite mõjualas, arvestades seal esinevaid kõrgendatud nitraaditasemeid ning võimalikku mõju järvikute seisundile.

Oluline on rõhutada, et vahearuandesse koondatud ning käesolevas aruandes põhjaveekogumite kontseptuaalsetes mudelites esitatud **nimekirjad kajastavad võimalikke põhjaveest sõltuvaid süsteeme, kuid hetkel puudub veel lõplik hinnang selle kohta, kas ja kuivõrd on põhjavesi iga konkreetse ökosüsteemi või veekogu seisundi puhul määrav ja olulise mõjuga**. Sellised hinnangud antakse tõenäoliselt tulevikus tehtavates uuringutes.

2.8 Piiriülesed põhjaveekogumid

Viimastel aastatel on Eesti ja Läti vahelise piiriülese põhjaveekoostöö raames toimunud märkimisväärne areng, mille eesmärgiks on olnud piiriüleste põhjaveekogumite parem tundmine ning nende jätkusuutliku kasutamise ja kaitse aluste tugevdamine. Teadus- ja arendustegevus on keskendunud eelkõige põhjavee ressursside hindamisele, seisundi analüüsimisele, ühise seirekorralduse arendamisele ja koordineeritud juhtimispõhimõtete kujundamisele. Need tegevused on toimunud kahes rahvusvahelises koostööprojekti: Interreg Estonia-Latvia programmi raames ellu viidud projektis WaterAct (<https://www.egt.ee/wateract>) ning EEA ja Norra Finantsmehhanismi toetatud projektis EU-Waterres (<https://eu-waterres.eu/>).

2.8.1 WaterAct projekt

WaterAct projekt, täisnimega „Joint actions for more efficient management of common groundwater Resources“, käivitus 2019. aastal ning keskendus piiriüleste põhjaveekogumite seisundi hindamisele Gauja/Koiva ja Salaca/Salatsi valgaladel. Projektile oli 8 partnerit Eestis ja Lätis, nende hulgas nii geoloogiateenistused, teadusasutused kui ka riiklikud keskkonnaagentuurid. Projektijuht oli Läti keskkonna-, geoloogia- ja meteoroloogiakeskuse hüdrogeoloogia osakond.

Projekti keskseks eesmärgiks oli luua kahe riigi jaoks ühtsed põhimõtted, mille alusel hinnata piiriüleste põhjaveekogumite seisundit kooskõlas Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivi nõuetega. Selle töö tulemusena määratleti kaheksa piiriülest põhjaveekogumit, mis jaotati vastavalt geoloogilisele ehitusele kolme hüdrogeoloogilisse süsteemi: Kesk-Alam-Devoni, Kesk-Ülem-Devoni ja Ülem-Devoni.



Joonis 5. Eesti ja Läti piiriülesed põhjaveekogumid: A - Kesk-Alam-Devoni põhjaveekompleks, B - Ülem-Kesk-Devoni põhjaveekompleks ja C - Ülem-Devoni põhjaveekompleks (Borzdins jt., 2022). Eesti Põhjaveekogumite numbrite vastavus nimedega on toodud tabelis 1

Põhjaveekogumite seisundi hindamine viidi läbi ühtlustatud meetodika alusel, mille käigus analüüsiti nii vee keemilist kui ka koguselist seisundit. Lisaks hinnati põhjaveest sõltuvaid maismaaökosüsteeme,

millele põhjavee seisund võib olulist mõju avaldada. Samuti töötati välja soovitusel seirevõrgu täiustamiseks ja optimeerimiseks. Selle tulemusel kaardistati olemasolevad seirepunktid ning määrati potentsiaalsed uued seirepunktid, sealhulgas allikad, mis võiksid parandada põhjavee seisundi seire katvust piiriüleses piirkonnas. Projekti tulemused koondati ühisesse aruandesse, mis käsitles põhjaveekogumite seisundi hindamist, seirestrateegia väljatöötamist ning allikate seire optimeerimist (Borozdins jt., 2022).

WaterAct projekti raames tehti ettepanek ühtlustatud andmevahetuseks piiriülese põhjaveeseire korraldamisel. Ühise arendustöö käigus määratleti mõlema riigi ekspertide koostöös esinduslikud põhjavee kvaliteedi seirepunktid (Tabel 3) ja ühiselt seiratavad parameetrid (Tabel 4), mis katavad olulised põhjaveekogumid ja peamised hüdrogeoloogilised süsteemid piiriüleses piirkonnas. Kokkulepitud proovivõtukohtad võimaldavad regulaarselt jälgida põhjaveekogumite seisundit, võrrelda seireandmeid ning toetada põhjavee piiriülese seisundi hindamist ja aruandlust Euroopa veepoliitika raamdirektiivi kohaselt.

Seirepunktid hõlmavad nii puurkaeve kui ka allikaid, paiknedes peamiselt Gauja/Koiva ja Salaca/Salatsi valgaladel, kuid osaliselt ka nende kõrvalasuvates valglates. Lisaks on valikusse kaasatud põhjaveekihte esindavad punktid Lääne-Eesti ja Ida-Eesti põhjaveekogumitest, kuna nende hüdrodünaamiline seotus piiriülese põhjaveesüsteemiga on oluline kogu põhjaveevõrgu terviklikuks hindamiseks.

Tabel 3. WaterAct projektis kokkulepitud Eesti ja Läti piiriüleses ala soovituslikud põhjaveeseire punktid ühtlustatud seirevõrgus (Borozdins jt., 2022).

Seirepunkti kood riiklikes andmebaasides	Seirepunkti nimetus	Valgala	Koordinaadid (X, Y; m)	Põhjaveekiht	Riik
Puurkaevud					
10722	Misso suurfarm	Gauja/Koiva	6389028, 693403	Üle-Devon	Eesti
10890	Varstu alevik	Gauja/Koiva	6392320, 658874	Kesk-Devon	Eesti
11890	Lüllemäe	Gauja/Koiva	6403409, 641379	Kesk-Devon	Eesti
13376	Krabi põhikooli puurkaev	Gauja/Koiva	6388200, 668863	Kesk-Devon	Eesti
9635	Aloja	Salaca/Salatsi	6403489, 548750	Kesk-Alam-Devon	Läti
9636	Aloja	Salaca/Salatsi	6403409, 549905	Kesk-Alam-Devon	Läti
22652	Rimeikas	Salaca/Salatsi	6407112, 560544	Kvaternaari	Läti
9601	Rimeikas	Salaca/Salatsi	6407442, 560984	Kvaternaari	Läti
9600	Rimeikas	Salaca/Salatsi	6407436, 560985	Kesk-Devon	Läti

9639	Seda	Salaca/Salatsi	6405850, 584754	Kesk-Alam-Devon	Läti
9637	Valka	Salaca/Salatsi	6403774, 618372	Kesk-Devon	Läti
6578	Krundiküla, Jaagupi	Lääne-Eesti	6432248, 527793	Kesk-Devon	Eesti
7073	Põlde	Lääne-Eesti	6443188, 580276	Kesk-Alam-Devon	Eesti
7592	Õisust	Lääne-Eesti	6450231, 589928	Kesk-Devon	Eesti
7653	Saarde küla	Lääne-Eesti	6445007, 556936	Kesk-Alam-Devon	Eesti
Allikad					
14338	Luhamaa piiripunkt	Ida-Eesti	6393870, 701730	Üle-Devon	Eesti
24563	Zīļu avots	Gauja/Koiva	6379621, 662194	Kesk-Devon	Läti
24561	Spīgu avots	Salaca/Salatsi	6417349, 559401	Kesk-Devon	Läti
24554	Govs avots	Salaca/Salatsi	6405687, 592941	Kesk-Devon	Läti

Tabel 4. WaterAct projektis kokkulepitud Eesti ja Läti piiriülese ala soovituslikud põhjaveeseire kvaliteedi komponendid ühltustatud seireks (Borizdins jt., 2022).

Alamrühm	Parameetrid	Seiresagedus
Põhiparameetrid		
Kirjeldavad määrangud (väliparameetrid)	Temperatuur, pH, elektrijuhtivus, lahustunud hapnik (O ₂)	3 korda 6 aasta jooksul (PVK 23, 25, 26, A8, A10, D6); 2 korda 6 aasta jooksul (PVK 21, P)
Põhiioonid ja lämmastikuühendid	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , üldkaredus, Fe _{üld} , NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻	3 korda 6 aasta jooksul (PVK 23, 25, 26, A8, A10, D6); 2 korda 6 aasta jooksul (PVK 21, P)
Lisaparameetrid		
Raskemetallid	Cd, Pb, Hg, As	1 kord 6 aasta jooksul (kõikides seirepunktides)
Keemilised saasteained	Trikloroetüleen, tetrakloroetüleen, 1,2-dikloroetaan	1 kord 6 aasta jooksul (ainult punktides, kus analüüsitakse)
Pestitsiidid	Atrasiin, Simasiin, Propasiin, Bentasoon, MCPA, Aldriin, Dieldriin, Heptakloor, 2,4-D, Isoproturoon, Aklonifeen, Bifenoks, Prometriin, Dimetoaat, Sübermetriin, Trifluraliin, Tebukonasool, Epoksikonasool, Diflufeniikaan, Metribusiin, Metasakloor	1 kord 6 aasta jooksul (ainult punktides, kus analüüsitakse)

Tabelis toodud seirepunktide valik põhineb mõlema riigi ekspertide hinnangul põhjaveesüsteemi iseloomulikele omadustele, senisele seirevõrgu katvusele, põhjaveekogumite ulatusele ning piiriülese põhjavee voolu esinemisele.

Kokkulepitud võrgustik loob eeldused regulaarseks andmevahetuseks, andmete võrreldavuseks ning võimaldab tulevikus süstemaatiliselt hinnata põhjavee kvaliteedi muutusi piiriülestes kogumites, sealhulgas jälgida võimalike inimõjude ajalisi muutusi ja kliimamuutuse pikaajalist mõju põhjavee seisundile.

WaterAct aruanded on leitavad Geoloogiafondi püsilingilt: <https://fond.egt.ee/fond/egf/9714>

2.8.2 EU-Waterres projekt

Paralleelselt WaterAct projektiga viidi aastatel 2019–2023 läbi ka ulatuslikum EU-Waterres projekt, mille ametlik nimetus on „*EU-integrated management system of cross-border groundwater resources and anthropogenic hazards*“. Selle projekti fookus oli laiem, hõlmates lisaks Eesti-Läti piiriülestele põhjaveekogumitele ka Poola-Ukraina piiriüleseid alasid. Projekti üldiseks eesmärgiks oli luua piiriüleste põhjaveeressursside integreeritud juhtimissüsteem, mis toetuks ühtlustatud andmekogumisele, ressursihindamisele, seirele ja koordineeritud juhtimisele. Projekti elluviimisega oli seotud üheksa asutust Eestist, Ukrainast, Lätist, Norrast ja Poolast, nende hulgas nii geoloogiateenistused, teadusasutused kui ka üks geoinformaatika ettevõtte. Projekti juhtpartner oli Poola Geoloogia Instituut – Riiklik Uurimisinstituut (Polish Geological Institute - National Research Institute).

EU-Waterres projekti Eesti-Läti pilootala hõlmas kogu kahe riigi vahelise maismaapiiriga külgnevaid alasid. Projekti käigus loodi piiriülene hüdrogeoloogiline kontseptuaalne mudel, mille alusel arendati PUMA hüdrodünaamiline arvutusmudel, et kirjeldada põhjavee liikumist piiriülestes piirkonnas. Selle modelleerimise tulemusel määrati põhjavee voolusuunad ja mahud kolmes peamises hüdrogeoloogilises süsteemis: Pļaviņas-Ogre, Aruküla-Amata ja Kesk-Alam-Devoni süsteemides. Samuti hinnati varude suurusi ning määrati kindlaks piiriülese põhjaveevoolu bilanss (Hunt jt., 2023).

EU-Waterres projekti üheks keskseks ülesandeks oli integreeritud põhjavee seirevõrgu arendamine piiriüleste põhjaveekogumite jaoks. Projekti raames käsitleti seirevõrgu kujundamist süsteemselt, sidudes hüdrogeoloogilise kontseptuaalse mudeli, piiriülese põhjaveebilansi analüüsi ning olemasolevate seirevõrkude koondamise ja täiendamise.

Põhjavee seirevõrgu kujundamise lähtealuseks oli mõlema riigi senine kogemus ning Euroopa veepoliitika raamdirektiivi ja ÜRO veekonventsiooni põhimõtted, mille kohaselt peab seire tagama usaldusväärse ülevaate põhjaveekogumite seisundist, sealhulgas voolusuundadest, kvaliteedist, kogusest ja antropogeensetest mõjudest piiriülestes tingimustes.

Esmalt viidi läbi olemasolevate riiklike seirevõrkude analüüs nii Eesti kui ka Läti poolel. Selle käigus hinnati olemasolevate seirepunktide paiknemist ja sobivust piiriüleste põhjaveekogumite seisundi jälgimiseks. Arvesse võeti seirepunktide paiknemine piiriüleste põhjavee voolusuundade suhtes,

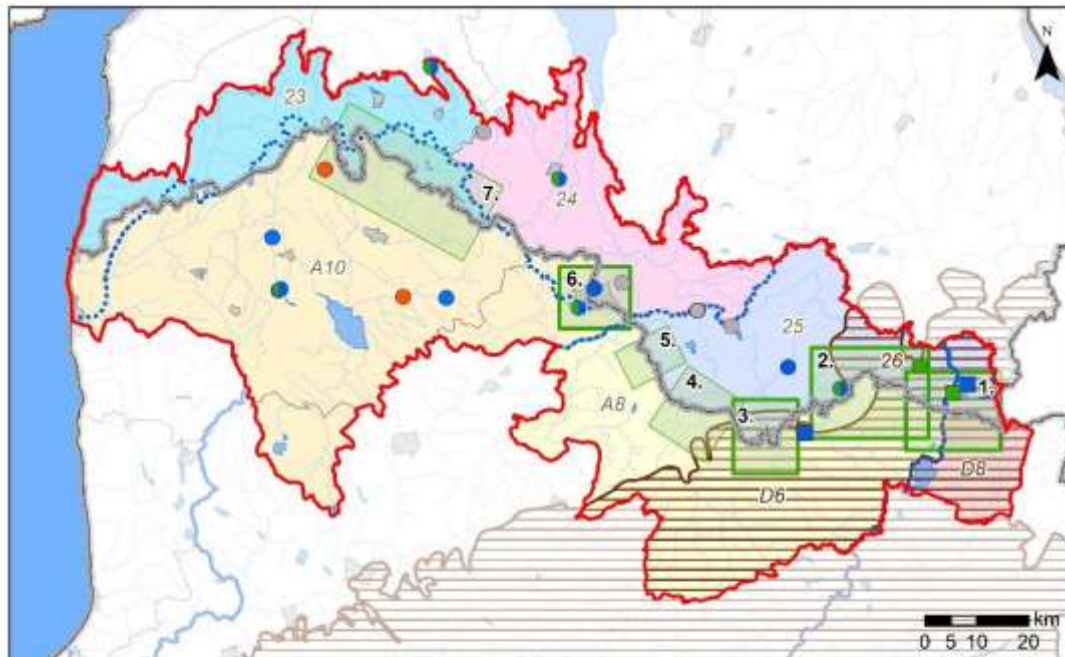
veekihi iseloom, veevõtu maht ja võimalike reostusallikate lähedus ning olemasolevate andmete kättesaadavus. Selle analüüsi tulemusena valiti välja hulk olemasolevaid seirepunkte, mis kvalifitseeruvad kasutamiseks piiriülese seire raames.

Lisaks tuvastati piiriüleisel alal piirkonnad, kus olemasolev seirepunktide võrk ei võimaldanud piisavat katvust piiriülese põhjavee voolamise või võimalike riskitsoonide tuvastamise osas. Eriti pöörati tähelepanu piirkondadele, kus põhjaveevool suundub üle riigipiiri ja kus esinevad intensiivsem veevõtt või potentsiaalsed reostusallikad. Selliste täiendavate seirealade määratlemisel võeti aluseks piiriülese põhjavee voolamise kontseptuaalsed mudelid ja koormusallikate ruumiline jaotus.

Ettepanekus toodi välja seitse perspektiivset piirkonda, kuhu soovitati rajada täiendavad seirepunktid, tagamaks kogu piiriülese põhjaveekogumi horisontaalne ja vertikaalne katvus. Need piirkonnad paiknesid eeskätt piirkondades, kus toimub Aruküla-Amata ja Pļaviņas-Ogre põhjaveekihtides põhjavee piiriülene voolamine, samuti Salaca ja Gauja valgalade piirialadel, kus põhjaveevoolu suund ja võimalikud reostusmõjud võivad ulatuda üle riigipiiri.

Lisaks seirepunktide valikule määratleti soovituslikud seireparameetrid ja proovivõtu sagedused, arvestades põhjaveekihi iseloomu, põhjavee gradienti ja võimalikke antropogeenseid mõjusid. Põhiparameetrite puhul (Tabel 4) nähti ette regulaarne seire vähemalt iga kahe kuni kolme aasta järel, samas kui prioriteetsete saasteainete ja raskemetallide määramised kavandati kord kuue aasta jooksul. Kvantitatiivse seire puhul rõhutati vajadust jälgida veetasemeid ja voolusuundade muutusi piisava sagedusega, et tuvastada võimalikke muutusi, mis võivad mõjutada piiriüleseid põhjaveevoolusid.

EU-Waterres projektis esitatud seirevõrgu ettepanek kujunes tasakaalustatud lahenduseks, mis sidus olemasoleva andmestiku ja infrastruktuuri uute täiendustega, arvestades nii seire praktilist teostatavust kui ka vajadust tagada usaldusväärne ja võrreldav piiriülene põhjaveeseire. Välja pakutud seirevõrgu rakendamine looks eeldused pikaajaliseks koostööks ja põhjavee säästvaks majandamiseks piiriülestes piirkondades, toetades samas Euroopa veepoliitika raamdirektiivi ja piiriülese koostöö kokkulepete täitmist.



Legend

Monitoring points

of Pļaviņas-Ogre aquifer system:

- Quality
- Quantity

LV-EE pilot area

26 GWB of Pļaviņas-Ogre aquifer system

AB GWB of Aruküla-Amata aquifer system

River basin district:

- | | | |
|--|---|--|
| West Estonia | Kolva | East Estonia |
| Salaca | Gauja | Daugava |

Monitoring points

of Aruküla-Amata aquifer system:

- Quantity/quality
- Quality
- Quantity
- No active
- New

Priority:

- 2th priority
- 1th priority

Watershed

Joonis 6. Eesti-Läti piiriülese ühtse põhjaveeseire võrgustikku sobivad puurkaevud ja 7 prioriteetset ala, kuhu soovitatakse lisada seirepunkte (Demidko jt., 2021)

Projekti käigus viidi läbi ka põhjalik antropogeensete mõjude analüüs. Selle käigus koguti ja analüüsiti andmeid põhjaveevõtu, võimaliku piiriülese reostuse ning põhjavee kaitstuse kohta piiriüleses piirkonnas. **Analüüsi põhjal ei esine Eesti-Läti piiriüleses piirkonnas olulisi antropogeenseid riske ega märkimisväärseid piiriüleseid mõjusid põhjavee seisundile.** Ka põhjavee kaitstusest tulenevad võimalused piiriülesteks mõjudeks on praegusel ajal hinnatud ebaoluliseks, arvestades piirkonna väikest veevõttu ja selle hajusust.

Kokkuvõtlikult võib tõdeda, et ajavahemikus 2019–2023 ellu viidud projektide WaterAct ja EU-Waterres raames loodi tugev alus Eesti-Läti piiriülese põhjaveekoostöö edasiseks arenguks. Mõlema projekti käigus koostati põhjaveesüsteemide kontseptuaalsed mudelid, viidi läbi põhjalik seirevõrkude, andmehalduse ja seisundihindamise meetodikate analüüs ning töötati välja ettepanekud nende süsteemide ühtlustamiseks. Projekti tulemused võimaldavad liikuda senisest süsteemsemale ja

koordineeritumale põhjaveeressursside piiriülese juhtimisele, toetudes ühistele hinnangutele, ühtlustatud meetodikatele ja integreeritud andmesüsteemidele.

Kokkuvõte

Käesolevas uuringus ajakohastati Eesti põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid, eesmärgiga toetada 2027–2032 veemajanduskavade koostamist ning täiustada põhjavee kaitse ja kasutuse strateegilist juhtimist. Analüüs viidi läbi kooskõlas Euroopa veepoliitika raamdirektiivi ja põhjaveedirektiivi nõuetega, hõlmates kõiki Eesti 31 põhjaveekogumit. Töö käigus käsitleti nende kogumite hüdrogeoloogilist ehitust, hüdrokeemilist iseloomustust ning hinnati koormusallikate mõju põhjavee seisundile.

Põhjaveekogumite rajoneerimine tugines nende geoloogilisele ehitusele ja hüdrogeoloogilisele funktsioonile, jagades süsteemid avatud ja isoleeritud põhjaveekihtideks. Avatud kogumid liigitati omakorda karbonaatkivimite, liivakivide ning saarte ja rannikualade avamusalade põhjal. Iga kogumi jaoks koostati täpsustatud kontseptuaalsed mudelid, mis arvestavad nii looduslikke kui antropogeenseid mõjutegureid ning annavad aluse koordineeritud riskihindamisele ja kaitsemeetmete kavandamisele.

Uuringu tulemused näitasid, et valdavas osas põhjaveekogumitest ületab looduslik taastumismaht senist veevõttu, viidates põhjaveevarude üldisele kestlikkusele. Samas ilmnes mitmeid piirkondi, kus põhjavee tarbimine ja kaevandustegevusest tingitud kuivendamine on mõjutanud veetasemeid ning võib potentsiaalselt mõjutada veest sõltuvaid ökosüsteeme. Eriti tõusevad esile Ida-Viru põlevkivibasseini alad, kus intensiivne põhjavee äravool ja veetaseme langus kujutavad endast lokaalset ökoloogilist riski.

Kokku tuvastati 16 põhjaveekogumit, mille puhul võib hinnata, et need on potentsiaalselt ohustatud. Riskide olemus varieerub sõltuvalt kogumi tüübist: sügavate isoleeritud põhjaveekihtide puhul kujutavad peamist ohtu veevõttust tingitud põhjavee rõhutaseme alanemine ja sellest tulenev võimalik soolase vee sissetung; avatud veekihtide puhul on esmatähtsaks riskiteguriks põllumajanduslikust tegevusest lähtuv hajukoormus (eelkõige nitraadi kujul), samuti transpordi- ja linnastualade koormus. Kuigi sügavad põhjaveekihid on pinnalt lähtuva reostuse eest kaitstud, võib ulatuslik veevõtt muuta hüdrogeoloogilisi tasakaale ja soodustada erineva päritoluga vete segunemist, mis mõjutab vee kvaliteeti ka isoleeritud süsteemides.

Põhjaveeseire võrgustiku analüüs näitas, et mitmes kogumis jääb seirepunktide arv alla kehtestatud miinimumnõuete, mistõttu ei pruugi olemasolev seirevõrk võimaldada riske õigeaegselt avastada. Puudulik seirevõimekus avaldub eriti nendes piirkondades, kus põhjavesi mõjutab põhjaveest sõltuvaid ökosüsteeme, mille kaitseks on vajalik ruumiliselt ja funktsionaalselt tihedam seirevõrgustik.

Piiriüleste põhjaveekogumite hindamisel rakendati koostöös Läti partneritega ühtlustatud meetodikat. Läbiviidud uuringud kinnitasid, et praegu olulisi piiriüleseid põhjavee kvaliteedi- või koguseprobleeme ei esine, kuid edasiseks koostööks on vajalik andmevahetuse ja seiremeetodikate järjepidev ühtlustamine ning täiendavate seirepunktide rajamine. Koostööprojektid WaterAct ja EU-Waterres andsid olulise aluse ühtse seire- ja andmevahetussüsteemi kujundamiseks Eesti-Läti piiriülese põhjavee majandamises.

Uuring tõi esile ka prioriteetsed uurimissuunad ja täiendavad arendusvajadused. Seirevõrgu laiendamine ja täiendamine, hüdrogeoloogiliste omaduste detailsem määratlemine ning põhjaveemudelite edasiarendus võimaldavad tulevikus oluliselt täpsemalt hinnata põhjavee seisundit ja selle dünaamikat. Järgmiste veemajanduskavade koostamisel tuleb arvesse võtta vajadus integreerida põhjavee seiresse ka veeressursside jälgimine võimalike kliimamuutuste mõjude osas.

Kasutatud kirjandus

1. Borozdins, D., Demidko, J., Bikše, J., Babre, A., Koit, O., Küttim, L., Ojamäe, K., Popovs, K., Strazdiņa, L., Tarros, S., Vainu, M., Valters, K. 2022. Joint report on WP2 activities AT.2.2 “Assessment of the status of transboundary groundwater bodies according to harmonized principles”, AT.2.3 “Development of transboundary monitoring strategy” and AT.2.4 “Spring monitoring optimization and watershed modeling”. Interreg Estonia-Latvia project No.Est-Lat155 “Joint actions for more efficient management of common groundwater resources (WaterAct)”. Aruanne, EGF 9714. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9714>
2. Demidko, J., Borozdins, D., Bukovska, I., Marandi, A., Männik, M., Valters, K. 2021. Integrated groundwater observation network in Latvian-Estonian transboundary area. WP3 Output 2. Integrated groundwater observation network between neighboring countries for 2 transboundary aquifers. EEA and Norway Grant No 2018-1-0137 EU-Waterres: EU-integrated management system of cross-border groundwater resources and anthropogenic hazards. Aruanne, (https://eu-waterres.eu/wp3_output2_integrated-groundwater-observation-network-in-latvian-estonian-transboundary-area)
3. Euroopa Parlament ja Nõukogu. 2000. Direktiiv 2000/60/EÜ, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alased tegevusraamistikud (Euroopa veepoliitika raamdirektiiv). Euroopa Liidu Teataja L 327, 22.12.2000, lk 1–73.
4. Euroopa Parlament ja Nõukogu. 2006. Direktiiv 2006/118/EÜ põhjavee kaitse kohta saastumise ja halvenemise eest. Euroopa Liidu Teataja L 372, 27.12.2006, lk 19–31.
5. European Communities. 2009. Guidance Document No.18. Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). European Communities, Luxembourg.
6. Harbaugh, Arlen, W. 2005. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey Modular Groundwater Model — the Ground-Water Flow Process. U.S. Geol. Surv. Tech. Methods 253. <https://doi.org/U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16>.
7. Hunt, M., Marandi, A., Retike, I. 2023. Water Balance Calculation for a Transboundary Aquifer System between Estonia and Latvia. *Water*, 15(19), 3327. <https://doi.org/10.3390/w15193327>
8. Hunt, M., Osjamets, M., Pärn, J., Raidla, V., Kuusma, E., Hints, L., Marandi, A. 2024. Joogiveehaarde toiteala riskihindamise ja -juhtimise teostamiseks vajalike eeltööde läbi viimine vastavalt joogiveehaarde toiteala riskihindamise ja riskijuhtimise nõuetele. Eesti Geoloogiateenistus. EGF: 9932.

9. Infragate. 2013. Põhjaveekogumite seisundiklasside määramise kriteeriumite ja meetodika väljatöötamine. AS infragate Eesti.
10. Karro, E., Paat, R., Männik, M. 2022. Arseni levik ja seda kontrollivad tegurid Tartumaa põhjavees. Tartu ülikool, Keskkonnainvesteeringute Keskus. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9656>.
11. Karro, E., Uppin, M. 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 3735–3748.
12. Keskkonnaministri määrus nr 48. 2022. Põhjaveekogumite nimekiri ja nende eristamise kord, seisundiklassid ja nende määramise kord, seisundiklassidele vastavad keemilise seisundi määramiseks kasutatavate kvaliteedinäitajate väärtused ja koguselise seisundi määramiseks kasutatavate näitajate tingimused, põhjavett ohustavate saasteainete nimekiri, nende sisalduse läviväärtused põhjaveekogumite kaupa ja kvaliteedi piirväärtused põhjavees ning taustataseme määramise põhimõtted. Kasutatud 21.04.2026, <https://www.riigiteataja.ee/akt/102102019005?leiaKehtiv>
13. Keskkonnaministri määrus nr 3. 2023. Riikliku keskkonnaseire programmi ja allprogrammide täitmise nõuded ja kord. Kasutatud 21.04.2026, <https://www.riigiteataja.ee/akt/113072023045?leiaKehtiv>
14. Kink, H. (koostaja) 1996. Eesti kaitsealad – geoloogia ja vesi. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn.
15. Koit, O., Retiķe, I., Bikše, J., Terasmaa, J., Tarros, S., Abreldaal, P., Babre, A., Hunt, M., Pärn, J., Vainu, M., Marandi, A., Sisask, K., Lode, E., Männik, M. 2023. Hydrochemical signatures of springs for conceptual model development to support monitoring of transboundary aquifers. Groundwater for Sustainable Development, 21, 100927.
16. Lohman, S.W. 1972. Ground-Water Hydraulics, USGS Professional Paper 708.
17. Marandi, A., Karro, E., Osjamets, M., Polikarpus, M., Hunt, M. 2020. Eesti põhjaveekogumite seisund perioodil 2014–2019. Aruanne EGF 9416. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere, 55 lk. Kättesaadav veebis: <https://fond.egt.ee/fond/egf/9416> (kasutatud 11.06.2025).
18. Marandi, A., Karro, E., Puura, E. 2004. Barium anomaly in the Cambrian-Vendian aquifer system in North Estonia. Environmental Geology, 47: 132–139.

19. Marandi, A., Kuusma, E., Männik, M., Osjamets, M., Pärn, J., Raidla, V. 2025. Põhjaveekogumite kontseptuaalsed mudelid 2025. Eesti Geoloogiateenistus. EGF: 4725, <https://fond.egt.ee/fond/egf/47425>
20. Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S., Vallner, L. 2019. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere, 157 lk.
21. Osjamets, M., Marandi, A. 2025. Põhjavee riikliku seirevõrgu analüüs ning ettepanekute tegemine. Eesti Geoloogiateenistus. EGF: 4727, <https://fond.egt.ee/fond/egf/47427>
22. Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M. 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
23. Perens, R., Vallner, L. 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
24. Polikarpus, M., Karro, E., Jõelet, A., Rooni, K. 2017. Tartu linna põhjaveevaru ümberhindamine aastani 2045. MAREK, (Tartu Ülikool). Aruanne. Geoloogiafond, EGF:8847, <https://fond.egt.ee/fond/egf-api/8847>.
25. Pärn, J., Ivask, J., Tõnisson, H., Kaup, E., Urtson, K., Heinsalu, A. 2017. Maardu fosforiidilevila tehnogeense põhjavee kvaliteedi uuring (KIK 10963). TTÜ Geoloogia Instituut, Tallinn.
26. Pärn, J., Truu, M. 2024. Juhend hüdrogeoloogiliste tingimustega arvestamiseks põhjavee seirel ja puurkaevude rajamisel, puhastamisel ning ümberehitamisel. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9858>.
27. Raidla, V., Truu, M. 2020. Hüdrogeoloogiline uuring kloriidide päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis Ahtme ja Rakvere piirkonnas. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
28. Raidla, V., Truu, M. 2022. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi Ida-Eesti vesikonnas hüdrogeoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
29. Raidla, V., Truu, M., Tarros, S. 2023a. Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumi hüdrogeoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
30. Raidla, V., Truu, M., Tarros, S. 2023b. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi hüdrogeoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

31. Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S. 1996a. Ülem-keskdevoni veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. <https://fond.egt.ee/fond/egf/5447>.
32. Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S. 1996b. Keskdevoni-siluri veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. <https://fond.egt.ee/fond/egf/5446>.
33. Seward, P., Xu, Y., Brendonck, L. 2006. Sustainable groundwater use, the capture principle, and adaptive management. *Water SA* 32: 473–482.
34. Tamm, I., Kõrgmaa, V., Laht, M. 2022. Nikli uuring pinnavees Ida-Virumaal Purtse valgalas 2021. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C.8. Veest sõltuvate looduslähedaste elupaikade võrgustiku kujundamine kaevandatud aladel. Eesti keskkonnauuringute keskus, Tallinn.
35. Tamm, I., Leisk, Ü. 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
36. Truu, M., Pärn, J., Raidla, V. 2023. Projekti LIFE IP CleanEST raames läbi viidud hüdrogeoloogiliste uuringute koondaruanne. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
37. Tšeban, E. 1966. Nõukogude Liidu hüdrogeoloogia. Köide XXX (Eesti NSV). (vene keeles)
38. Vainu, M., Koit, O., Vandel, E., Lode, E. 2024. Uuring põhjaveest sõltuvate pinnaveekogumite ja maismaaökosüsteemide seoste kindlakstegemiseks ning ühiste kontseptuaalsete mudelite ja seirekava väljatöötamiseks. Vahearuanne. Tallinna Ülikool, Ökoloogia keskus, Tallinn, ~101 lk. Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekt RES.4.10.24-0008.
39. Vallner, L. 1995. Põhjaveekihid. Kogumikus: Eesti Loodu (koostaja) Raukas, A. Eesti Entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 303–311.
40. Vallner, L., Porman, A. 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments // *Hydrology research* vol. 47, 4, p. 814-834. <https://doi.org/10.2166/nh.2016.104>
41. Veeseadus. (2025). Riigi Teataja I. Kasutatud 21.04.26, <https://www.riigiteataja.ee/akt/122022019001?leiaKehtiv>

Põhjaveekogumite kontseptuaalse mudelid

PVK1. Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
1	Ida-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kambriumi-Vendi	Ida-Virumaa, Lääne-Virumaa	3187,7

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Gdovi põhjaveekogumi vettandva kivimi moodustavad valdavad segateraline Ediacara liivakivi ja aleuoliit.		1
	Kogumi paksus	40–60 m Soome lahe rannikul, väheneb lõuna suunas.		1
	Lasuv veepide	Kotlini lademe (V ₂ kt) aleuoliidid ja savid, mis katavad põhjaveekogumit kogu ulatuses kuni 50 m paksuse lasundina. Veepideme vertikaalne (kihipinnaga ristsuunaline) filtratsioonikoefitsient (vahemikus 10 ⁻⁸ –10 ⁻⁵ m/ööpäevas), mis näitab tugevat isolatsioonivõimet. Veepide kiildub välja Kunda-Tapa joonel (Vallner 1997), kuigi Kotlini lademe läänepiir ulatub kohati ka Loksala lähikonda.		1
	Lamav veepide	Kristalne aluskord, mis juhib vähesel määral vett [erideebit kaevudes vaid 0,1 kuni 0,2 L/(m·s)] ainult selle murenenud ülemises osas (Perens & Vallner, 1997).		1
	Põhjavee survepind	Looduslik survepind oli 0–2 m üle merepinna, kuid seoses intensiivse põhjavee tarbimisega on survepind oluliselt langenud. 1990ndate aastate alguseks oli põhjavee survepind kohati alanenud esialgsest looduslikust tasemest kuni 50 m alla merepinna. Hiljem on survepind tõusnud kuni praeguse tasemeni, 10–20 m alla Soome lahe veetaset. Viimastel aastatel on veetaseme tõus olnud 0,1–0,5 m/aastas.		2

<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Põhjavesi liigub lõunast põhja jälgides Balti arteesiabasseini üldist põhjavee liikumise suunda sügavates põhjaveekihtides. Põhjaveekogumi looduslik väljeala on Soome laht.	2
-----------------------	--------------------	--	---

		Seoses kunagise intensiivse põhjaveevõetuga on põhjaveevoolu kohati suuremate veehaarete (Jõhvi, Sillamäe ja Kohtla-Järve) juures oma suunda muutunud ja põhjaveevool on seal suunatud Soome lahelt maismaa suunas.	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Vettandvate kivimite filtratsioonikoefitsient on 3–9 m/ööpäevas, keskmiselt 5–6 m/ööpäevas. Vertikaalne filtratsioonikoefitsient on vahemikus 10^{-8} – 10^{-5} m/ööpäevas ja liivakivi poorsus 0,05–0,5. Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on valdavalt 100–500 m ² /ööpäevas (keskmine 240 m ² /ööpäevas).	1
	Toitumine ja režiim	Gdovi põhjaveekogumi põhjavesi on survealine ja põhjavesi on kaitstud reostuse eest. Sellele viitab ka väga kerge isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused –18,5 kuni –20‰; Raidla jt., 2009, 2012, 2014) mis näitab, et Gdovi põhjaveekogumi vesi on pärit jääaegadel Eesti ala katnud mandriliustike sulavetest ja on põhimõtteliselt taastumatu loodusvara. Põhjaveekiht toitub looduslikult põhjavee sissevoolust veekihi sügavamast lõunaosast ja ürgorgude kohal läbi Kvaternaari setete infiltreeruvast sademete veest (näiteks Toila, kus $\delta^{18}\text{O}$ väärtus on –12‰). Oluline ürgorgude mõju põhjaveekogumi toitumisele on täheldatav ainult kogumi lääne osas (Kundast läänes), kus levib laialdane sügavate aluskorda ulatuvate ürgorgude süsteem. Veevõetuga kaasneva põhjavee survepinna alanedes on Gdovi põhjaveekogumile iseloomulik soolase vee sissetung lamamist, kristalse aluskorra murenemiskoorikust, mis omab Gdovi kivimitega head hüdrodünaamilist seotust (Raidla jt., 2012).	2

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	Gdovi põhjaveekogumi põhjavesi on keemiliselt koostiselt Na-Cl-HCO ₃ -tüüpi, mineraalsusega 0,4–1,4 g/L. Mineraalsus suureneb kogumi ida ja lõuna osas. Piirkondades, kus ürgorud lõikuvad Kotlini veepidemesse (Voka, Toila ja kogumi loodeosa) esineb ka Ca-HCO ₃ -tüüpi põhjavett mineraalsusega <0,3 g/L (Raidla ja Truu, 2020). Põhjaveekogumi idaosas ei vasta põhjavesi suure Cl ⁻ ja Na ⁺ sisalduse tõttu joogivee kvaliteedinõuetele. Suuremad	3, 4
-------------------------	--------------------------	---	------

		<p>sisaldused esinevad Kundas (300 mg/L), Aseris 260 (mg/L), Ahtmes (750 mg/L), Sillamäel 600 mg/L. Suurte Cl⁻ sisaldustega kaasnevad üldjuhul ka suured Na⁺ sisaldused (kohati > 300 mg/L). Rannikualal on kogumi veele iseloomulikud suured Ba²⁺ sisaldused (kuni 7 mg/L Viru-Nigula piirkonnas; Marandi jt., 2004), mis vähenevad sisemaa suunas. Raadiumi aktiivsused on kogumi idaosas väga madalad kuid tõusevad läänesuunas ning Kunda veehaardes on mõõdetud kuni 2,14 Bq/L (Savitskaja ja Viigand, 1994).</p> <p>Põhjaveekogumi vesi on tugevalt üleküllastunud gaaside suhtes, mis on iseloomulik kogu Eesti glatsiaalse päritoluga põhjaveele. Peamiseks lahustunud gaasiks on molekulaarne lämmastik, kuid Gdovi põhjaveekogumis on laialt levinud ka suure metaani sisaldusega põhjavesi (metaani sisaldus kogu gaaside hulgast 1 kuni 20 %), seda eelkõige rannikul (Kunda, Aseri; Raidla jt., 2019a).</p> <p>Kohati mõjutavad kogumi vee kvaliteeti suuremad NH₄⁺ (0,1-1,0 mg/L) ja raua (0,2-1,2 mg/L) sisaldused (Raidla ja Truu, 2020; Tamm ja Leisk, 2024).</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Kogumi põhjaveele on iseloomulik äärmiselt kerge isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused -12 kuni -21,5‰; Raidla jt., 2009; Raidla ja Truu, 2020) võrreldes tänapäevaste sademetega (-10‰ kuni -13‰ IAEA, WMO, 2018). Seda on selgitatud enam kui 10 000 aastat tagasi Eesti ala katnud mandriliustiku sulavete ja lõunapoolse vana Na-Cl tüüpi suure mineraalsusega põhjavee segunemisega (Raidla jt., 2009; 2012). Mandriliustik tekitas kogumi avamusel kõrge hüdrostaatilise rõhu, pöörates tavapärase lõuna-põhja suunalise põhjavee liikumise ümber põhja-lõuna suunaliseks. Selle tulemusel hakkas kogumit täitnud merelist päritolu reliktivesi segunema liustiku sulaveega ja selle mineraalsus vähenes. Hiljem on ranniku piirkondades, kus ürgorud lõikavad läbi kogumi veepideme, põhjavesi segunenud ka tänapäevastest sademetest pärineva põhjaveega (Raidla jt., 2009).</p> <p>Intensiivse veevõtuga on kaasnenud põhjavees mineraalsuse kasv üle kogu kogumi. Osaliselt on</p>	<p>5, 6, 7</p>

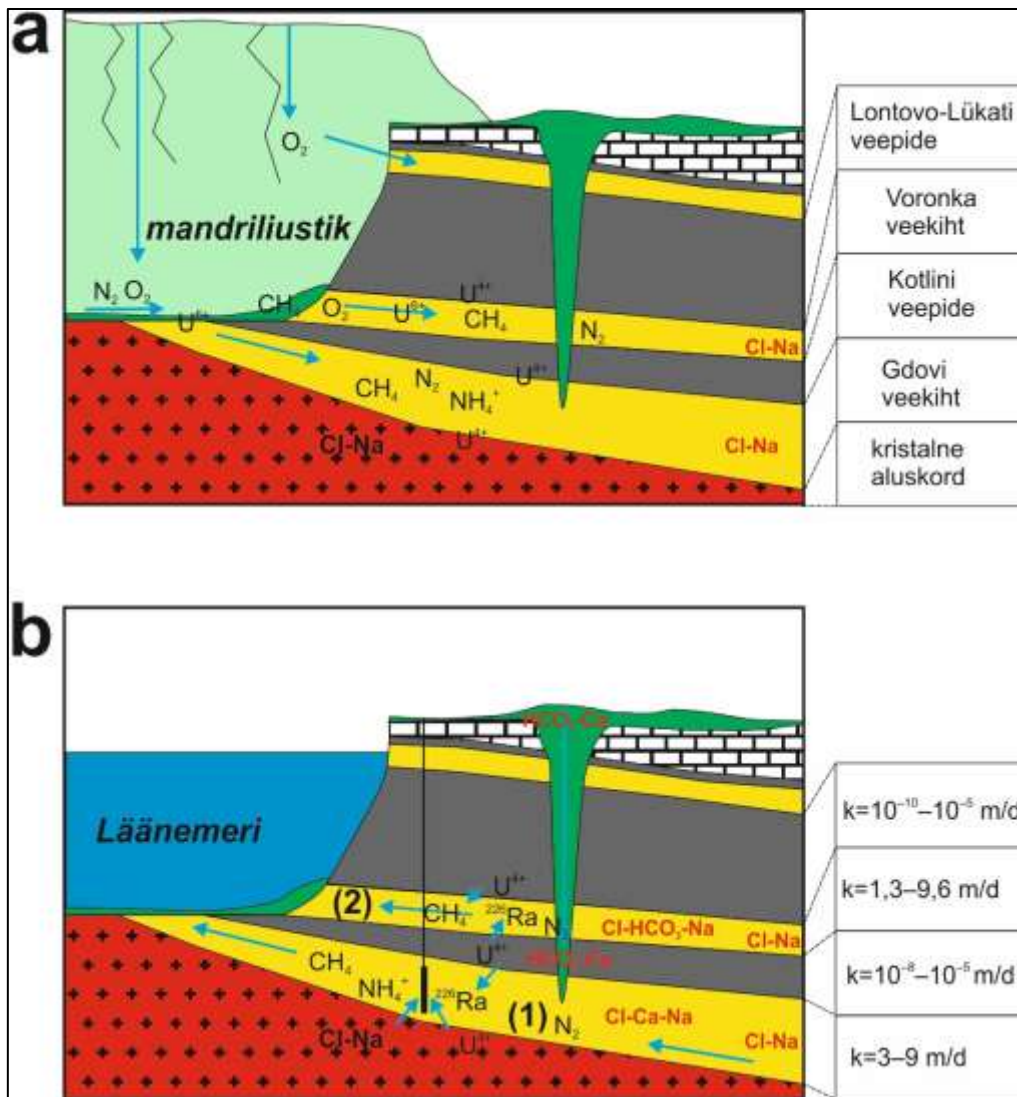
		<p>seda põhjustanud kristalse aluskorra lõhedes leviv väga soolane Ca-Cl-tüüpi põhjavesi (mineraalsus kuni 30 g/L). Lamava veepideme puudumise tõttu hakkab suure veevõtuga piirkondades soolasem vesi liikuma ülespoole, ohustades põhjaveekogumi vee kvaliteeti. Selline sooldumine ei ole püsiv ning veevõtu vähenemisega võib kaasneda põhjavee mineraalsuse langus (Raidla ja Truu, 2020).</p> <p>Kogumi ida osas (Sillamäel ja Ahtme piirkondades) esineb püsiv sooldumine, mis veevõtu vähenemisel ei taandu. Sooldumine neis piirkondades toimub ilmselt nii kristalse aluskorra vee kui basseini reliktna põhjavee mõjul. Kuna basseini reliktna põhjavesi liigub juba looduslikult põhja suunas, ei peata veevõtu vähendamine sooldumise protsesse vaid ainult aeglustab neid. Ca/Na vahekorda kasutades on püsiva sooldumise ilmingud tuvastatavad pea üle kogu Ida-Virumaa (Raidla ja Truu, 2020).</p> <p>Seoses intensiivse põhjaveevõtuga on rannikupiirkondades (Sillamäe, Kunda) oluliseks surveteguriks kujunenud võimalik merevee sissetung ja selle mõju põhjavee kvaliteedile. Kui suur on põhjavee sooldumise risk mereveega, on raske prognoosida, sest see sõltub paljuski merepõhja setete (viirsavid) paksusest ja vett juhtivatest omadustest ning merepõhja mõjutada võivast ehitustegevusest (nt sadama faarvaatri süvendamine, Raidla jt., 2019b).</p> <p>Oluliseks keemilist koostist kujundanud teguriks kogumis on ka liustiku sulavete poolt sisse kantud orgaanilised ühendid, mis on andnud põhjaveele looduslikult suured gaaside sisaldused (peamiselt metaani ja lämmastiku aga ka propaani) ning NH_4^+ sisaldused (Raidla jt., 2019a). Liustikuvetega sisse kantud orgaaniliste ühendite lagunemine on soodustanud ka Ba^{2+} lahustumist põhjavette.</p> <p>Kuigi põhjaveekogumis on registreeritud väga kõrgeid raadiumi sisaldusi, jäävad need enamasti kogumis väikeseks kuna aluskorrast pärinev raadium adsorbeerub savimineraalidel (aluskorra murenemiskoorikus ja Kotlini veepidemes).</p>	
--	--	---	--

--	--	--	--

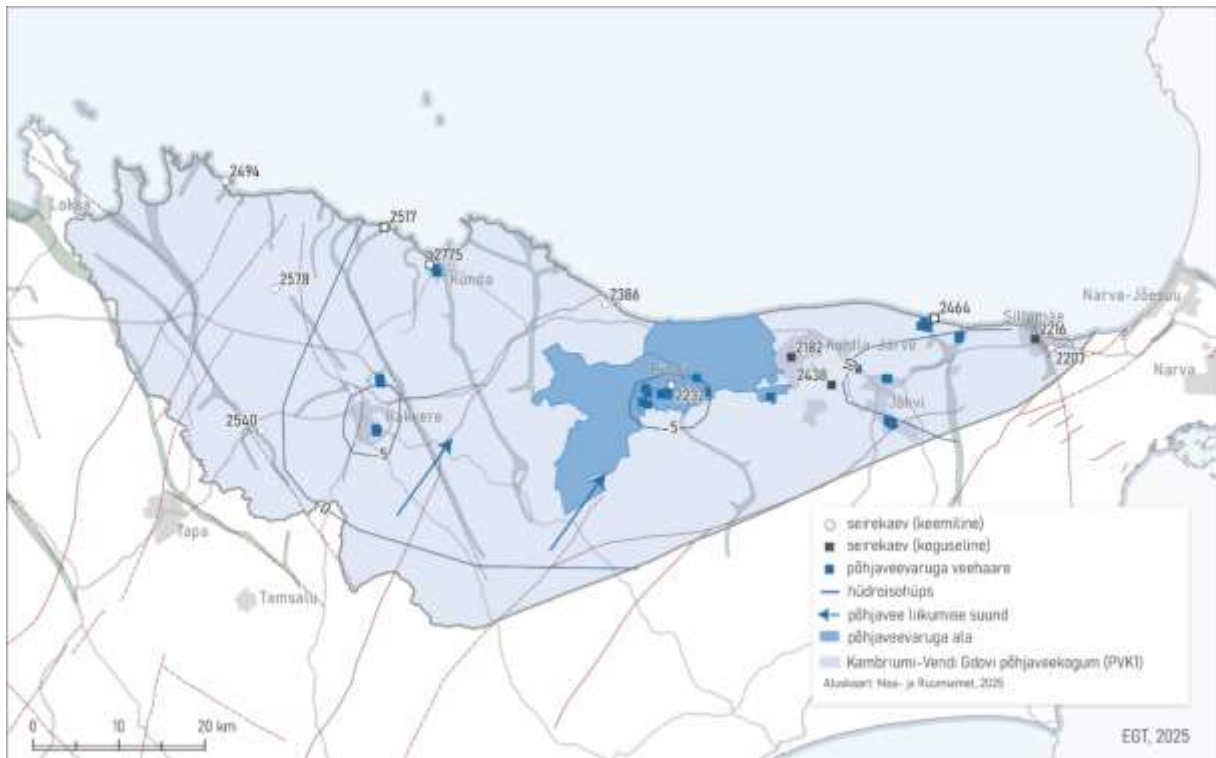
Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega	Seotud vooluvee- ökosüsteemid	Ei ole
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea (ohustatud)
	Üldseisund	Hea (ohustatud) <i>Veevõtu intensiivistamine võib põhjustada kloriidide sisalduse suurenemist ja halvendada veevarustuse olukorda.</i>

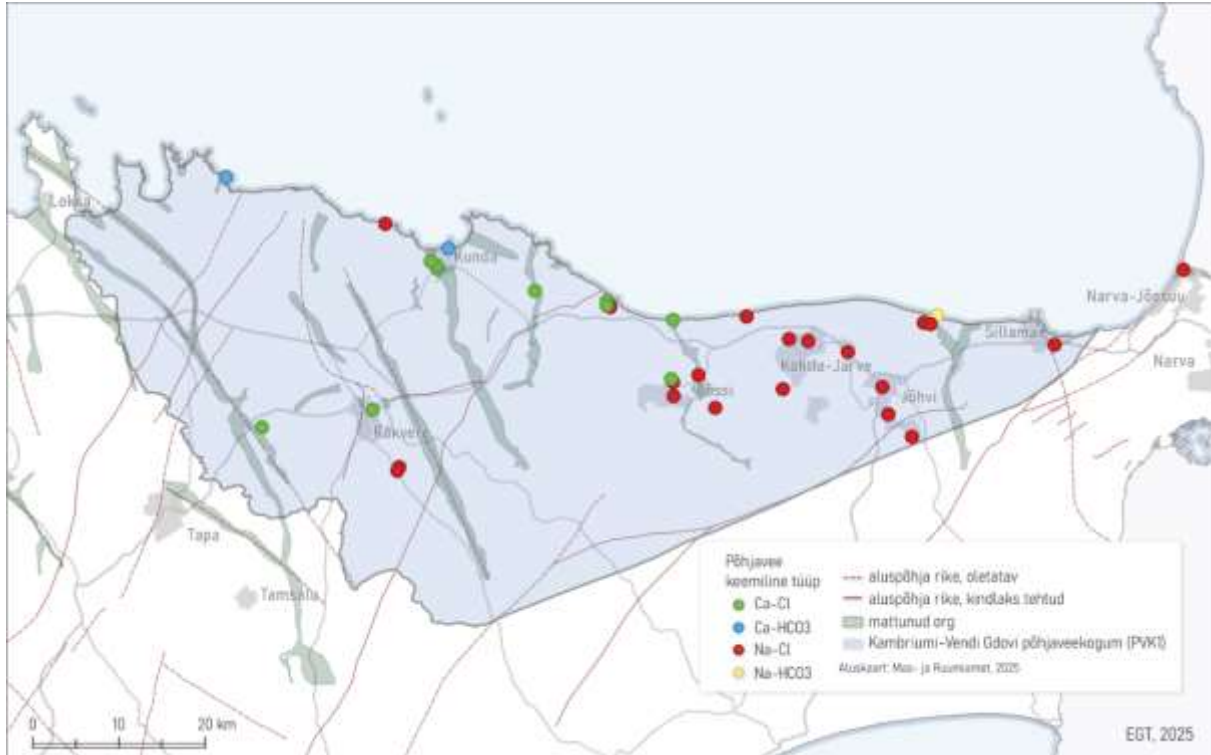
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	10 675
	Põhjavee kinnitatud varu 2023.a	16560
	Põhjaveevõtt 2023. a	6394
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	10166
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	-5885
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	4281



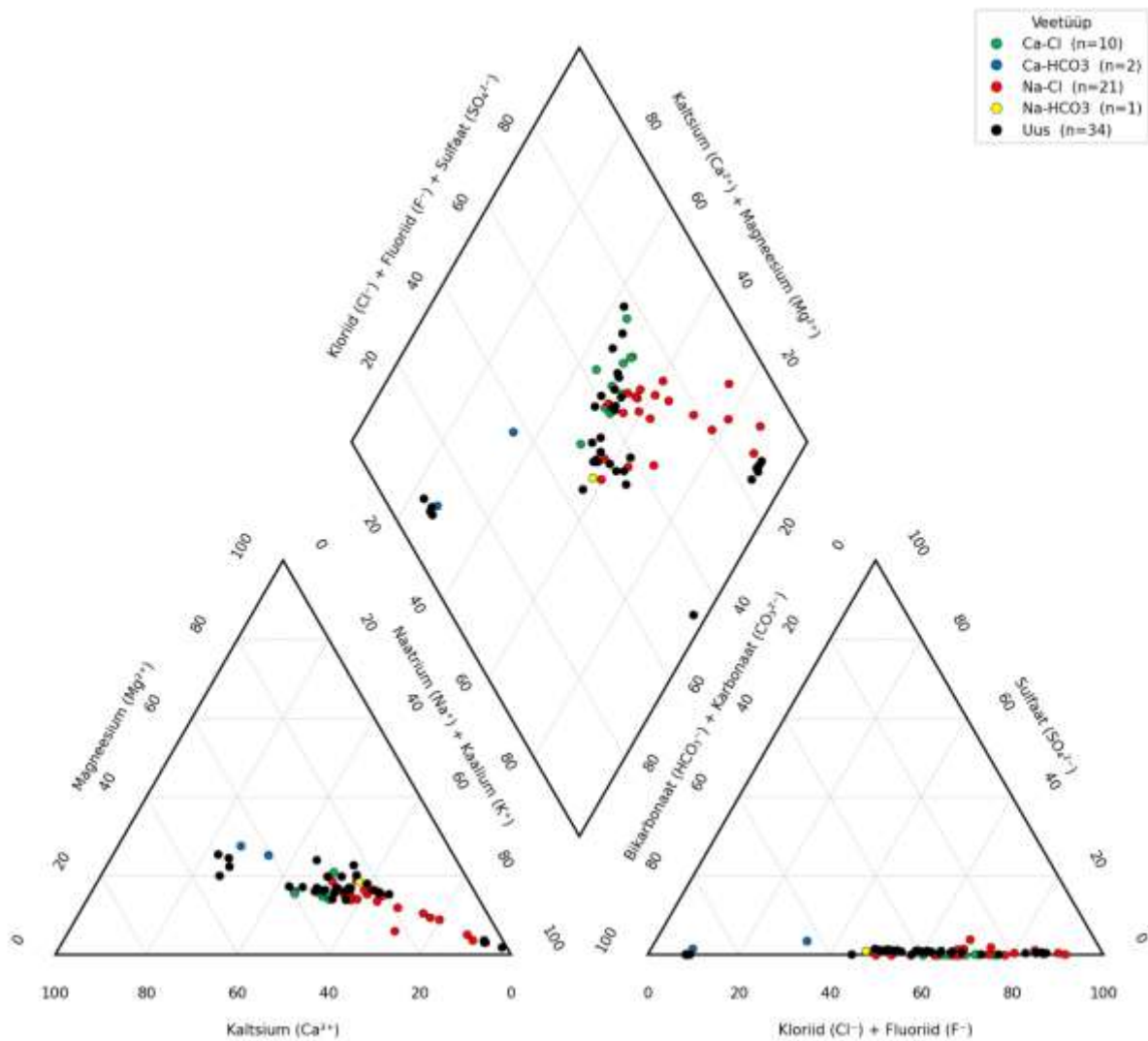
Joonis 1. Gdovi ja Voronka põhjaveekogumite (PVK nr. 1 ja 2) kontseptuaalsete mudelite läbilõiked. (a) Põhjaveekogumites valdava glatsiaalset päritolu põhjavee teke ja areng jääaegadel Pleistotseenis; (b) põhjaveekogumite kontseptuaalse mudeli läbilõige tänapäeval.



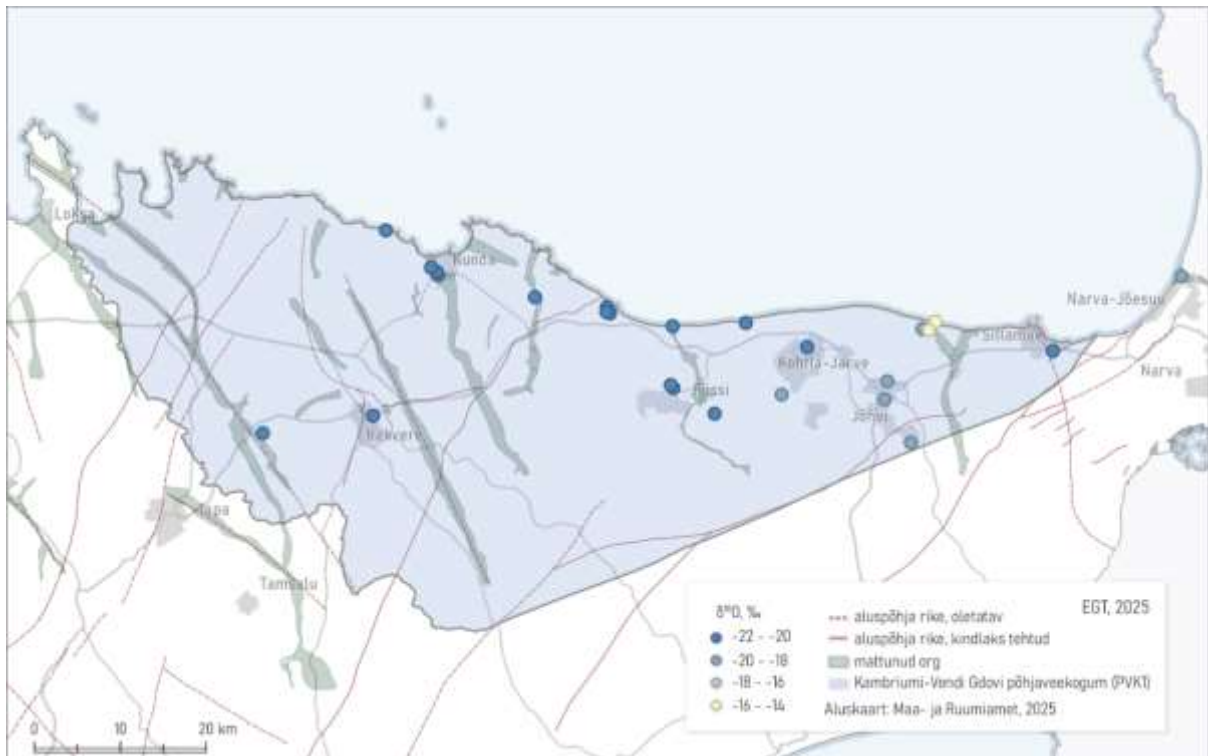
Joonis 2. Gdovi põhjaveekogumi pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012).



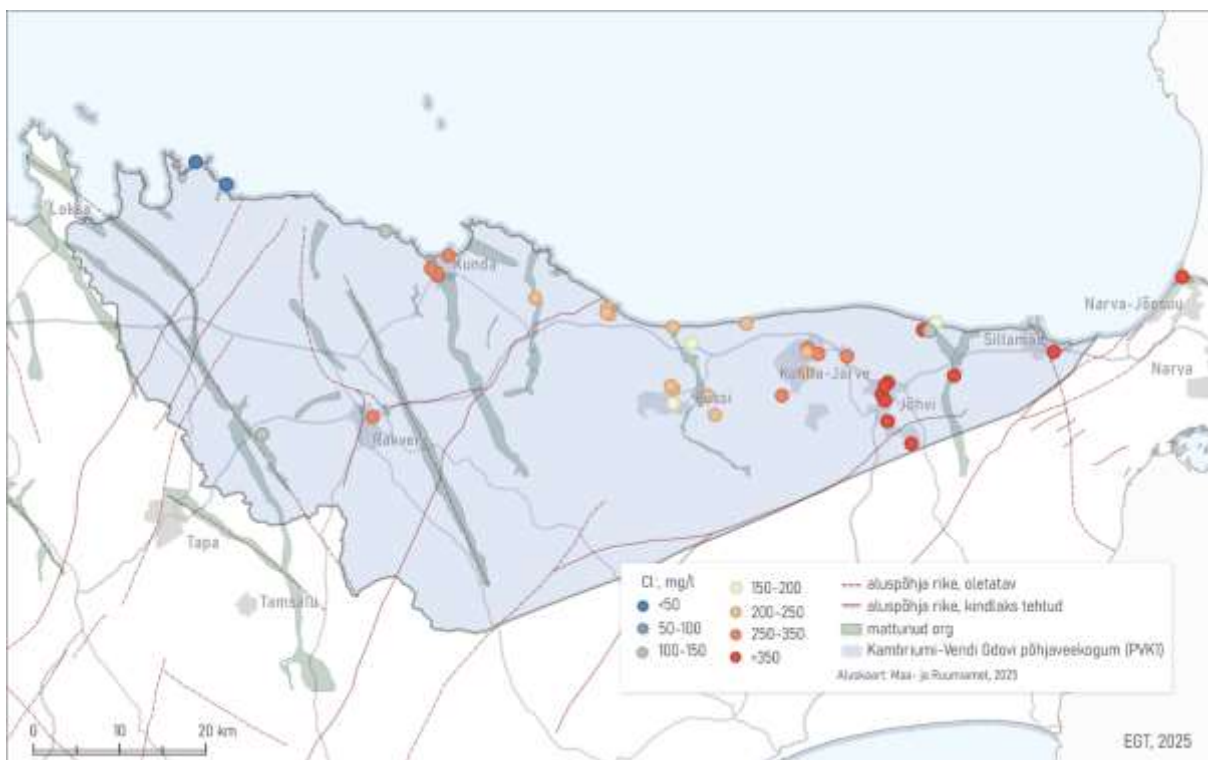
Joonis 3. Gdovi põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



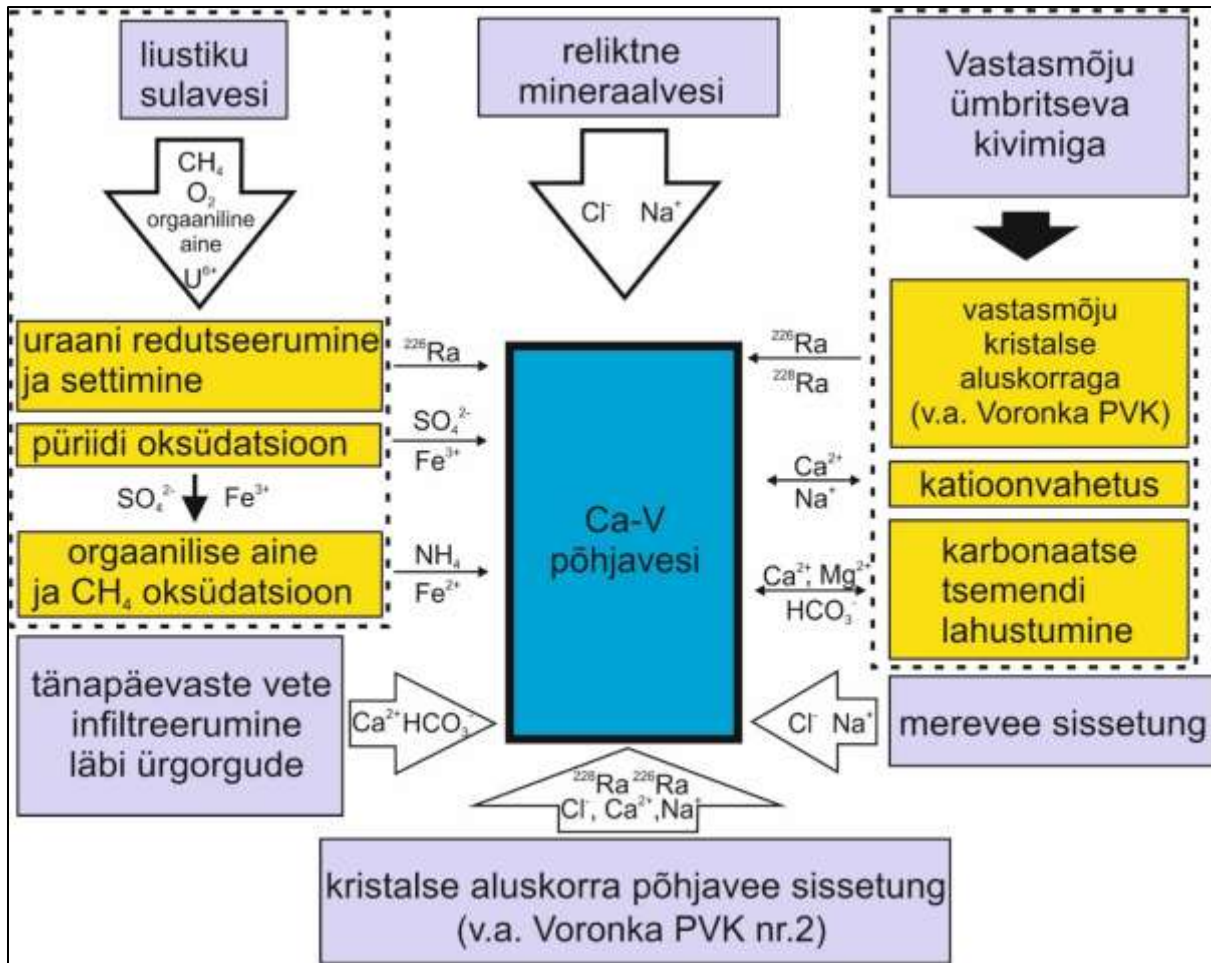
Joonis 4. Gdovi põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Legendis Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi



Joonis 5. Gdovi põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused).



Joonis 6. Gdovi põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 7. Gdovi, Voronka ja Kambriumi-Vendi põhjaveekogumite (PVK nr. 1–3) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel

Kasutatud kirjandus

IAEA, WMO, 2018. WISER – Water Isotope System for data analysis, visualization and Electronic Retrieval. <https://nucleus.iaea.org/wiser/index.aspx> (viimati vaadatud 29.04.2018).

Marandi, A., Karro, E., Puura, E., 2004. Barium anomaly in the Cambrian-Vendian aquifer system in North Estonia. *Environmental Geology* 47: 132–139.

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

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

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

Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, V., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K. 2019a. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 251: 247–264.

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

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

Savitskaja, L., Viigand, A., 1994. Aruanne kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Vallner, L., 1997. Groundwater flow. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia* (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 145–152.

PVK 2. Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
2	Ida-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kambriumi-Vendi	Ida-Virumaa, Lääne-Virumaa	4954,9

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Valdavad Ediacara liivakivi ja aleuroliit.		1
	Kogumi paksus	Kogumiga seotud põhjaveekihtide paksus on 20 kuni 50 m. Paksus väheneb põhjast lõunasse.		1
	Lasuv veepide	Põhjaveekogum on kogu ulatuses kaetud Lükati–Lontova (Cmlk–ln) regionaalse veepidemega, mis on esindatud samanimeliste Alam-Kambriumi kihistute aleuroliitide ja savidega. Veepideme maksimaalne paksus Kirde-Eesti rannikualadel on 90 kuni 100 m vähenedes lõuna suunas. Veepide on väga tugeva isolatsioonivõimega ja selle vertikaalne filtratsioonikoefitsient jääb enamasti vahemikku 10^{-10} – 10^{-5} m/ööpäevas. Lontova savid on säilitanud oma plastsuse ning tektoonilised rikked neis ei paranda lasumi filtratsiooniomadusi. Küll aga teevad seda sügavad ürgorud, mis kohati lõikavad veepideme täies ulatuses läbi.		1
	Lamav veepide	Põhjaveekogum lasub peaaegu tervenisti Kotlini lademe savikompleksil, paksusega u 30 m ja vertikaalse filtratsioonikoefitsiendiga 10^{-8} – 10^{-5} m/ööpäevas. Mattunud ürgorude suudmetes – Vokas ja Toilas, on veepide Kvaternaari setetega täidetud ürgoru poolt läbi lõigatud. Kuna Kotlini savid on kaotanud oma plastsuse, siis suurte rõhugradientide puhul (enamasti on veetarbimine Voronka veekogumis märksa suurem kui Gdovis) võib veepide hakata lekkima tektooniliste rikete piirkonnas (nt Sillamäe).		1
	Põhjavee survepind	Looduslik põhjaveetase oli kogumi põhjaosas lähedane Gdovi veekihi põhjaveetasemele (~3–5 m		1

		üle merepinna) ja lõunas absoluutkõrgusel 34–35 m. Looduslikes tingimustes suureneb surve põhjast lõuna suunas koos lasumussügavuse suurenemisega. Käesoleval ajal on veetase 3–17 m allpool meretaset, kusjuures enamikes veehaaretes täheldatakse survepinna mõningast tõusu (0,1 m Sillamäel kuni 1,4 m Jõhvis).	
--	--	---	--

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Looduslik põhjavee liikumine toimub lõunast põhja, Soome lahes oleva väljeala poole, keskmise kiirusega 0,003 m/ööpäevas. Seoses intensiivse tarbimisega on põhjavee looduslik survepind oluliselt langenud ja Ida-Viru maakonnas on moodustunud survepinna ulatuslik alanduslehter, mille piires põhjaveevool on jagunenud suuremate veetarbijate (Jõhvi, Sillamäe ja Kohtla-Järve) vahel. Intensiivse tarbimise tõttu väljakujunenud põhjaveevoolu suuna muutus Soome lahe poolt mandri suunas kujutab kloriidide sisalduse suurenemise näol riski põhjavee kvaliteedile.	1
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Vettandvate kivimite filtratsioonikoefitsient on 1,3–9,6 m/ööpäevas, keskmiselt 4,2 m/ööpäevas, ent väheneb kiiresti lõuna suunas. Vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 0,1–0,5 m/ööpäevas ja vettandvate kivimite poorsus on 0,1–0,2. Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on valdavalt 30–150 m ² /ööpäevas, keskmiselt 80 m ² /ööpäevas.	1
	Toitumine ja režiim	Voronka põhjaveekogumi põhjavesi on survealine ja väga kerge isotoopkoostisega ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused –18,5 kuni –20‰; Raidla jt., 2009, 2012, 2014; Raidla ja Truu, 2020) mis näitab, et Voronka põhjaveekogumi vesi on glatsiaalset päritolu ja suures osas taastumatu loodusvara. Voronka põhjaveekogum toitub looduslikult basseini lõunapoolsete soolaste vete arvelt ja ürgorgude kohal läbi Kvaternaari setete infiltreeruvast sademeveest. Selline toitumine on eriti iseloomulik kogumi loodeosas asuva sügavate ürgorgude süsteemi piirkonnas (kogumi lääne piirist kuni Kalvi mõisani), kus glatsiaalne komponent põhjavees jääb alla 10% (Raidla jt., 2009; Raidla ja Truu, 2020).	2

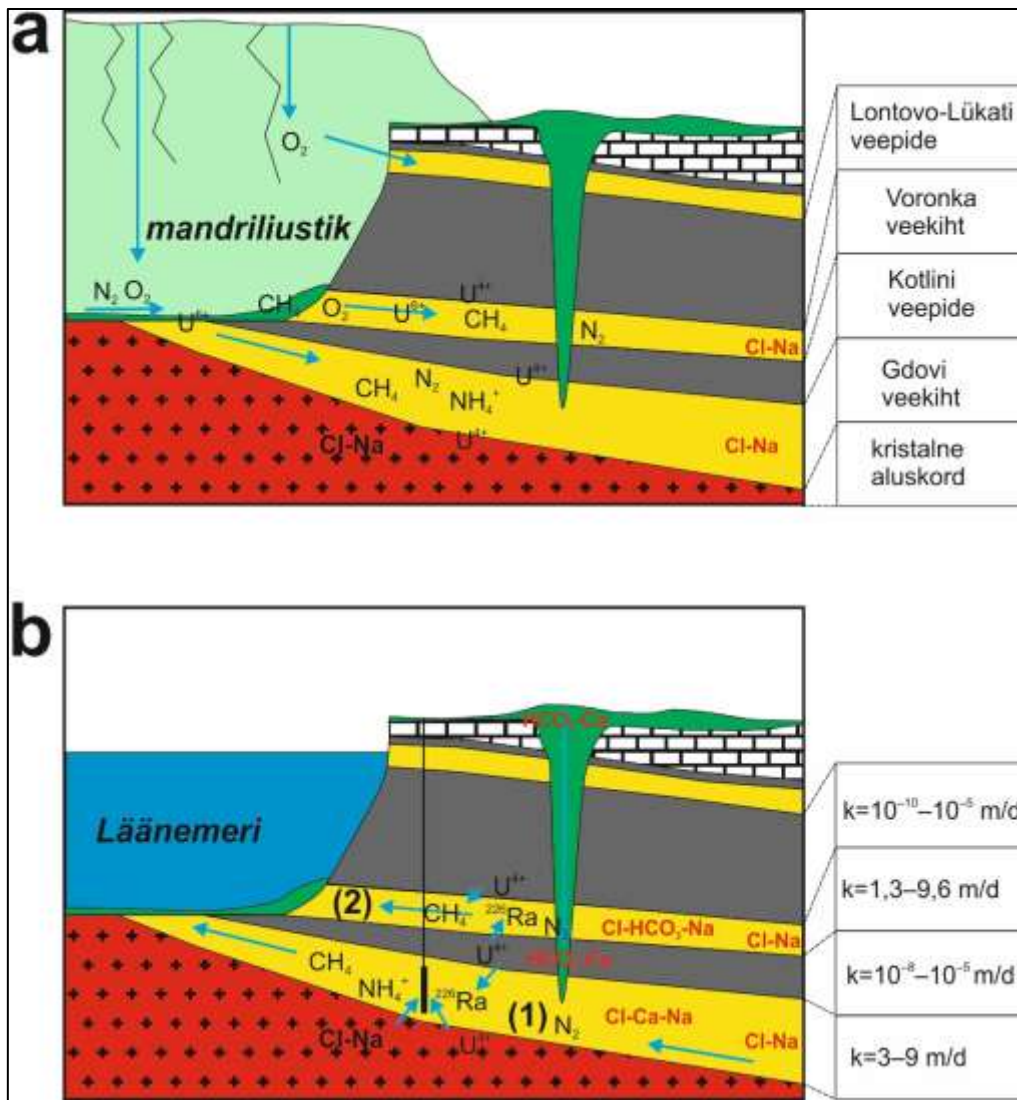
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Keemiliselt koostiselt on tegemist Na-Cl-HCO₃-tüüpi mõõduka mineraalsusega põhjaveega, kuid kogumi loodeosas, kus levivad ürgorud (nt Toila ja Voka) domineerib Ca-HCO₃-tüüpi väikese mineraalsusega põhjavesi. Enamasti vastab põhjaveekogumi vesi joogivee kvaliteedinõuetele, kuid on täheldatud mangaani ja raua kõrgemaid sisaldusi. Põhjavee Na⁺ ja Cl⁻ sisaldused suurenevad ida- ja lõunasuunas ning sõltuvad ka ürgorgude esinemisest piirkonnas. Enamasti jäävad Cl⁻ sisaldused kogumis vahemikku 100–250 mg/L (Raidla ja Truu, 2020). Cl⁻ sisaldustes on täheldatud tõusutrendi Sillamäel, mille põhjuseks võib olla soolasema Gdovi põhjavee sissevool läbi lekkiva Kotlini veepideme linna läbivate tektooniliste rikete lähikonnas (Raidla jt., 2019a). Hilisemad merepõhja sondeerimise tulemused on tõstatanud ka võimaluse, et Sillamäe sadama akvatooriumi süvendamise käigus on läbi kaevatud Lontova veepide, mis on võimaldanud mereveel tungida kogumisse. Siiski, 2019. aastal läbiviidud uuringute käigus (Raidal jt., 2019a) teist merevee indikaatorit, SO₄²⁻ ei tuvastatud kuid arvestades viimase keemilist ebapüsivust ei välista sulfaadi puudumine merevee sissetungi võimalust.</p> <p>Probleemiks on ka põhjavee lubatust kõrgem raadiumi efektiivdoos (0,16–0,19 mSv/aastas; Savitskaja ja Viigand, 1994) ja suhteliselt suured metaani sisaldused (10 kuni 20% kogu lahustunud gaasidest), mis võivad põhjustada õnnetusjuhtumeid veetötlusjaamades (gaasiplahvatused; Raidla jt., 2019b). Ka on kogumi kaevudes leitud suuremaid Ba²⁺ (kuni 1,3 mg/L; Marandi jt., 2004), raua (kuni 1,4 mg/L) ja NH₄⁺ (kuni 1 mg/L) sisaldusi (Raidla ja Truu, 2020).</p> <p>Suures osas on põhjaveekogum kindlalt kaitstud pindmise reostuse eest ning põhjavee reostumist võivad põhjustada konstruktsioonidefektidega puurkaevud või pindmine reostus põhjaveekogumi loodeosas, kus ulatuslik ürgorgude võrgustik lõikab läbi Lontova veepideme.</p>	3, 4, 6
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Kogumi põhjaveele on iseloomulik äärmiselt kerge isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused -12 kuni $-20,5\text{‰}$; Raidla jt., 2009; Raidla ja Truu, 2020) võrreldes tänapäevaste sademetega (-10‰ kuni -13‰; IAEA,</p>	5, 7

		<p>WMO, 2018). Seda on selgitatud enam kui 10 000 aastat tagasi Eesti ala katnud mandriliustiku sulavete ja lõunapoolse vana Na-Cl tüüpi suure mineraalsusega põhjavee segunemisega (Raidla jt., 2009, 2012), mis on suuresti määranud ka kogumi keemilise koostise. Eesti territooriumi katnud mandriliustik tekitas kogumi avamisel kõrge hüdrostaatilise rõhu, pöörates tavapärase lõuna-põhja suunalise põhjavee liikumise ümber põhja-lõuna suunaliseks. Selle tulemusel hakkas kogumit täitnud merelist päritolu reliktsi segunema liustiku sulaveega ja selle mineraalsus vähenes. Hiljem on ranniku piirkondades, kus ürgorud lõikavad läbi kogumi veepideme, põhjavesi segunenud ka tänapäevastest sademetest pärineva põhjaveega (Raidla jt., 2009).</p> <p>Seoses intensiivse põhjaveevõtuga on rannikupiirkondades (Sillamäe, Kunda) oluliseks surveteguriks kujunenud võimalik merevee sissetung ja selle mõju põhjavee kvaliteedile. Kui suur on põhjavee sooldumise risk mereveega, on raske prognoosida, sest see sõltub paljuski merepõhja setete (viirsavid) paksusest ja vett juhtivatest omadustest ning ehitustegevusest merepõhjas (Raidla jt., 2019a).</p> <p>Oluliseks keemilist koostist kujundanud teguriks kogumis on ka liustiku sulavete poolt sisse kantud orgaanilised ühendid, mis on andnud põhjaveele looduslikult suured gaaside (peamiselt metaan ja lämmastik aga ka propaan) ning NH_4^+ sisaldused (Raidla jt., 2019b).</p>	
--	--	--	--

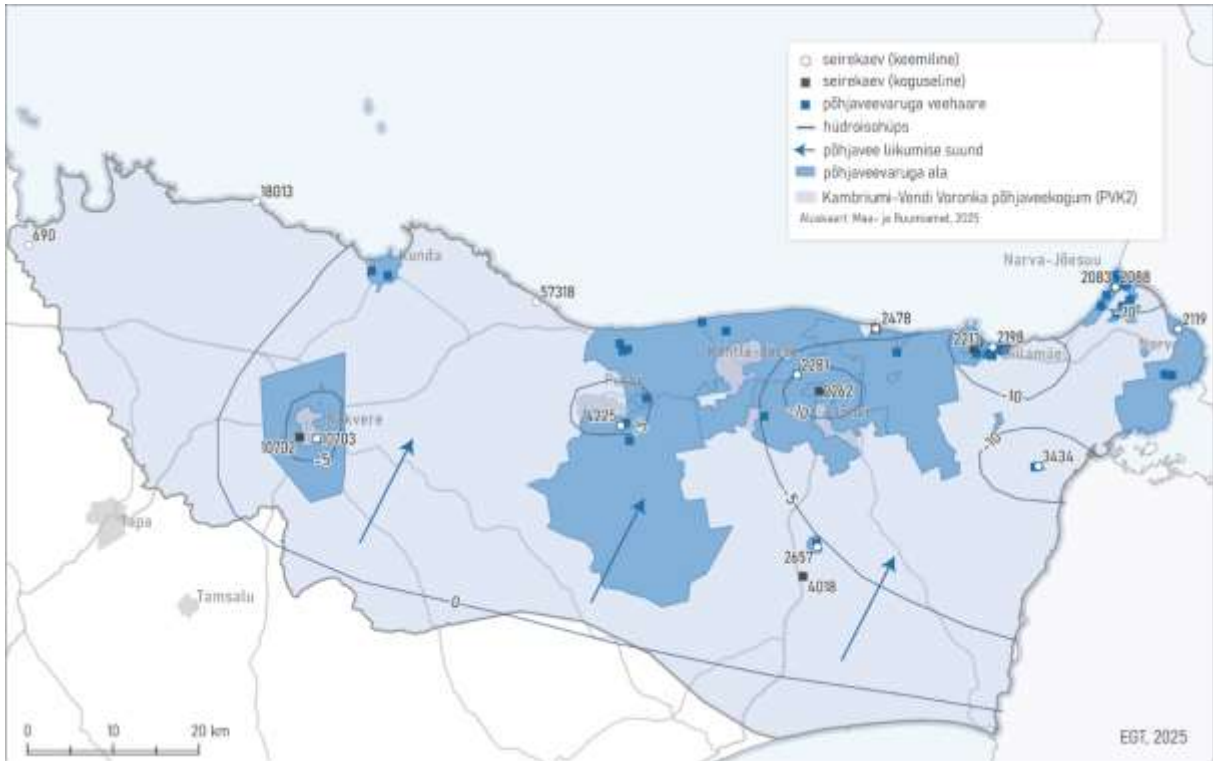
Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega	Seotud vooluvee- ökosüsteemid	Ei ole
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Halb
	Üldseisund	Halb

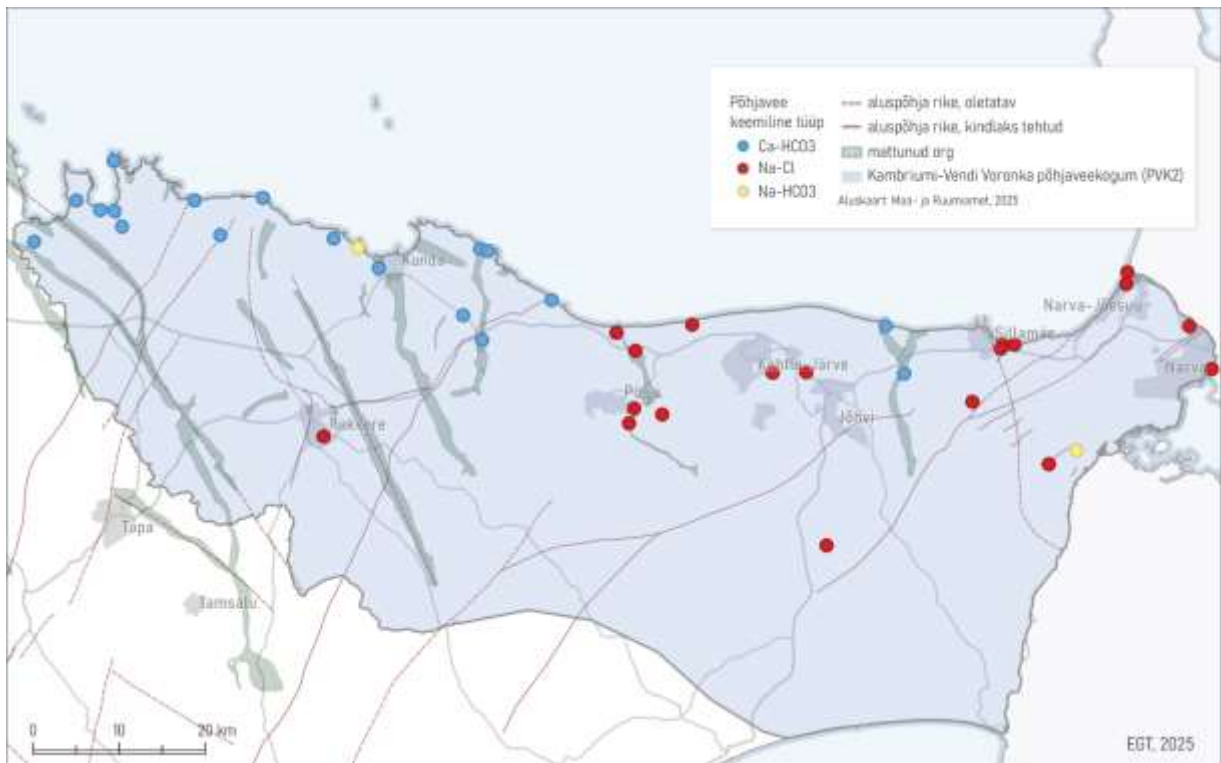
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	15442
	Põhjavee kinnitatud varu 2023	12360
	Põhjaveevõtt 2023. a	4829
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	7531
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	3082
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	10613



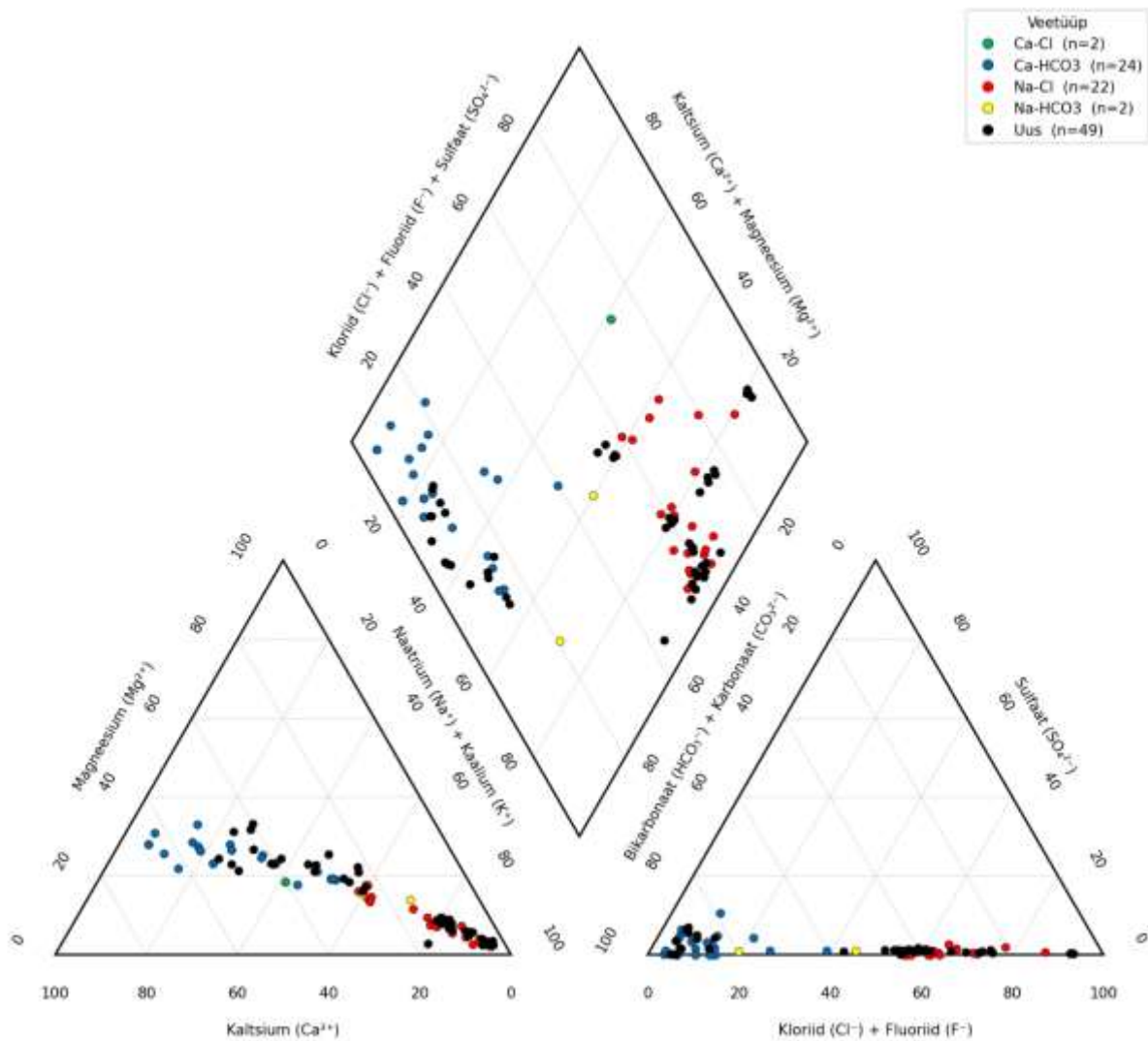
Joonis 1. Gdovi ja Voronka põhjaveekogumite (PVK nr. 1 ja 2) kontseptuaalsete mudelite läbilõiked. (a) Põhjaveekogumites valdava glatsiaalset päritolu põhjavee teke ja areng jääaegadel Pleistotseenis; (b) põhjaveekogumite kontseptuaalse mudeli läbilõige tänapäeval.



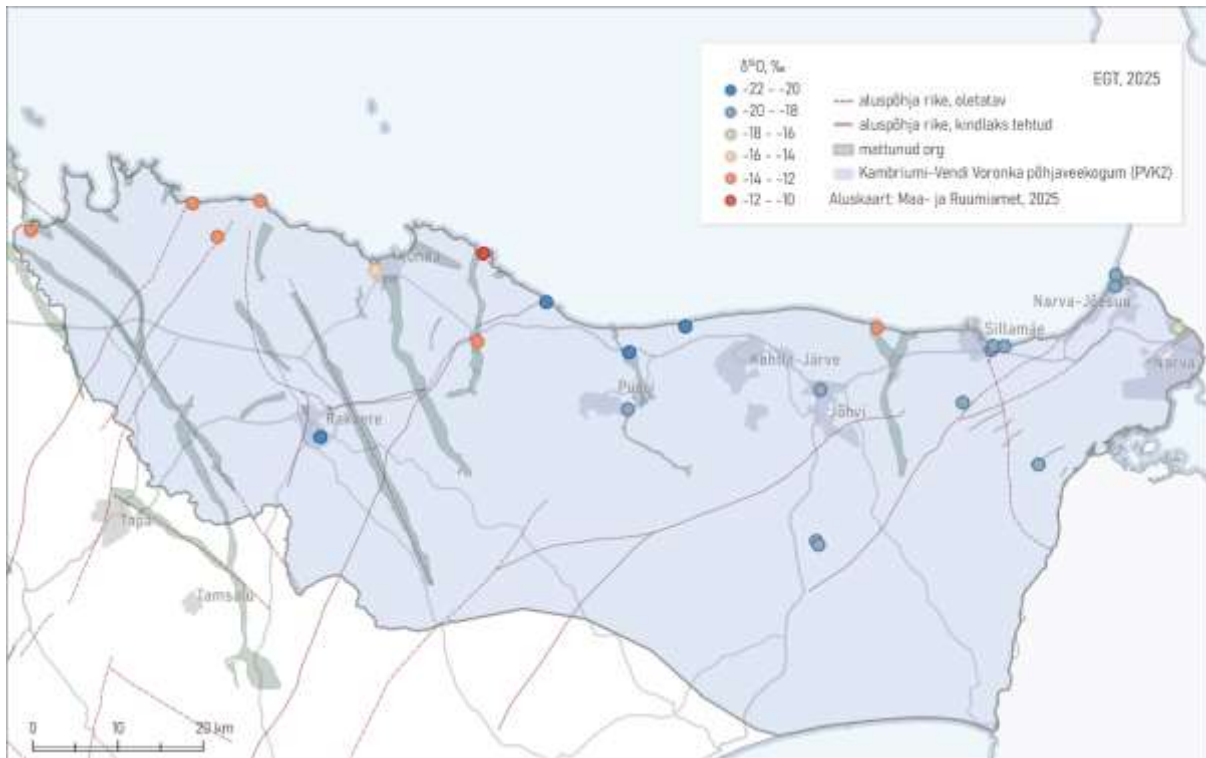
Joonis 2. Voronka põhjaveekogumi pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012).



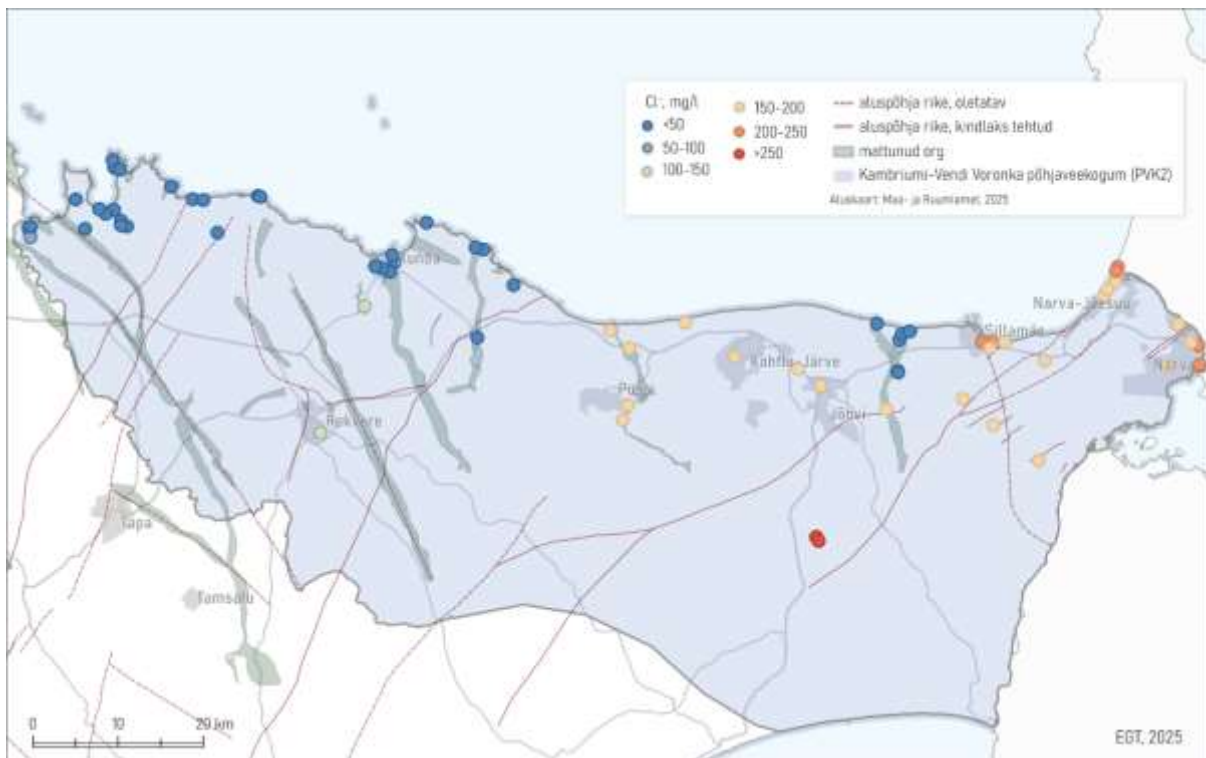
Joonis 3. Voronka põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



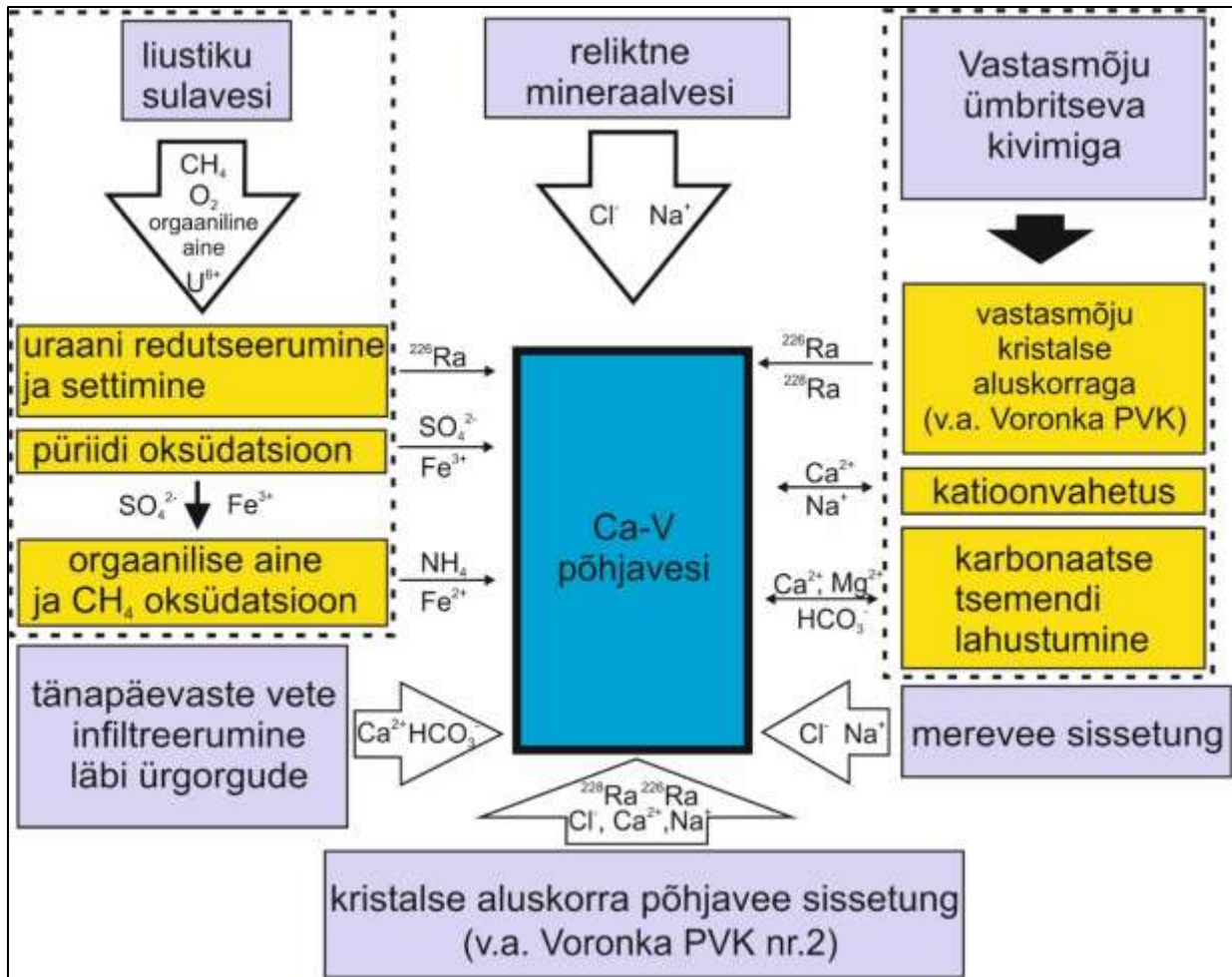
Joonis 4. Voronka põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Legendis Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi



Joonis 5. Voronka põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused).



Joonis 6. Voronka põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 7. Gdovi, Voronka ja Kambriumi-Vendi põhjaveekogumite (PVK nr. 1–3) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel

Kasutatud kirjandus

- IAEA, WMO, 2018. WISER – Water Isotope System for data analysis, visualization and Electronic Retrieval. <https://nucleus.iaea.org/wiser/index.aspx> (viimati vaadatud 29.04.2018).
- Marandi, A., Karro, E., Puura, E., 2004. Barium anomaly in the Cambrian-Vendian aquifer system in North Estonia. *Environmental Geology* 47: 132–139.
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Jöeleht, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L., 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology* 258: 219–231.
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Kaup, E., Martma, T., 2012. Carbon isotope systematics of the Cambrian–Vendian aquifer system in the northern Baltic Basin: Implications to the age and evolution of groundwater. *Applied Geochemistry* 27: 2042–2052.
- Raidla, V., Polikarpus, M., Pärn, J., Tarros, S., 2019a. Põhjavee kloriidide sisalduse tõusu põhjuste ja päritolu uuring Sillamäel. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
- Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, V., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K. 2019b. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 251: 247–264.
- Raidla, V., Truu, M., 2020. Hüdrogeoloogiline uuring kloriidide päritolu ja sisalduse tõusu põhjuste väljaselgitamiseks Gdovi põhjaveekogumis Ahtme ja Rakvere piirkonnas. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
- Savitskaja, L., Viigand, A., 1994. Aruanne kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

PVK 3. Kambriumi-Vendi põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
3	Lääne-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kambriumi-Vendi	Harjumaa, Raplamaa, Läänemaa	8467,7

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Koosneb Voronka ja Gdovi kihistu liivakividest, mis Haapsalu-Võru joonest läänepool asuvad Lontova/Voosi kihistu peeneteraliste liivakivide ja aleuoliitidega. Liivakivide ja aleuoliitide poorsus jääb vahemikku 0,05–0,5, valdavalt 0,15.		1
	<i>Kogumi paksus</i>	Kogumit moodustavate põhjaveekihtide avamus on Soome lahe ja Läänemere põhjas. Soome lahe rannikul ulatub kogumi paksus 100 meetrini. Lõuna suunas põhjaveekogumi paksus väheneb 40–60 meetrini. Keskmine paksus on 67 m.		1
	<i>Lasuv veepide</i>	Valdav osa põhjaveekogumist on kaetud Lükati–Lontova (Cmlk–ln) savist ja aleuoliidist koosneva veepidemega, keskmise paksusega 58 m. Lääneosas asuvad Lontova savid vähem savikate aleuoliitidega ning Lääne-Eestis omab isolatsioonivõimet vaid Lükati kihistu. Lontova sinisavi vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-8} – 10^{-5} m/ööpäevas, keskmiselt $5 \cdot 10^{-7}$ m/ööpäevas. Tallinna piirkonnas läbivad veepidet mitu Kvaternaari setetega täitunud mattunud ürgorgu (Mustamäe-Pelguranna org, Kesklinna org, Harku org, Merivälja org.)		1
	<i>Lamav veepide</i>	Kristalne aluskord, millel on väike veejuhtivus [erideebit kaevudes vaid 0,1 kuni 0,2 L/(m·s)] ainult selle murenenud ülemises osas (Perens & Vallner, 1997).		1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Põhjavee survepind on looduslikes tingimustes enne põhjaveekogumi kasutuselevõttu ulatunud 1–2 m üle meretaseme. 1980ndatel aastatel, kui põhjaveekogumit intensiivselt veevõtuks kasutati, langes survepind 28 m allapoole merepinda.		2

		Veetarbimise oluline vähenemine viimase kümne aasta jooksul on kaasa toonud põhjavee survepinna tõusu, mistõttu käesoleval ajal on survepind stabiliseerunud Tallinnas absoluutkõrgusele –5 kuni –7 m. Survepinna alanduslehter, mille piiriks on absoluutkõrgus 0 m, ulatub siiski peaaegu põhjaveekogumi piirideni.	
--	--	---	--

Hüdrodünaamika	<i>Voolusuunad</i>	Põhjavee looduslik liikumissuund on Soome lahe kui Kambriumi–Vendi põhjaveekogumi põhjavee väljeala suunas. Seoses Cm-V põhjavee intensiivse tarbimisega on põhjavee looduslik survepind oluliselt langenud ning Tallinnas ja selle ümbruses on moodustunud survepinna ulatuslik alanduslehter, mille piires põhjaveevool on jagunenud suuremate veetarbijate (Tallinn, Viimsi, Keila, Paldiski) vahel. Intensiivse tarbimise tõttu välja kujunenud põhjaveevoolu suuna muutus Soome lahe poolt mandri suunas võib kujutada riski põhjavee kvaliteedile kloriidide sisalduse suurenemise näol.	2
	<i>Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus</i>	Vettandvate kivimite horisontaalne filtratsioonikoefitsient on 3–9 m/ööpäevas, keskmiselt 7,4 m/ööpäevas. Vertikaalne filtratsioonikoefitsient on intervallis 0,05–1 m/ööpäevas. Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on valdavalt 50–300 m ² /ööpäevas. Põhjavee liikumise kiiruseks on arvanud 0,0005–0,005 m/ööpäevas (Vallner, 1997).	1
	<i>Toitumine ja režiim</i>	Põhjavee $\delta^{18}\text{O}$ väärtused ja ^{14}C põhjavee dateeringud osutavad vee pärinemisele Pleistotseeni mandriliustike sulaveest (Raidla jt., 2009; 2012). Tänapäeval toitub põhjaveekogum looduslikult basseini lõunapoolse soolase põhjavee arvelt ja ürgorgude kohal läbi Kvaternaari setete infiltreeruvast sademeveest. 1980ndate aastate lõpuks oli põhjaveekogumi survepind Tallinnas langenud kuni 30 m allapoole merepinda. Pärast Eesti taasiseseisvumist on survepind pidevalt tõusnud kuni praeguse tasemeni, mis Tallinna piirkonnas on käesoleval ajal 5–7 m alla Soome lahe veetasel. Viimastel aastatel on veetase stabiliseerunud. Väikesed muutused põhjaveetasemetes sõltuvad eelkõige põhjavee tarbimise intensiivsusest ühes või teises piirkonnas (Viimsi ja	2, 5

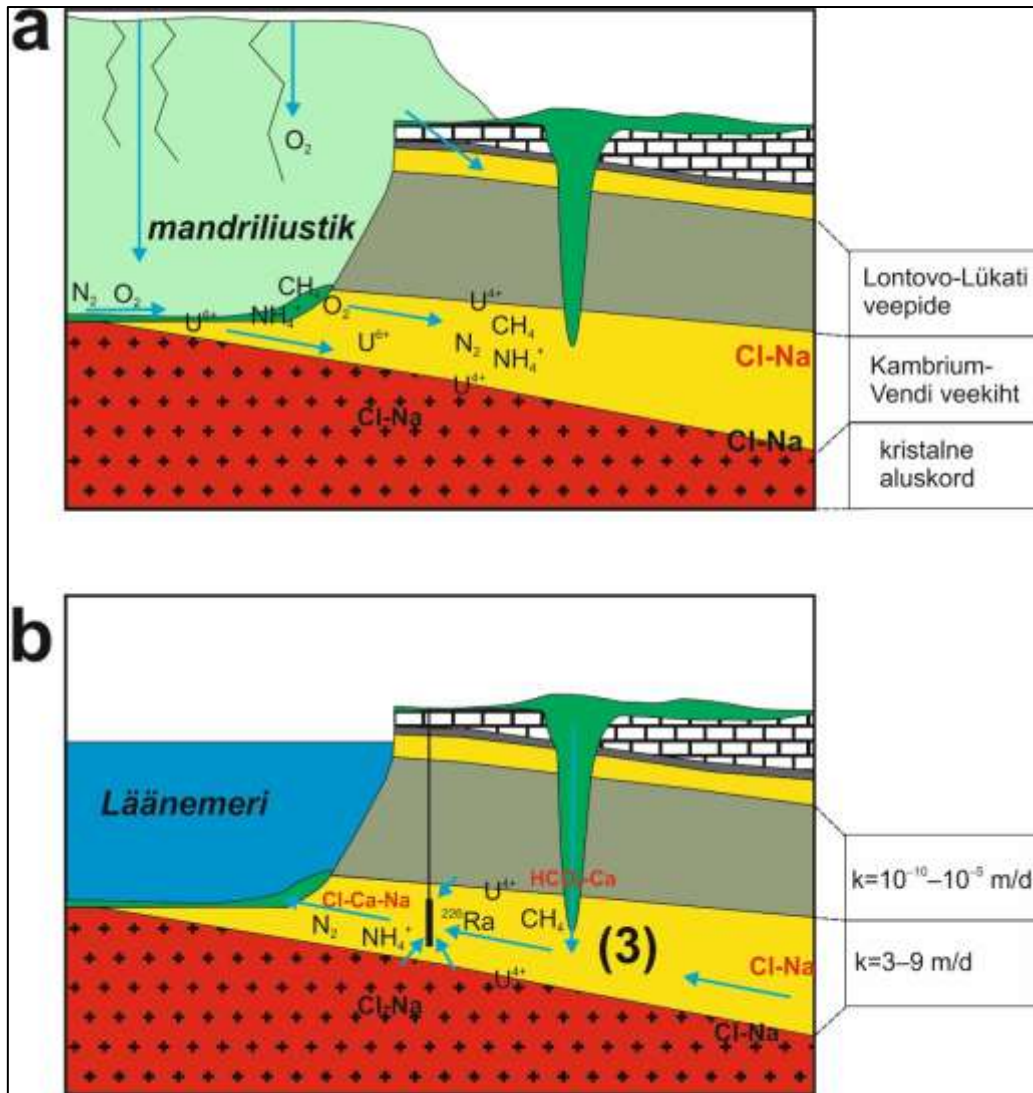
		Kopli poolsaar). Keila–Saku–Kehra joonest lõuna pool on režiim endiselt looduslik.	
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Keemiliselt koostiselt on kogumi põhjavesi Na-HCO₃-Cl- või Na-Cl-HCO₃-tüüpi, mineraalsusega 0,3–0,6 g/L. Kogumi kirdeosas, kus leidub sügavaid ürgorge, esineb ka Ca-HCO₃-tüüpi põhjavett. Iseloomulik on kloriidi sisalduse suurenemine lõuna suunas, mistõttu Matsalu–Tamsalu joonest lõunas ei vasta vesi enam joogiveeallika kvaliteedinõuetele. Jälgitav on ka põhjavee mineraalsuse suurenemine koos lasumussügavuse suurenemisega, mis saavutab maksimaalse väärtuse kristalse aluskorra ja Gdovi lademe liivakivide piiril (Savitskaja ja Viigand, 1994; Raidla jt., 2009).</p> <p>Tinglikult võib keemilise andmestiku põhjal põhjaveekogumi Tallinnas ja lähiümbruses jagada ülemiseks Voronka (tegelikult Kambriumi Sämi kihistu) ja alumiseks Gdovi osaks. Kui Voronka osale on iseloomulik väga väike kloriidide sisaldus (Viimsi poolsaarel vaid ~10 mg/L) ning väga hea isoleeritus kristalsest aluskorrast, siis alumises nn. Gdovi osas leviv põhjavesi on märksa soolasem ning intensiivsel veetarbimisel kaldub soolsus (eelkõige Cl⁻ ja Na⁺ kontsentratsioonid) suurenema (Kopli ja Viimsi poolsaared, Muuga-Maardu piirkond).</p> <p>Probleemiks on kogumi vees esinevad suuremad NH₄⁺ (kuni 1,5 mg/L), raua (kuni 0,5 mg/L) ja mangaani (kuni 0,16 mg/L), sisaldused ning efektiivdoosi väärtused (Raidla ja Tarros, 2023; Tamm ja Leisk, 2024).</p>	3, 4, 6
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Kogumi põhjaveele on iseloomulik äärmiselt kerge isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused -12 kuni -23‰; Raidla jt., 2009; 2019a) võrreldes tänapäevaste sademetega (-10‰ kuni -13‰; IAEA, WMO, 2018). See on kinnituseks, et antud põhjavesi on kujunenud tänapäevastest erinevates kliimatingimustes, millele viitavad ka põhjavee ¹⁴C dateeringud (infiltreerumisaeg 12000 kuni 30000 aastat tagasi; Raidla jt., 2012). Kogumi põhjavesi on kujunenud Pleistotseeni jääaegadel toimunud liustiku pealetungide käigus, mil</p>	3, 4, 5, 6, 7

		<p>Eestit katnud mandriliustikud tekitasid kogumi avamusel kõrge hüdrostaatilise rõhu, pöörates tavapärase lõuna-põhja suunalise põhjavee liikumise ümber põhja-lõuna suunaliseks.</p> <p>Tallinnas ja põhjaveekogumi kirdeosas on põhjavee kujunemisel oluline osa ka sügavatel ürgorgudel, mis lõikavad läbi lasuva veepideme, võimaldades ülemiste magedamate Ca-HCO₃-tüüpi põhjavete infiltreerumist põhjaveekogumisse.</p> <p>Põhjaveekogumi lamamiks olevates kristalse aluskorra kivimites levib laialdaselt soolane vesi mineraalsusega kuni 30 g/L. Kindla veepideme puudumise tõttu võib intensiivse veevõtuga piirkondades soolasem vesi ohustada põhjaveekogumi praegust vee kvaliteeti (Karro jt., 2004; Raidla jt., 2012, 2019b; Suursoo jt., 2017).</p> <p>Kuna paljud põhjaveekogumi puurkaevud avavad nii ülemist kui alumist osa põhjaveekogumist, on loodud hüdrodünaamiline ühendus erinevate veekihtide vahel ning kogumi põhjavee keemiline koostis on tugevalt mõjutatud segunemisest erinevat keemilist tüüpi põhjavee vahel.</p> <p>Oluliseks keemilist koostist kujundanud teguriks on ka liustiku sulavete poolt sisse kantud orgaanilised ühendid, mis on andnud põhjaveele looduslikult kõrgeid gaaside (peamiselt metaan ja lämmastik) ning NH₄⁺ sisaldused (Raidla jt., 2019a). Raadiumi aktiivsustes on suur varieeruvus tulenevalt 1-2 m paksuse veepideme olemasolust põhjaveekogumi põhjaosas. Kõrgeimad raadiumi sisaldused põhjaveekogumis on registreeritud Loksa linnas (Savitskaja ja Viigand, 1994).</p>	
--	--	--	--

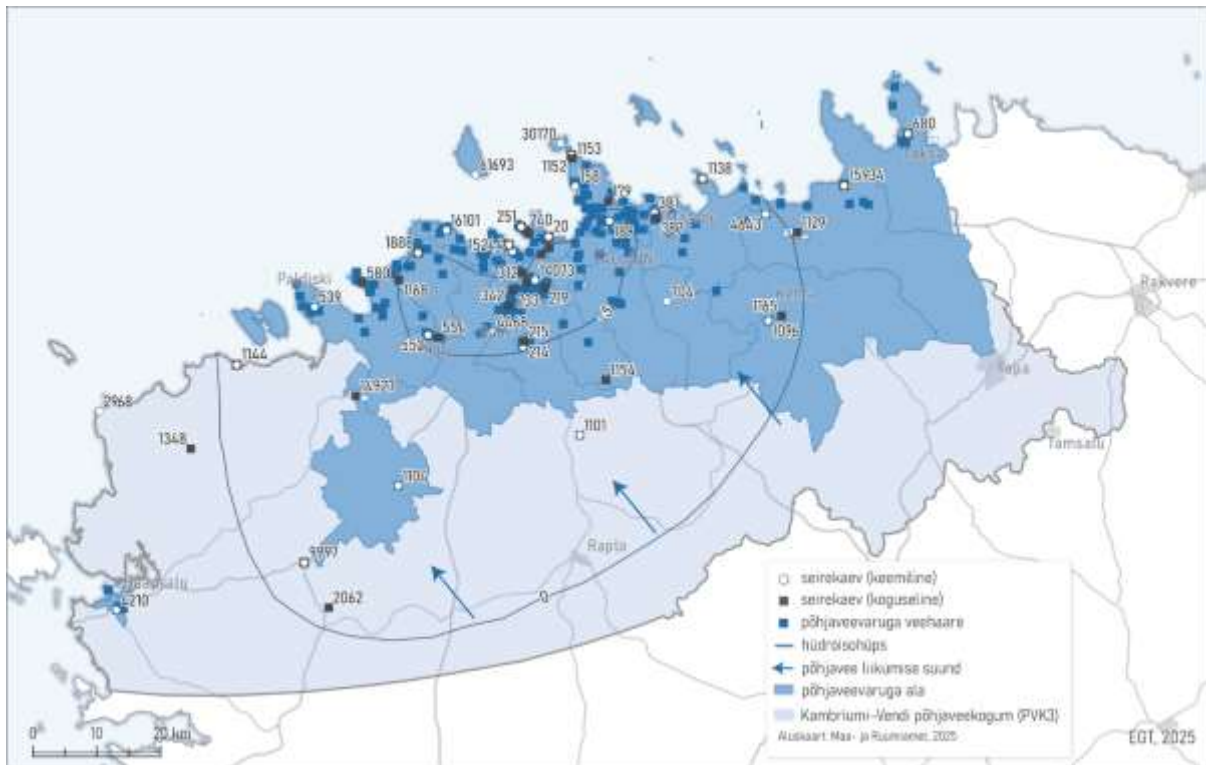
Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega	Seotud vooluvee- ökosüsteemid	Ei ole
	Seotud seisuvee ökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole

	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole
Seisundi hinnang (Hartal Projekt, 2014a)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea (ohustatud) <i>Kogum on ohustatud, sest veevõtt põhjaveekogumist ületab looduslikku ressursi ja veevõtu intensiivistamine võib põhjustada kloriidide sisalduse suurenemist mereäärsetes piirkondades ja halvendada veevarustuse olukorda.</i>

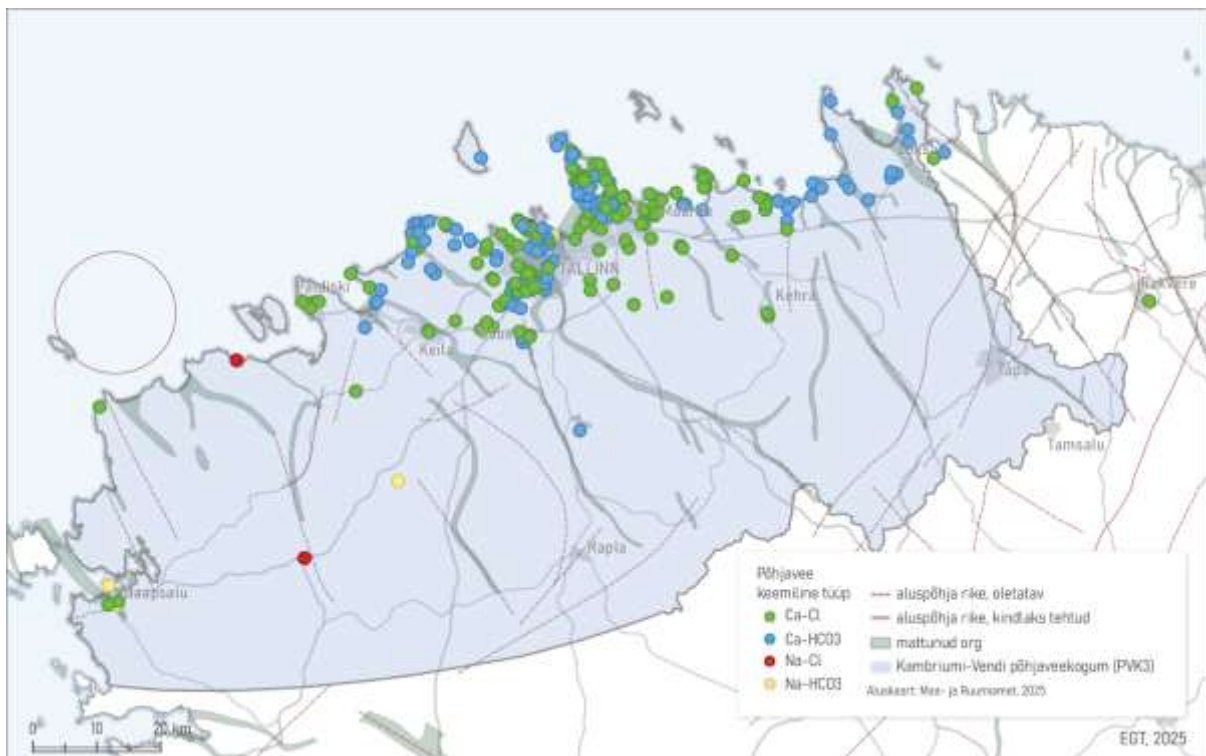
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	25580
	Põhjavee kinnitatud varu 2023. a	87900
	Põhjaveevõtt 2023. a.	23596
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	64304
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	-62320
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	1984



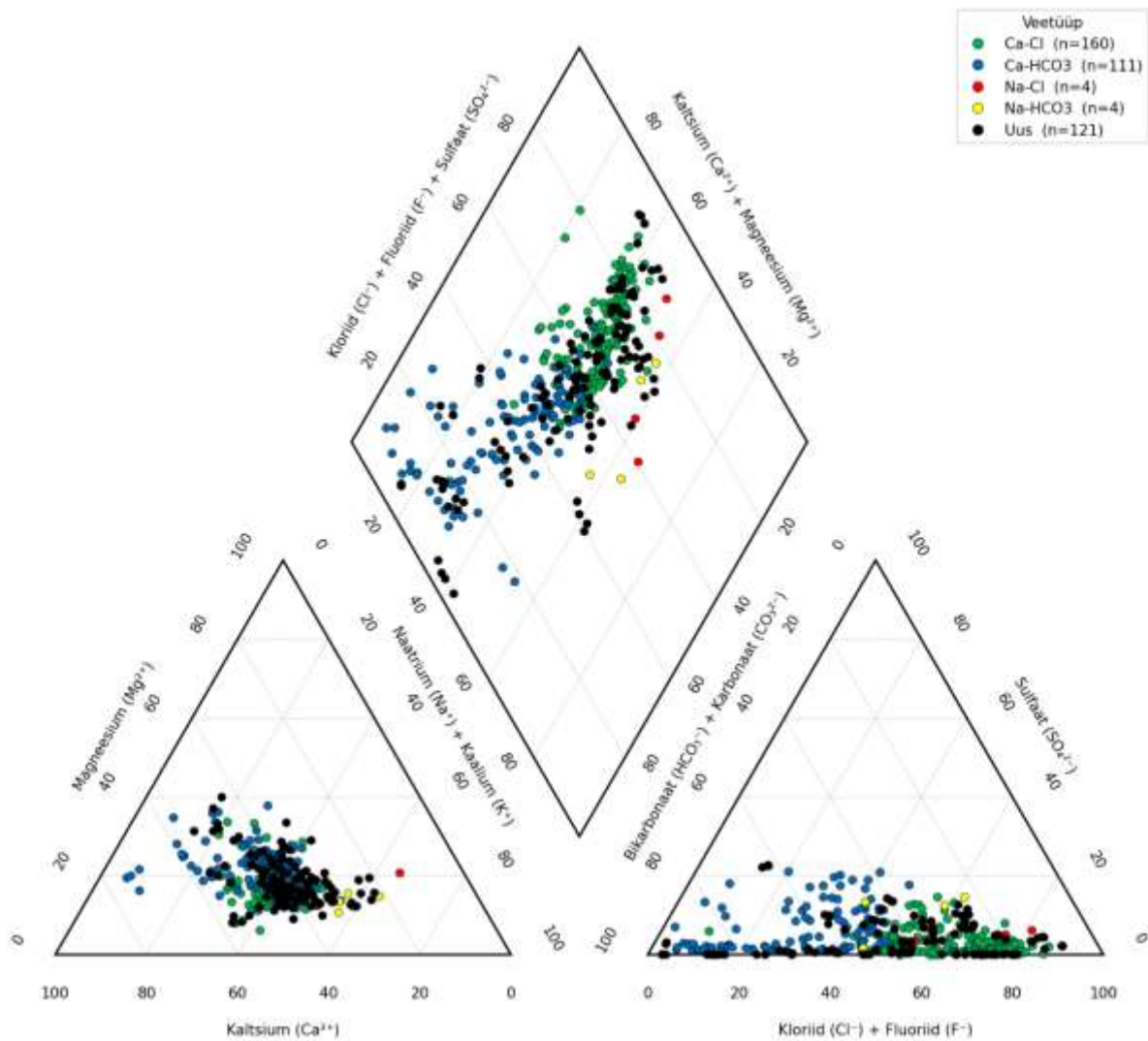
Joonis 1. Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi (PVK nr. 3) kontseptuaalse mudeli läbilõige. (a) Põhjaveekogumites valdava glatsiaalset päritolu põhjavee teke ja areng Pleistotseeni jääaegade ajal; (b) põhjaveekogumite kontseptuaalse mudeli läbilõige tänapäeval.



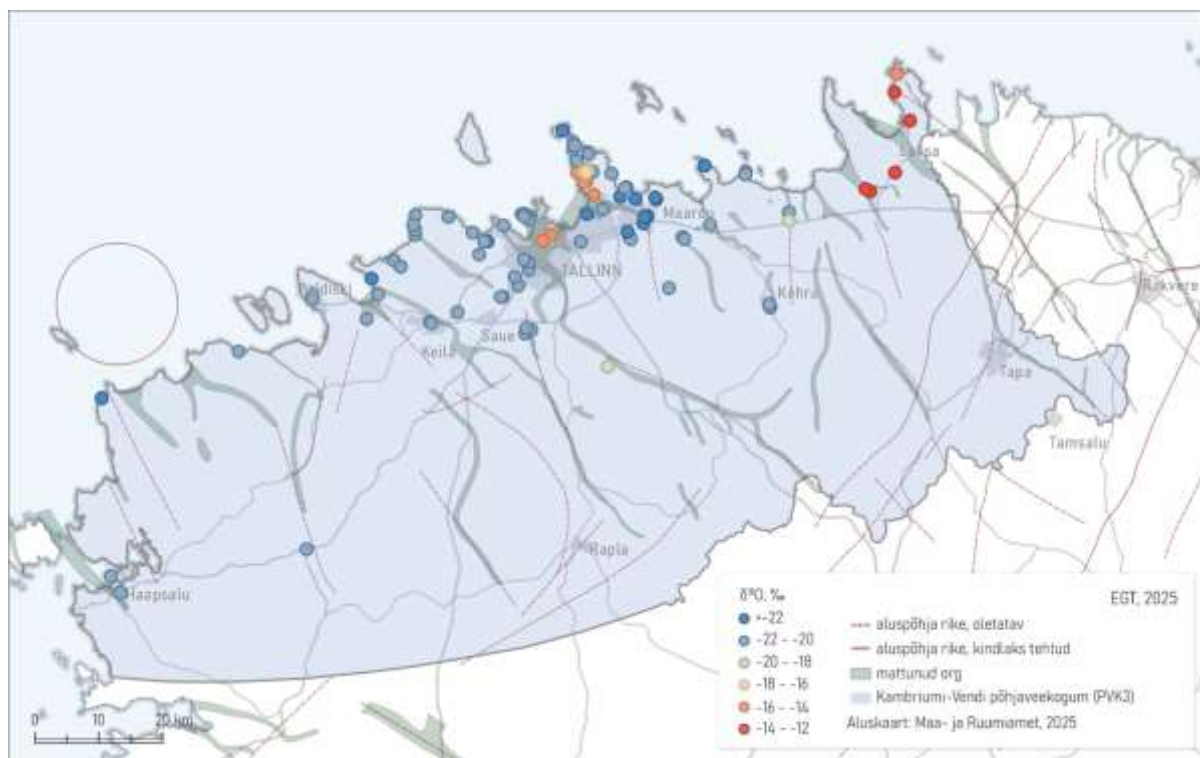
Joonis 2. Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012).



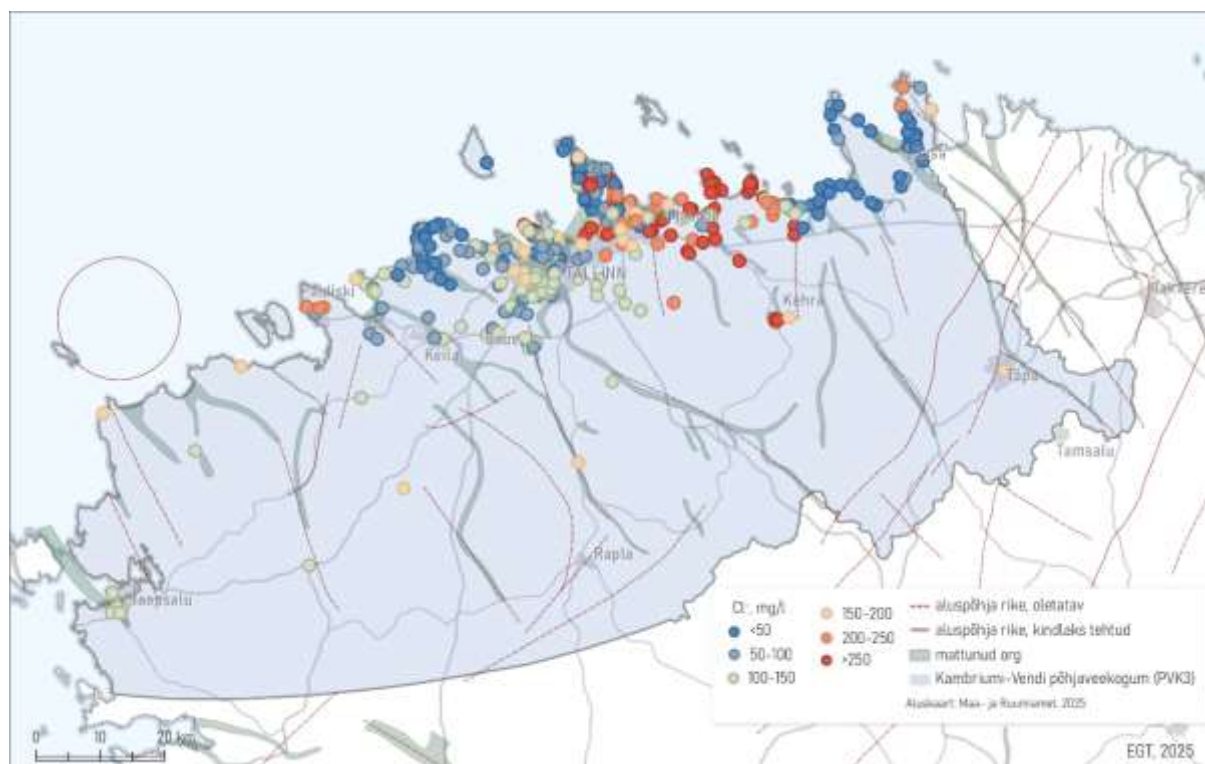
Joonis 3. Kambriumi-Vendi põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



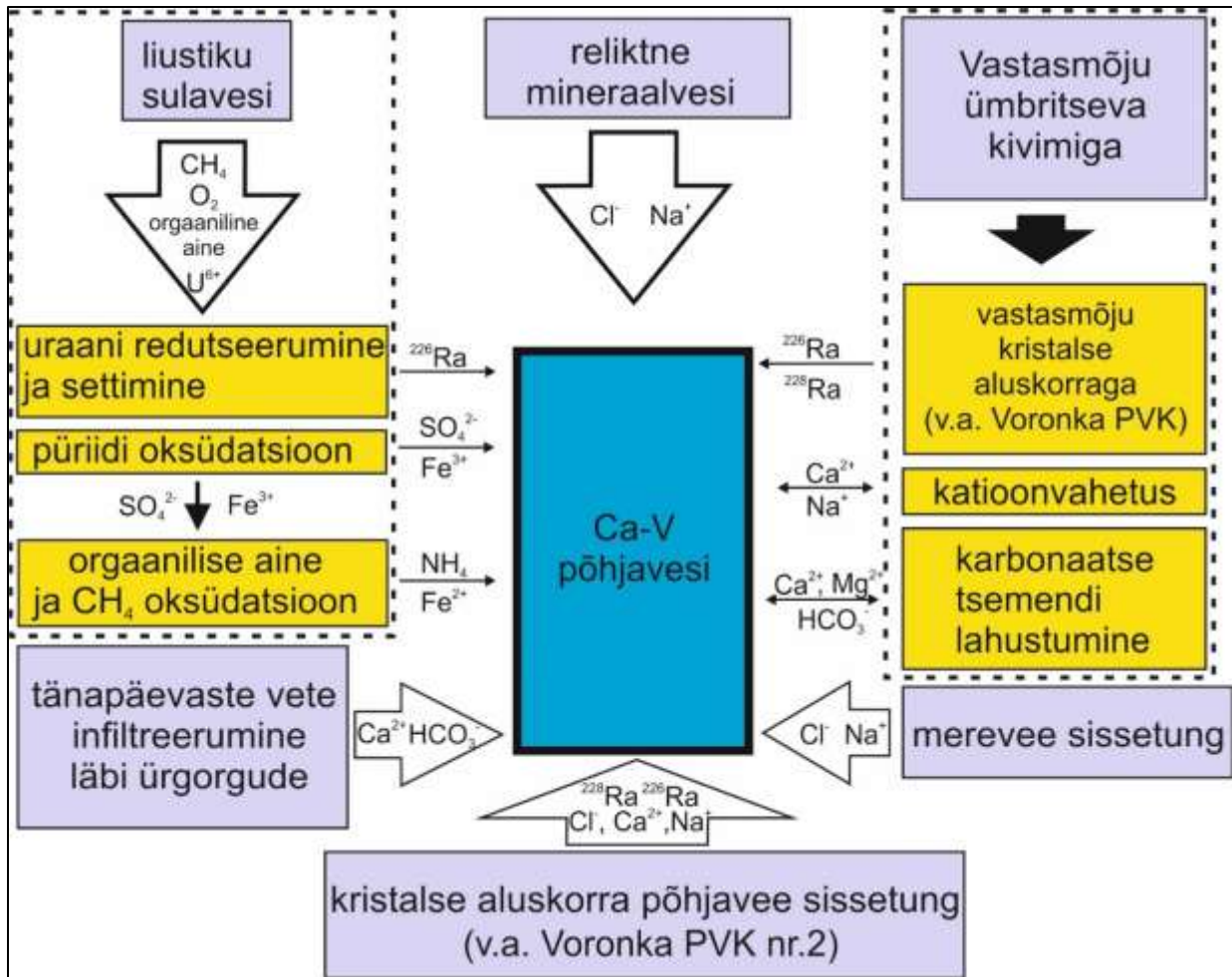
Joonis 4. Kambriumi-Vendi põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Legendis Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi



Joonis 5. Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused).



Joonis 6. Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 7. Gdovi, Voronka ja Kambrumi-Vendi põhjaveekogumite (PVK nr. 1–3) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel

Kasutatud kirjandus

- IAEA, WMO, 2018. WISER – Water Isotope System for data analysis, visualization and Electronic Retrieval. <https://nucleus.iaea.org/wiser/index.aspx> (viimati vaadatud 29.04.2018)
- Karro, E., Marandi, A., Vaikmäe, R., 2004. The origin of increased salinity in the Cambrian-Vendian aquifer system on the Kopli Peninsula, northern Estonia. *Hydrogeology Journal* 12: 424–435.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. *Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.*
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Jöeleht, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L., 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian–Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology* 258: 219–231.
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Kaup, E., Martma, T., 2012. Carbon isotope systematics of the Cambrian–Vendian aquifer system in the northern Baltic Basin: Implications to the age and evolution of groundwater. *Applied Geochemistry* 27: 2042–2052.
- Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, V., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K. 2019a. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 251: 247–264.
- Raidla, V., Pärn, J., Aeschbach, W., Czuppon, G., Ivask, J., Kiisk, M., Mokrik, R., Samalavičius, V., Suursoo, S., Tarros, S., Weissbach, T., 2019b. Intrusion of Saline Water into a Coastal Aquifer Containing Palaeogroundwater in the Viimsi Peninsula in Estonia. *Geosciences*, 9 (1): #47.10.3390/geosciences9010047.
- Raidla, V., Tarros, S., 2022. Viimsi valla ja Prangli saare joogi- ja põhjavee seire 2022. aastal. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
- Savitskaja, L., Viigand, A., 1994. Aruanne kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Suursoo, S., Hill, L., Raidla, V., Kiisk, M., Jantsikene, A., Nilb, N., Czuppon, G., Putk, K., Munter, R., Koch, R., Isakar, K., 2017. Temporal changes in radiological and chemical composition of Cambrian-Vendian groundwater in conditions of intensive water consumption. *Science of the Total Environment* 601–602: 679–690.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vallner, L., 1997. Groundwater flow. *Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 145–152.*

PVK 4. Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
4	Lääne-Eesti vesikond	Isoleeritud	Ordoviitsiumi-Kambriumi	Harjumaa, Raplamaa, Läänemaa, Hiiumaa, Järvamaa, Viljandimaa	20454

				JONIS
Hüdrogeoloogiline iseloomustus	Kivimite litoloogiline koostis	Peamisteks vettandvateks kivimiteks on Alam-Ordoviitsiumi vanusega Kallavere kihistu ning Alam-Kambriumi vanusega Tiskre kihistu aleuoliitsed liivakivid. Kogumi lõunaosas on vettandvateks kivimiteks Kesk-Kambriumi Ruhnu kihistu hästisorteeritud peeneteralised kvartsliidakivid ning Irbeni kihistu aleuriidi vahekihtidega peeneteralised liivakivid (Mens & Pirrus, 1997). Lääne-Eesti saartel esinevad neile lisaks Sõru kihistu peeneteralised liivakivid ja Soela kihistu nõrgalt tsementeerunud peeneteralised liivakivid (Mens & Pirrus, 1997).	1	
	Kogumi paksus	Põhja-Eestis 10-30 m, Lõuna-Eestis suureneb 60-80 m (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012). Keskmine paksus on 35 m.	1	
	Lasuv veepide	Alam-Ordoviitsiumi Türisalu kihistu graptoliitargilliit, millel lasuvad Varangu, Leetse ja Toila kihistu savid, savikad glaukoniitliivakivid ja tihedad dolomiitlubjakivid. Veepideme paksus on Põhja-Eestis 8–10 m ja suureneb lõuna suunas. Lõuna-Eestis graptoliitargilliiti ei esine ja lasuvaks veepidemeks on Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide. Veepideme horizontaalsuunaline filtratsioonikoefitsient võib muutuda vahemikus 0,001–1,0 m/ööpäevas, vertikaalne filtratsioonikoefitsient on vahemikus 10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁴ m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	1	

	Lamav veepide	Alam-Kambriumi vanusega Lükati–Lontova (Cmlk–In) savist ja aleuroliidist koosneva veepide, keskmise paksusega 58 m (Perens jt., 2012). Loode-Eestis asenduvad Lontova savid Voosi kihistu vähem savikate aleuroliitidega ning veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient suureneb. Lontova sinisavi vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-8} – 10^{-5} m/ööpäevas. Tallinna piirkonnas läbivad veepidet Kvaternaari setetega täitunud mattunud ürgorud (nt. Mustamäe-Pelguranna org, Kesklinna org ja Harku org; Perens jt., 2012).	1
	Põhjavee survepind	Kesk-Eestis Pandivere kõrgustiku ümbruses absoluutkõrgusel 50–60 m (Perens & Vallner, 1997; Tamm & Leisk, 2024). Võrreldes tarbimiseelse ajaga 1960datel, on põhjavee survepind Pandivere kõrgustiku ümbruses langenud u 10 m võrra (Tšeban, 1966). Lääne-Eestis ja Pärnumaal ulatub põhjavee survepind kohati üle maapinna. Tallinnas Nõmmel ja linna lähiümbruses (Saku, Saue, Rummu ja Loo alevikus) on veevõtust tulenevalt moodustunud kohalikud põhjavee survetaseme alanduslehtrid (Perens jt., 2012).	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee looduslik liikumissuund põhjavee survepindade järgi on Pandivere kõrgustikult radiaalselt loode, lääne ja edela suunas (Perens jt., 2012). Väga vähesel määral infiltreerub põhjaveevool allpool lasuvatesse Kambriumi–Vendi põhjaveekogumisse (Vallner, 1997). Seoses intensiivse tarbimisega on põhjavee looduslik survepind mõnes Harjumaa piirkonnas (Saku, Saue, Loo ja Rummu) langenud, kuid kohalike depressioonilehtrite mõju regionaalsele põhjaveevoolule ei ole märkimisväärne (Perens jt., 2012). Kogumi lõunaosas on põhjavee voolusuund lõunast põhja, sarnaselt lamavale Kambriumi–Vendi põhjaveekompleksile (Tšeban, 1966; Pärn jt., 2018). Lõuna-Eestis on põhjavee voolamine takistatud väikese hüdraulilise gradiendi ja suure soolsusega põhjavee kõrgete survepindade tõttu.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Vettandvate kivimite horisontaalne filtratsioonikoefitsient on vahemikus 0,5–3 m/ööpäevas ja vertikaalne filtratsioonikoefitsient	1

		0,05–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Liivakivi elastse veemahtuvuse koefitsient on $2,5 \cdot 10^{-5}$ – $6 \cdot 10^{-3}$ ja kogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus 20–50 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee liikumiskiirus veekompleksis on väga aeglane. Seda iseloomustab Virumaade mudeli põhjal arvatud põhjavee voolutee pikkus Pandivere kõrgustikul, mis on Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihis kuni ~5 km viimase 5000 aasta jooksul (Jõelett & Polikarpus, 2018).	
	Toitumine ja režiim	<p>Põhjavee isotoopkoostis osutab sellele, et kõige kiirem veevahetus veekogumis toimub Põhja-Eesti ranniku lähedal, kus lasuvate kihtide paksus on väike. Seal kuulub vesi aktiivse veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018). Lõuna ja lääne pool veekihi veevahetus aeglustub ja veekogum kuulub mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018; Jõelett & Polikarpus, 2018). Pandivere kõrgustik, mida iseloomustavad veekihi kõige kõrgemad survepinnad, kuulub samuti mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse, sest Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleksi jõudmiseks peab infiltreerunud vesi liikuma läbi Siluri ja Ordoviitsiumi kivimite ja Siluri-Ordoviitsiumi regionaalse veepideme.</p> <p>Põhjaveekogumi survepind sõltub tarbimisest. Kui survepind põhjavett ei tarbita, siis toimub veekihi survepinna tõus. Veevõtu korral survepind alaneb ja toitumine lasuvatest kihtidest suureneb (Perens jt., 2012).</p>	2

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjavee keemiline koostis varieerub tinglikult põhja-lõuna suunas. Põhja-Eesti ranniku lähedal, kus lasuvate Ordoviitsiumi kivimite paksus on väike, levib Ca-HCO₃-tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,2-0,5 g/L. Põhjaveekogumi kesk-, lääne- ja loodeosas levib Na-HCO₃ tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,3-0,6 mg/L, mis kogumi lõunaosas asendub suure mineraalsusega Na-Cl-tüüpi põhjaveega (mineraalsus 1,5-4 g/L; Perens jt., 2012; Pärn jt., 2016). Kogumi lõunapiiri märgivad kloriidi sisaldused ~350 mg/L, (Perens jt., 2012). Siiski jääb põhjaveekogumisse piirkondi, kus põhjavee</p>	3, 4, 5, 6
-------------------------	--------------------------	---	------------

		<p>kloriidi sisaldused võivad olla >350 mg/L (nt. Saaremaa; Pärn jt., 2016; Tamm ja Leisk, 2024).</p> <p>Suuremal osal põhjaveekogumi levialast vastab vesi joogiveele kehtestatud kvaliteedinõuetele. Põhjaveekogumi lõunaosas (Kuressaare, Pärnu, Viljandi) leviv Na-Cl-tüüpi põhjavesi vastab oma kvaliteedilt mineraalveele. Magedas Na-HCO₃-tüüpi vees esinevad kohati lubatud piirsisaldusest kõrgemad looduslikud fluoriidi (>2,5 mg/L) ja Ca-HCO₃-tüüpi vees raua (>0,2 mg/L) kontsentratsioonid (Pärn jt., 2016, 2018). Kohati esinevad põhjaveekogumis ka piirsisaldusest suuremad NH₄⁺ sisaldused (>0,5 mg/L; Tamm ja Leisk, 2024).</p> <p>Kogumis levib valdavalt väga hea kvaliteediga põhjavesi, milles vaid loodusliku raua sisaldus ületab joogivee piirsisaldust.</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Põhjaveekogumi põhjavesi on kujunenud tänapäeva sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee, Pleistotseeni jääaegadel mandriliustiku sulaveest tekkinud põhjavee ja relikitse Na-Cl tüüpi mineraalvee segunemisel. Isotoopkoostiselt ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused ~ -10 kuni -13‰) on kogumi vesi Põhja-Eesti rannikul sarnane maapinnalähedasele põhjaveele (Pärn jt., 2016; Raidla jt., 2016) ning vanusemäärangute järgi on tegemist tänapäevastest sademetest pärineva põhjaveega (Pärn jt., 2019).</p> <p>Põhjaveekogumi kesk-, lääne- ja loodeosas leviva põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused ~ -15 kuni $-22,5\text{‰}$) viitab antud vee kuulumisele aeglase veevahetuse vööndisse, mis ei pärine tänapäevasest veeringest (Pärn, 2018). Tegemist on tõenäoliselt jääaegadel Eesti ala katnud mandriliustike sulaveest pärineva põhjaveega. Põhjavee vanuse-määrangute järgi on seda tüüpi põhjavesi >10000 aastat vana ja tegemist on sisuliselt taastumatu ressursiga (Pärn, 2018; Pärn jt., 2019).</p> <p>Põhjaveekogumi lõunaosas leviva põhjavee isotoopkoostise ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused $\sim -13,5$ kuni -17‰) ja vanusemäärangute järgi on tegemist liustikutekkelisest veest vanema põhjaveega mille vanus võib ulatuda >400000 aastani (Pärn jt., 2016, 2019; Gerber jt., 2017). See põhjavesi on kujunenud</p>	7

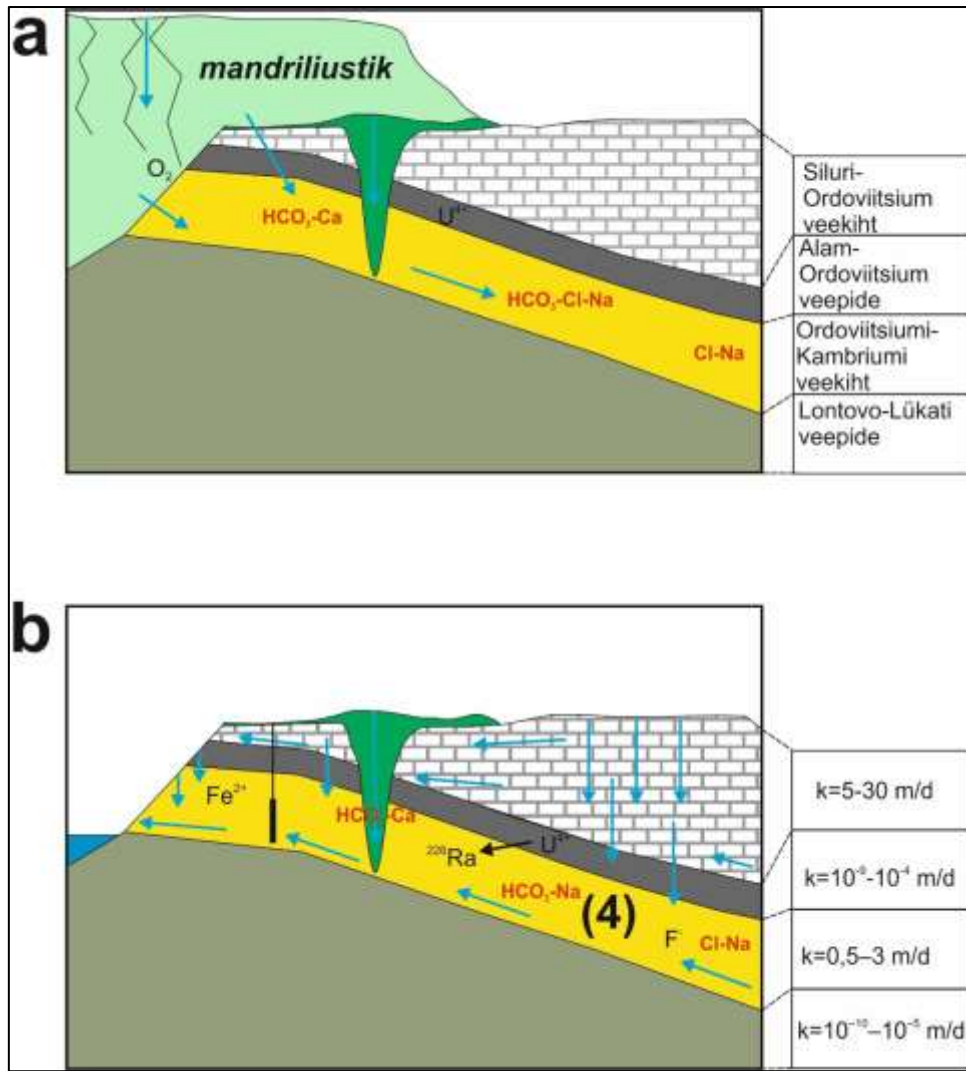
	<p>jääaegade eel veekompleksi täitnud soolase merelist päritolu põhjavee ja liustikutekkelise põhjavee segunemisel (Pärn jt., 2016, 2019; Gerber jt., 2017).</p> <p>Kõige olulisemad keemilised protsessid, mis on mõjutanud põhjavee kvaliteedi kujunemist, on karbonaatmineraalide (dolomiit, kaltsiit) lahustumine, katioonvahetus ning püriidi ja orgaanilise aine oksüdeerumine. Enam on katioonvahetusest mõjutatud liustikutekkeline Na-HCO₃-tüüpi põhjavesi. Lokaalselt esineb põhjavees metaani (Pandivere ümbrus), mis on tekkinud kivimites leiduva orgaanilise aine oksüdeerumise lõppfaasis ja mille esinemine väljendab põhjavee aeglast liikumist läbi lasuvate Ordoviitsiumi ja Siluri kivimite (Pärn jt., 2018). Kohati kõrgemad ²²⁶Ra aktiivsused (kuni 0,2 Bq/kg) on tõenäoliselt kujunenud vastastikmõjust lasuva graptoliitargilliidiga (Savitskaja jt., 1995).</p>	
--	--	--

Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega	Seotud vooluvee- ökosüsteemid	Ei ole
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_221 Tsitre pangaalused soometsad • PSMÖS_253 Ülgase soo

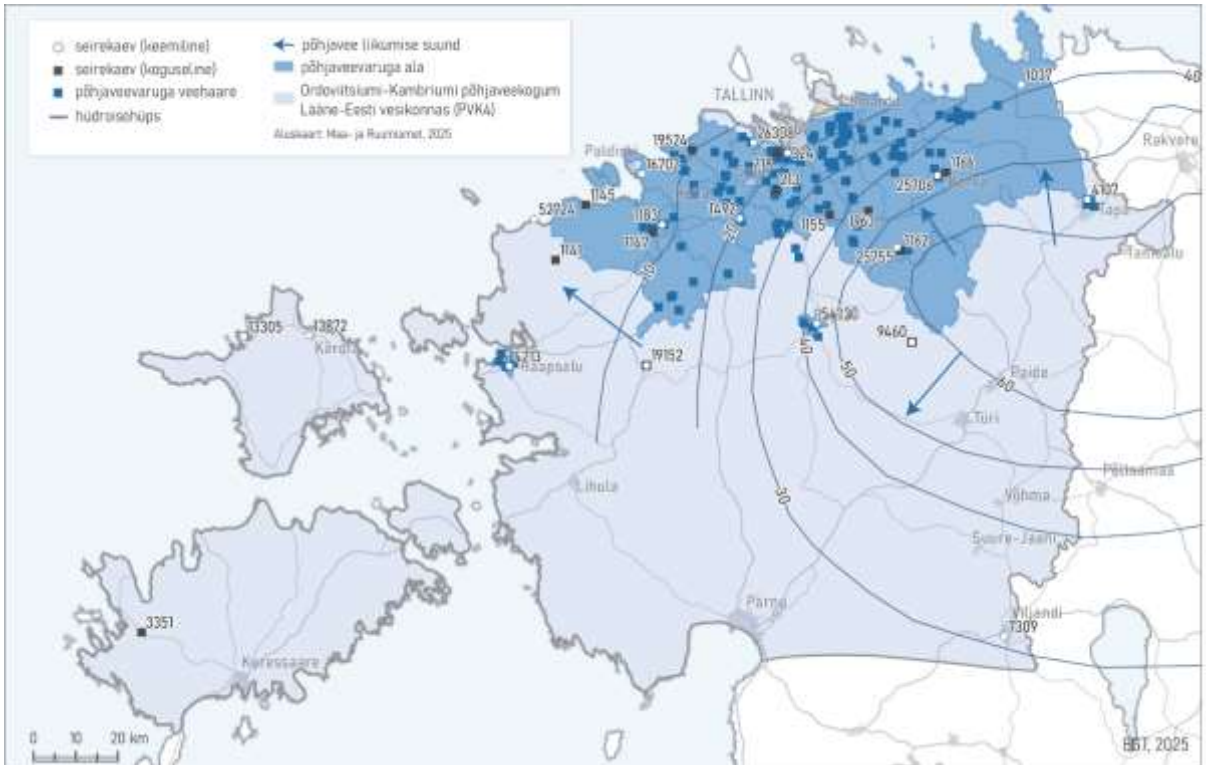
Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

Põhjavee varu	Looduslik ressurss	35714
----------------------	---------------------------	-------

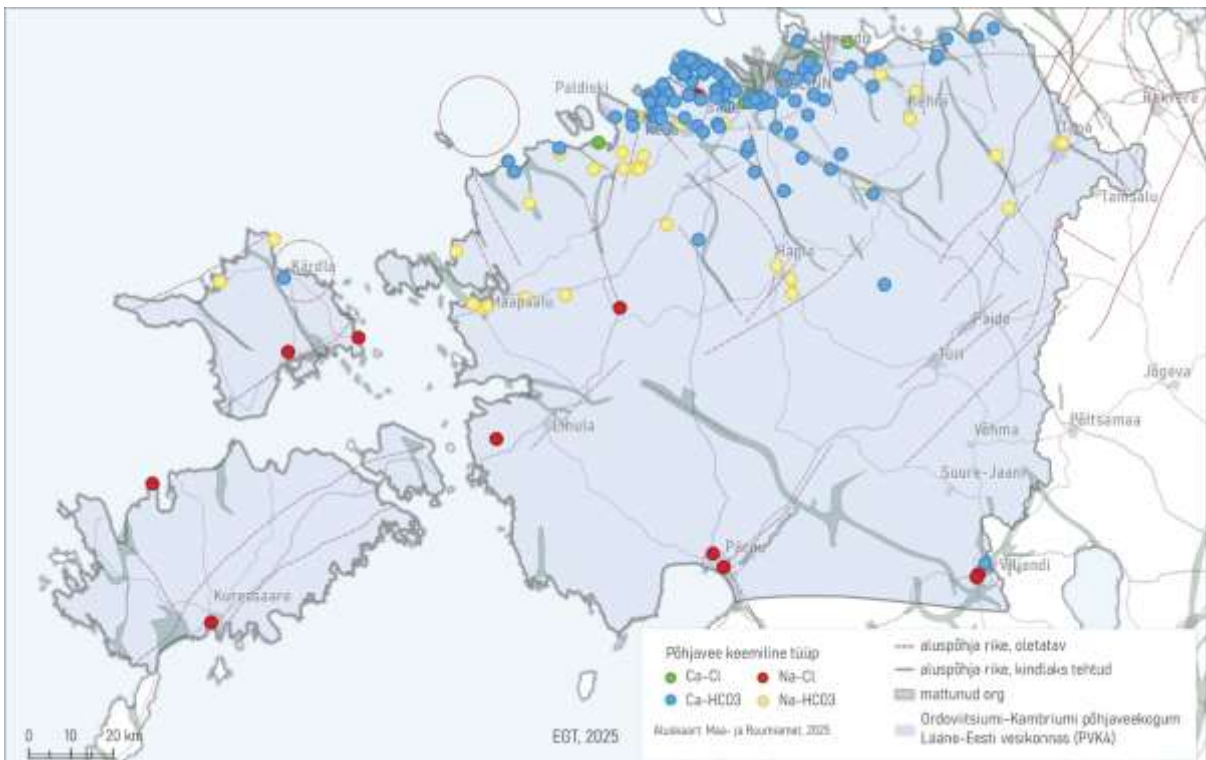
	Põhjavee kinnitatud varu 2023. a	30360
	Põhjaveevõtt 2023. a	8983
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	21377
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	5354
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	26731



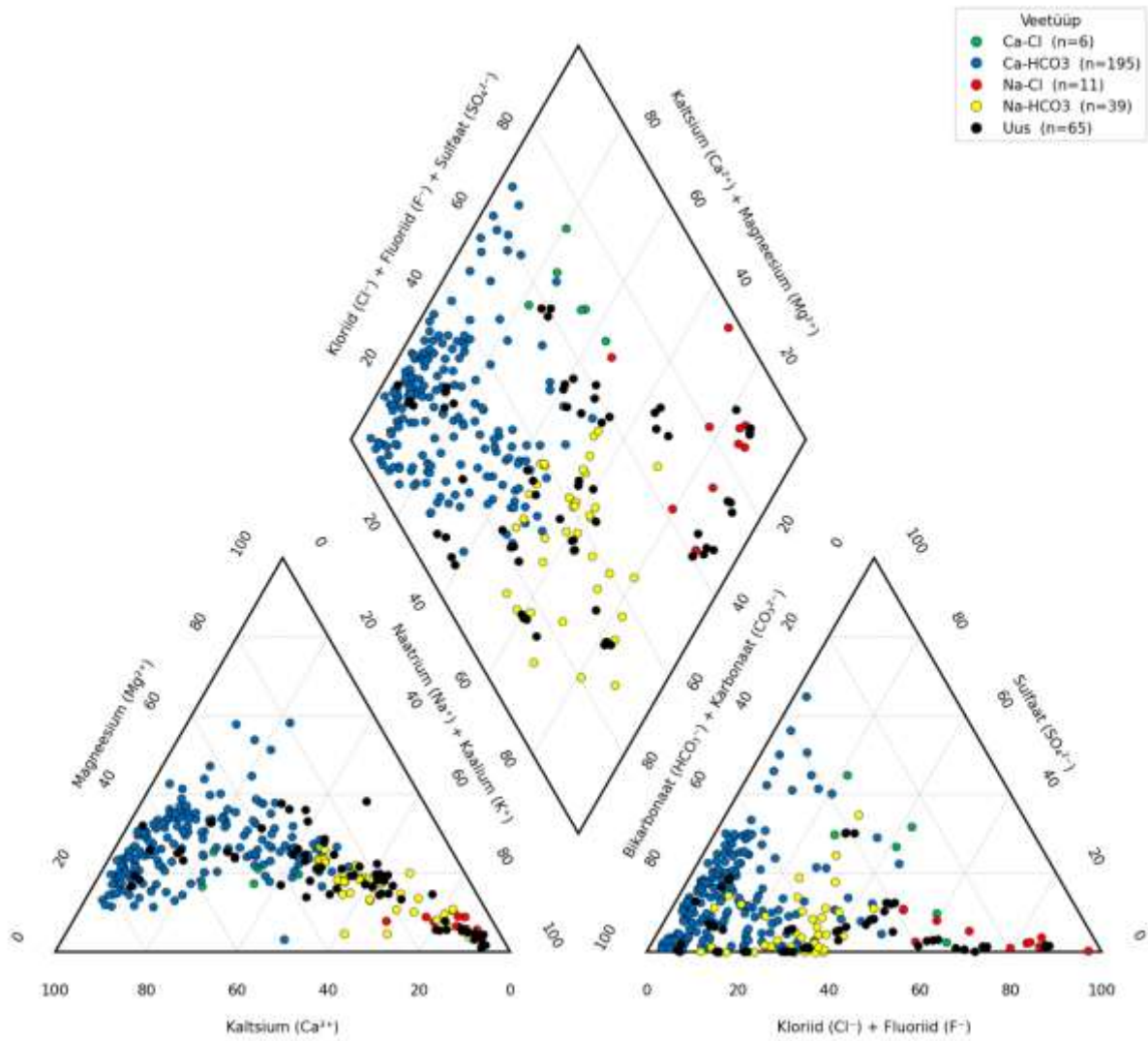
Joonis 1. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti põhjaveekogumi (PVK nr. 4) kontseptuaalse mudeli läbilõige. (a) Põhjaveekogumites valdava glatsiaalsel päritolu põhjavee teke ja areng Pleistotseeni jääaegade ajal; (b) põhjaveekogumite kontseptuaalse mudeli läbilõige tänapäeval.



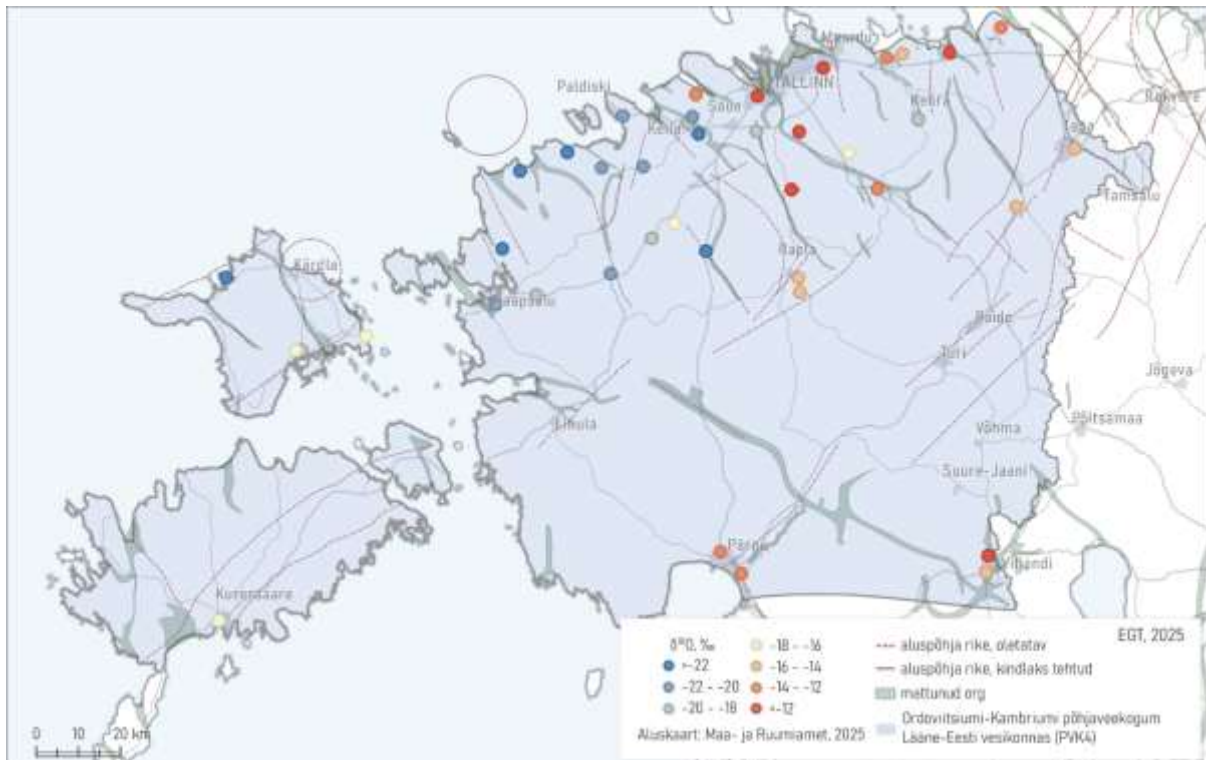
Joonis 2. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti põhjaveekogumi pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012).



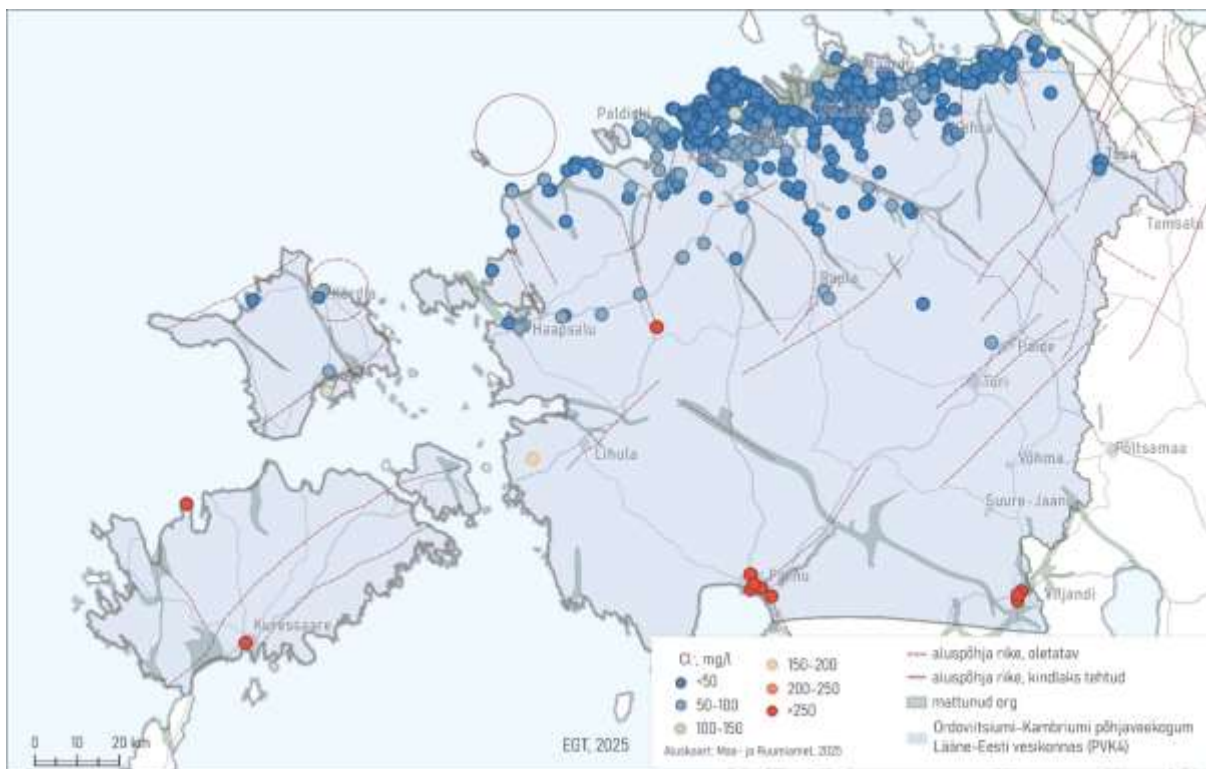
Joonis 3. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



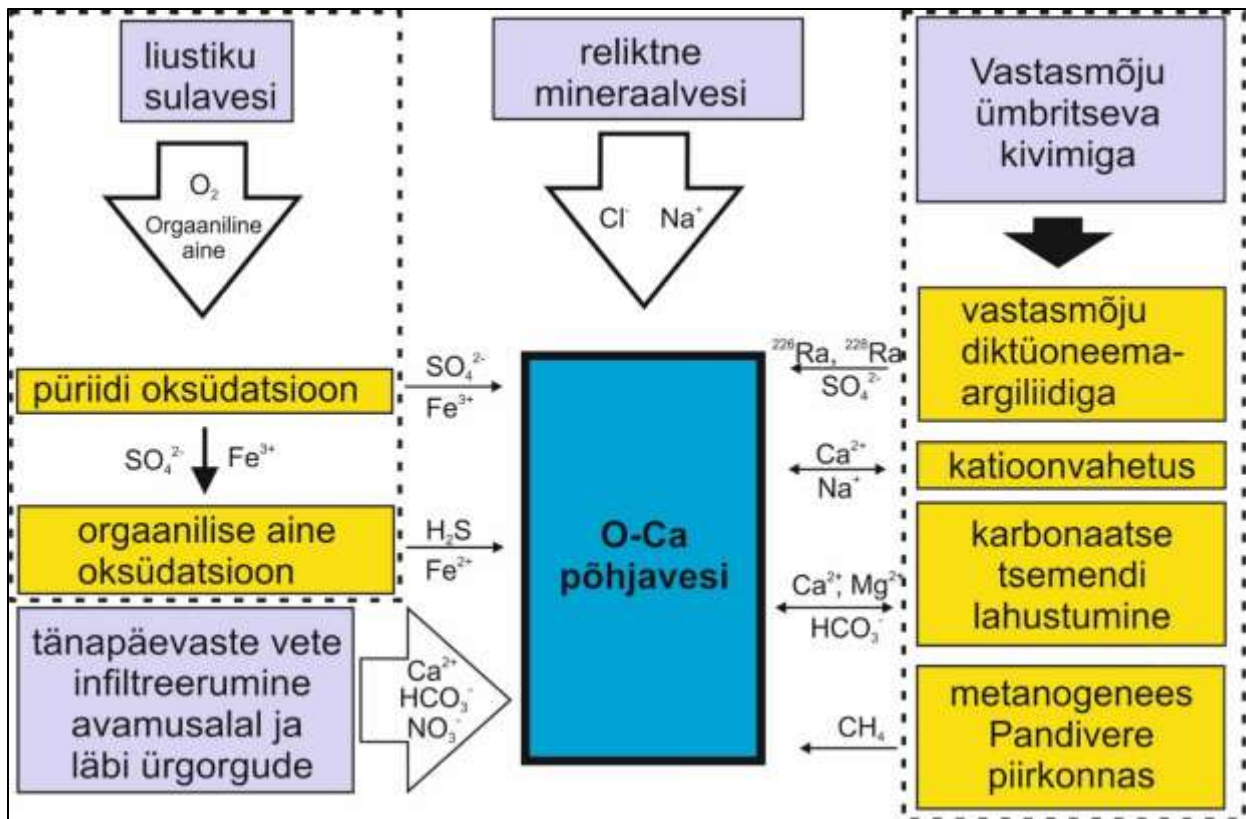
Joonis 4. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Legendis Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi



Joonis 5. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused).



Joonis 6. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 7. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti vesikonna, Virumaa ja Tartu põhjaveekogumite (O-Ca; PVK nr. 4, 5a, 5b) põhjavee keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Gerber, C., Vaikmae, R., Aeschbach, W., Babre, A., Jiang, W., Leuenberger, M., Lu, Z.-T., Mokrik, R., Müller, P., Raidla, V., Saks, T., Waber, H.N., Weissbach, T., C. Zappala, J., Purtschert, R., 2017. Using ^{81}Kr and noble gases to characterize and date groundwater and brines in the Baltic Artesian Basin on the one-million-year timescale. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 205: 187–210.

Jõeleht, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdrogeoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu. <https://virumudel.ut.ee/materjalid/>

Mens, K., Pirrus, E., 1997. Cambrian. Kogumikus: Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 39–48.

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

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

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

Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Mokrik, R., Erg, K., 2016. The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin. *Applied Geochemistry* 72: 125–135.

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

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

Savitskaja, L., Viigand, A., Jastšuk, 1995. Aruanne ordoviitsiumi-kambriumi veekihi põhjavee mikrokomponentide sisalduse ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Tšeban, E., 1966. Nõukogude Liidu hüdrogeoloogia. Kõide XXX (Eesti NSV). (vene keeles)

Vallner, L., 1997. Groundwater flow. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia* (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 145–152.

PVK 5a. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
5a	Ida-Eesti vesikond	Isoleeritud	Ordoviitsiumi-Kambriumi	Ida-Virumaa, Lääne-Virumaa, Järvamaa	6593

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Peamisteks vettandvateks kivimiteks on Alam-Ordoviitsiumi vanusega Kallavere kihistu ning Alam-Kambriumi vanusega Tiskre kihistu aleuoliitne kuni peeneteraline kvartslivakivi.	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Põhja-Eesti rannikul Aa mõisa juures ~18 m, põhjaveekogumi lõunapiiril ~30 m (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012).	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Alam-Ordoviitsiumi Türisalu kihistu graptoliitargilliit, millel lasuvad Varangu, Leetse ja Toila kihistu savid, savikad glaukoniiti sisaldavad liivakivid ja tihedad dolomiitlubjakivid. Veepideme paksus suureneb lõuna suunas. Veepideme horisontaalsuunaline filtratsioonikoefitsient võib muutuda vahemikus 0,001–1,0 m/ööpäevas, vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10 ⁻⁹ –10 ⁻⁴ m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	1
	<i>Lamav veepide</i>	Eelpool (PVK nr. 1-4) kirjeldatud Alam-Kambriumi vanusega Lükati–Lontova (Cmlk–ln) regionaalne veepide vertikaalse filtratsioonikoefitsiendiga 10 ⁻⁸ –10 ⁻⁵ m/ööpäevas.	1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Kesk-Eestis Pandivere kõrgustiku ümbruses absoluutkõrgusel 50–62 m (Perens & Vallner, 1997; Tamm & Leisk, 2024). Tarbimiseelsel ajal 1960datel on põhjavee survepind Pandivere kõrgustiku ümbruses olnud absoluutkõrgusel 70 m (Tšeban, 1966). Pandivere kõrgustikult eemaldudes langeb survepind radiaalselt kõigis suundades, jäädes Põhja-Eesti rannikul absoluutkõrgusele 20-30 m (Perens jt., 2012). Kohalikud alanduslehtid on kujunenud intensiivsema	2

		veevõtiga piirkondades (Mäetaguse vald, Estonia kaevandus, Kiviõli, Rakvere, Tapa; Perens jt., 2012).	
--	--	---	--

<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Põhjavee looduslik liikumissuund põhjavee tasemete järgi on Pandivere kõrgustikult radiaalselt kirde, ida ja kagu suunas (Perens jt., 2012). Väga vähesel määral infiltreerub põhjaveevool lamavatesse Kambriumi–Vendi põhjaveekogumitesse (Vallner, 1997). Väljavooluala on väga kitsas ning piirdub piiratud alaga Põhja-Eesti klindi jalamil (Perens jt., 2012).	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Vettandvate kivimite horisontaalne filtratsioonikoefitsient on vahemikus 0,5–3 m/ööpäevas ja väheneb lõuna suunas. Vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 0,05–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Liivakivi elastse veemahtuvuse koefitsient on $2,5 \cdot 10^{-5}$ – $6 \cdot 10^{-3}$ ja põhjaveekihtide veejuhtivus 20–50 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee liikumise kiirus veekompleksis on väga aeglane. Seda iseloomustab Virumaade mudeli põhjal arvatud põhjavee voolutee pikkus Pandivere kõrgustikul, mis on Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihi vaid ~5 km viimase 5000 aasta jooksul (Jõelet & Polikarpus, 2018).	1
	Toitumine ja režiim	Põhjavee isotoopkoostis osutab sellele, et kõige kiirem veevahetus veekogumis toimub Põhja-Eesti ranniku lähedal, kus lasuvate kihtide paksus on väike. Seal kuulub vesi aktiivse veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018). Lõuna pool veekihi veevahetus aeglustub ja veekogum kuulub mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018; Jõelet & Polikarpus, 2018). Pandivere kõrgustik, mida iseloomustavad veekihi kõige kõrgemad survetasemed, kuulub samuti mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse, sest Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleksi jõudmiseks peab infiltreerunud vesi liikuma läbi Siluri–Ordoviitsiumi regionaalse veepideme. Intensiivsem toitumine läbi Kvaternaari setete võib toimuda Purtse ja Vasavere ürgoru ümbruses (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumi survepind sõltub tarbimisest. Kui survepind põhjavett ei tarbita, siis toimub veekihi survepinna tõus. Veevõtu korral survepind alaneb ja toitumine lasuvatest kihtidest suureneb (Perens jt.,	2

		<p>2012). Ordoviitsiumi–Kambriumi põhjaveekogum ületab riigipiiri Ida-Virumaal, olles seal nii Eesti kui Venemaa veekasutuse mõju all.</p> <p>Põhjaveekogumi seisundit mõjutab kõikjal veevõtt veevarustuseks ja kogumiga seotud veekompleksi looduslik seisund on kohati säilinud vaid põhjarannikul veekompleksi väljealal, kus veevõtt on suhteliselt väike ning veekompleks jääb aktiivse veevahetuse vööndisse (Perens jt., 2012). Koos põhjaveekogumi lasumus-sügavuse suurenemisega lõuna suunas väheneb ilmastikutingimuste mõju põhjaveetasemetel, selle veevahetustingimused halvenevad ning vastavalt suureneb veevõtu mõju põhjaveetasemete režiimile.</p>	
--	--	--	--

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Kogumi põhjavee keemiline koostis varieerub tinglikult põhja-lõuna suunas. Põhja-Eesti ranniku lähedal, kus lasuvate Ordoviitsiumi kivimite paksus on väike, levib Ca-HCO₃ tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,2-0,5 g/L, mis lõunasuunas hakkab asenduma Na-HCO₃-tüüpi põhjaveega mineraalsusega 0,3-0,6 mg/L. Üle ujutatud põlevkivikaevanduste piirkonnas levib põhjaveekogumis ka Ca-HCO₃-SO₄-tüüpi põhjavett (Raidla ja Truu, 2022).</p> <p>Suuremal osal põhjaveekogumi levialast vastab põhjavee kvaliteet joogiveele kehtestatud kvaliteedinõuetele. Lubatud piirsisaldusest on kohati suuremad looduslikud raua (kuni 4,5 mg/L) ja mangaani (kuni 0,2 mg/L) kontsentratsioonid, mis levivad valdavalt Ca-HCO₃ tüüpi vees. Kogumi idaosas on leitud ka suuri Ba²⁺ sisaldusi (kuni 4,4 mg/L) ja Lügänu alevikust ka piirsisaldusi ületavaid arseeni sisaldusi (11 µg/L; Raidla ja Truu, 2022). Baarium on kogumis looduslikku päritolu.</p>	3, 4, 5, 6,
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Analoogselt sügavamatele põhjaveekogumitele on ka põhjaveekogumi 5a keemilise koostise kujunemist oluliselt mõjutanud Pleistotseeni jääajad, mil liustiku sulaveed tõrjusid sealt välja varasema, ilmselt suurema mineraalsusega Na-Cl-tüüpi põhjavee. Liustiku taandumise järel 14000 aastat tagasi hakkasid omakorda kohalikest sademetest formeerunud põhjaveed liustikulist põhjavett asendama. Tänapäevaks on kogumi madalamas põhjaosas see</p>	3, 4, 5, 6, 7

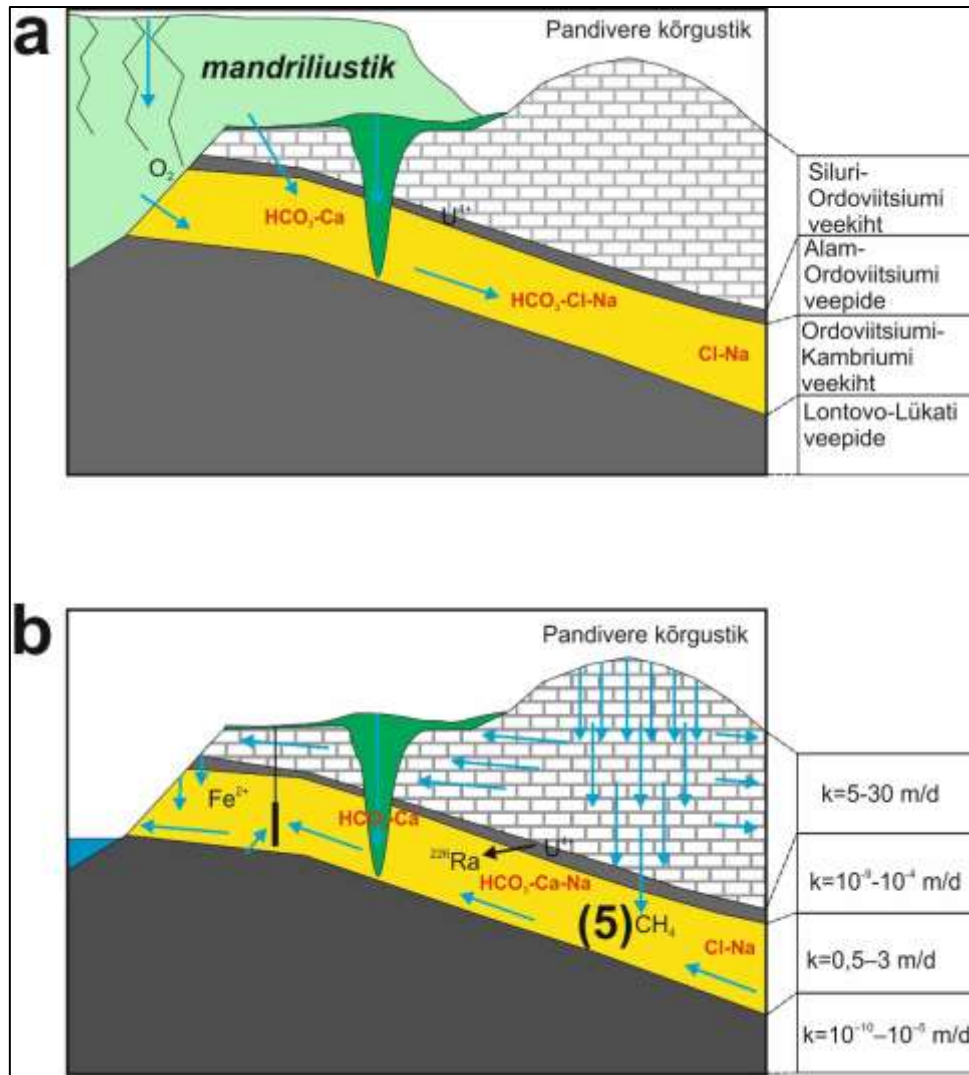
		<p>protsess jõudnud lõpule ning seal levib Ca-HCO₃-tüüpi põhjavesi, δ¹⁸O väärtustega –11 kuni –13‰ (Pärn jt., 2016; Raidla ja Truu, 2022). Põhjavee vanusemäärangute järgi on tegemist tänapäevase põhjaveega (Pärn jt., 2019), mille keemilist koostist on peamiselt kujundanud karbonaatkivimite lahustumine.</p> <p>Põhjaveekogumi kesk- ja lõunaosas leviv Na-HCO₃ tüüpi põhjavesi ei pärine isotoopkoostise järgi (δ¹⁸O väärtused ~–15 kuni –19‰) tänapäevasest veeringest ja kuulub pigem aeglase veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018; Raidla ja Truu, 2022). See põhjavesi pärineb tõenäoliselt jääaegadel Eesti ala katnud mandriliustike sulavetest. Vanusemäärangute järgi on see <10000 aastat vana ja tegemist on sisuliselt taastumatu ressursiga (Pärn jt., 2019). Kõige olulisemad geokeemilised protsessid, mis on mõjutanud selle põhjavee keemilist koostist on karbonaatsete mineraalide lahustumine ja kationvahetus.</p> <p>Lokaalselt leidub põhjavees suuremaid metaani kontsentratsioone (Pandivere ümbrus), mis on tekkinud orgaanilise aine oksüdeerumise lõppfaasis ja mille esinemine tuleneb põhjavee aeglasest liikumisest läbi lasuvate Ordoviitsiumi ja Siluri kivimite (Pärn jt., 2018). Kohati kõrgemad ²²⁶Ra aktiivsused (kuni 0,2 Bq/kg) väljendavad tõenäoliselt vastastikmõju lasuva graptoliitargilliidiga (Savitskaja jt., 1995).</p> <p>Põlevkivi kaevandustes on lõhketöödega kohati vigastatud kaevandusi läbivaid suurkaeve, mis on võimaldanud kaevandusvetel tungida kogumi suurkaevudesse. Sel põhjusel on kogumis lokaalselt esindatud ka Ca-Na-SO₄-tüüpi vesi (Raidla ja Truu, 2022). Ba²⁺ kogumi idaosas võib pärineda hoopiski ülemisest Lasnamäe-Kunda veekihist kus Ba²⁺ levib märksa laialdasemalt. Kaevu avatud osa vale paigaldamine (veepide on piirkonnas vaid 2 m paks) võib olla tekitanud hüdrodünaamilise ühenduse veekihtide vahel ning baariumirikka vee valgumise kogumisse (Raidla ja Truu, 2022). Tegemist võib olla ka Ba²⁺-ga tektoonilistest lõhetäidetest. Lüganusel leviva arseeni päritolu on ebaselgem. Tegemist võib olla</p>	
--	--	--	--

		arseniga reostunud pinnasest või kohalikust argilliidist.	
--	--	---	--

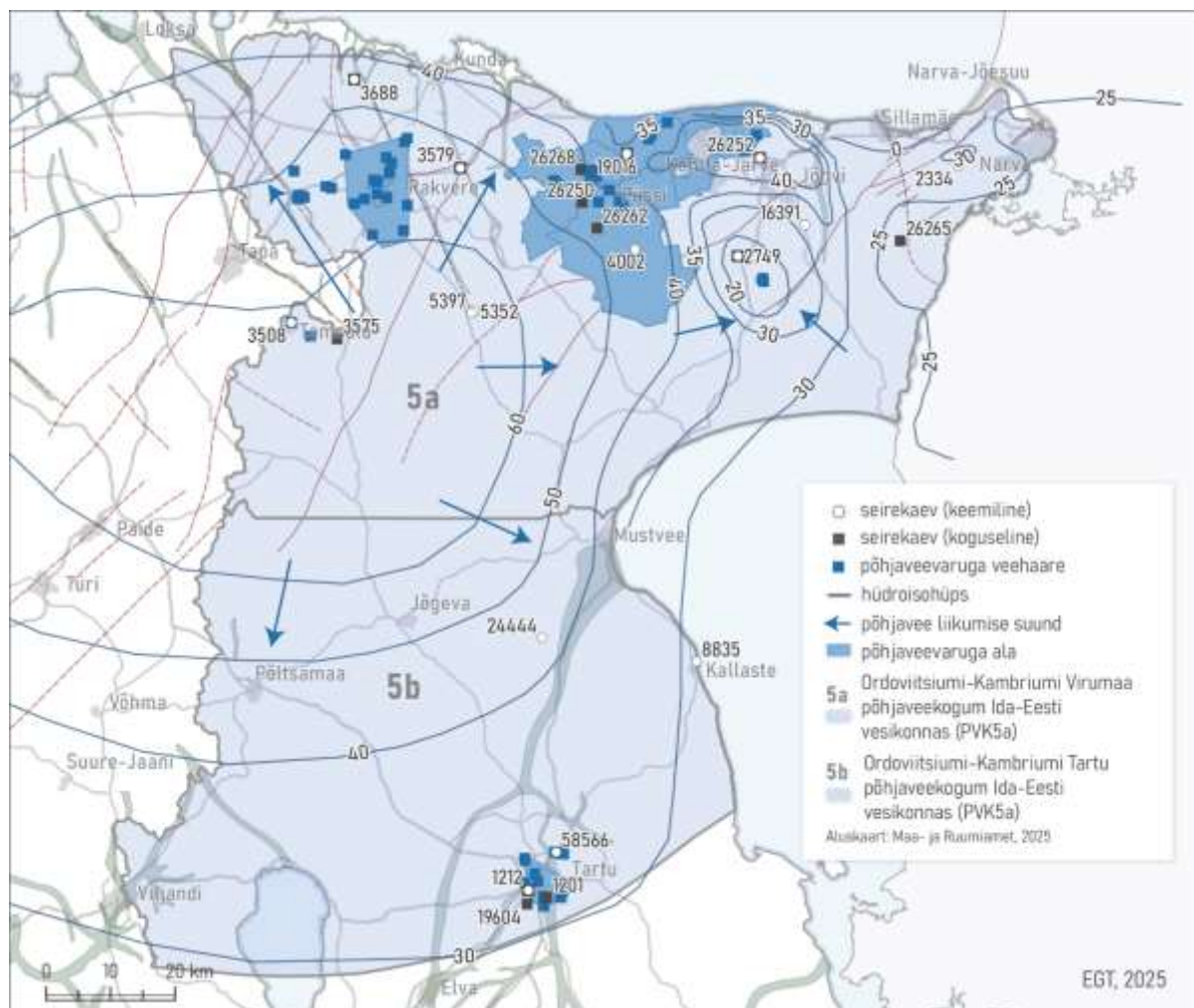
<u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega (Vainu jt., 2025)</u>	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • 1065900_1 Kudruküla
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_149 Tepelväljalt põhja poole jääv soomets • PSMÖS_150 Koljaku mäe alused soometsad • PSMÖS_210 Mahu soo kaguosa madalsoomets • PSMÖS_241 Vihula Loisult põhja jääv soomets • PSMÖS_242 Tahumuru-Palupera sood

<u>Seisundi hinnang</u> (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

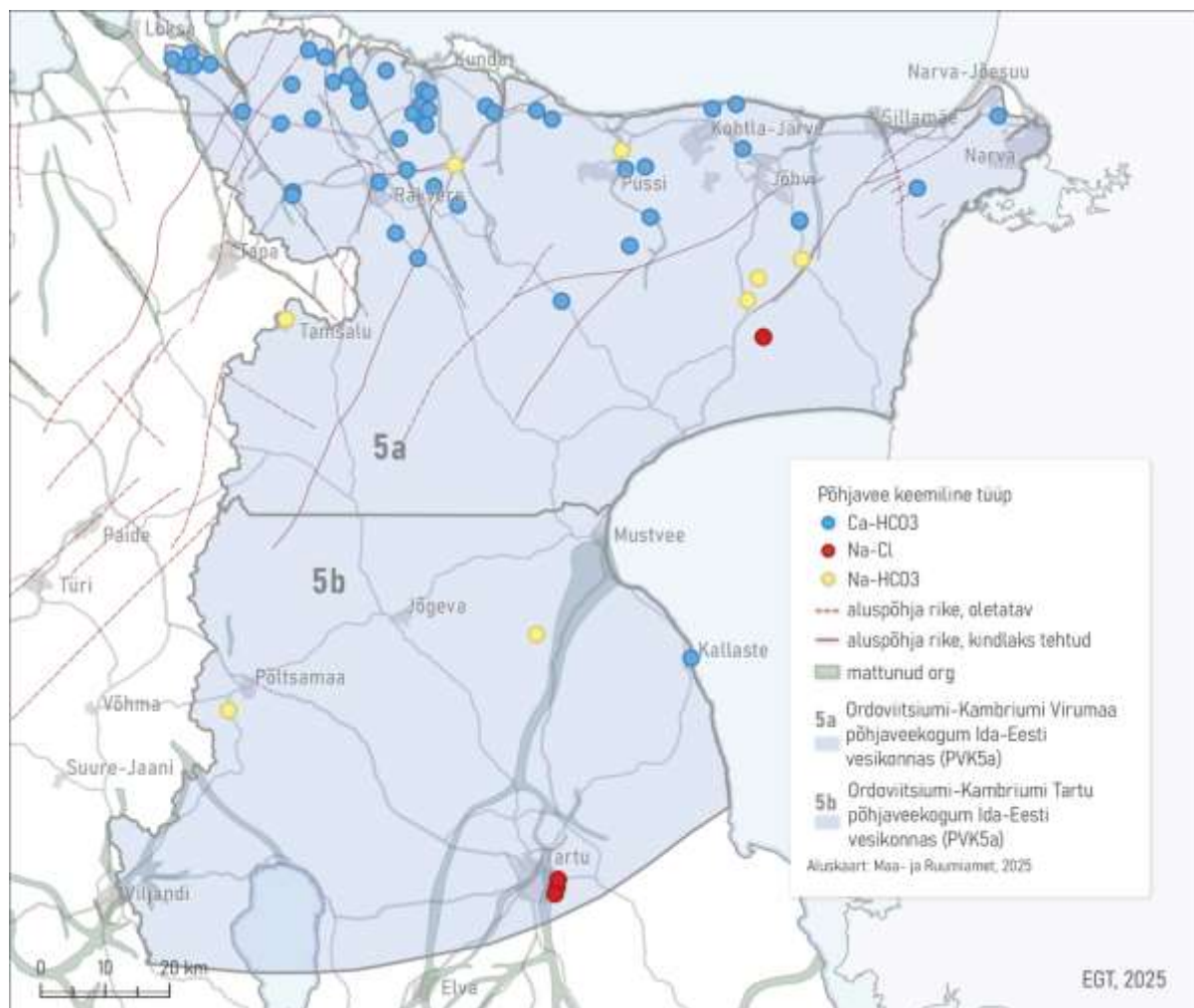
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	49519
	Põhjavee kinnitatud varu 2023.	7280
	Põhjaveevõtt 2023. a	2632
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	4648
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	42239
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	46888



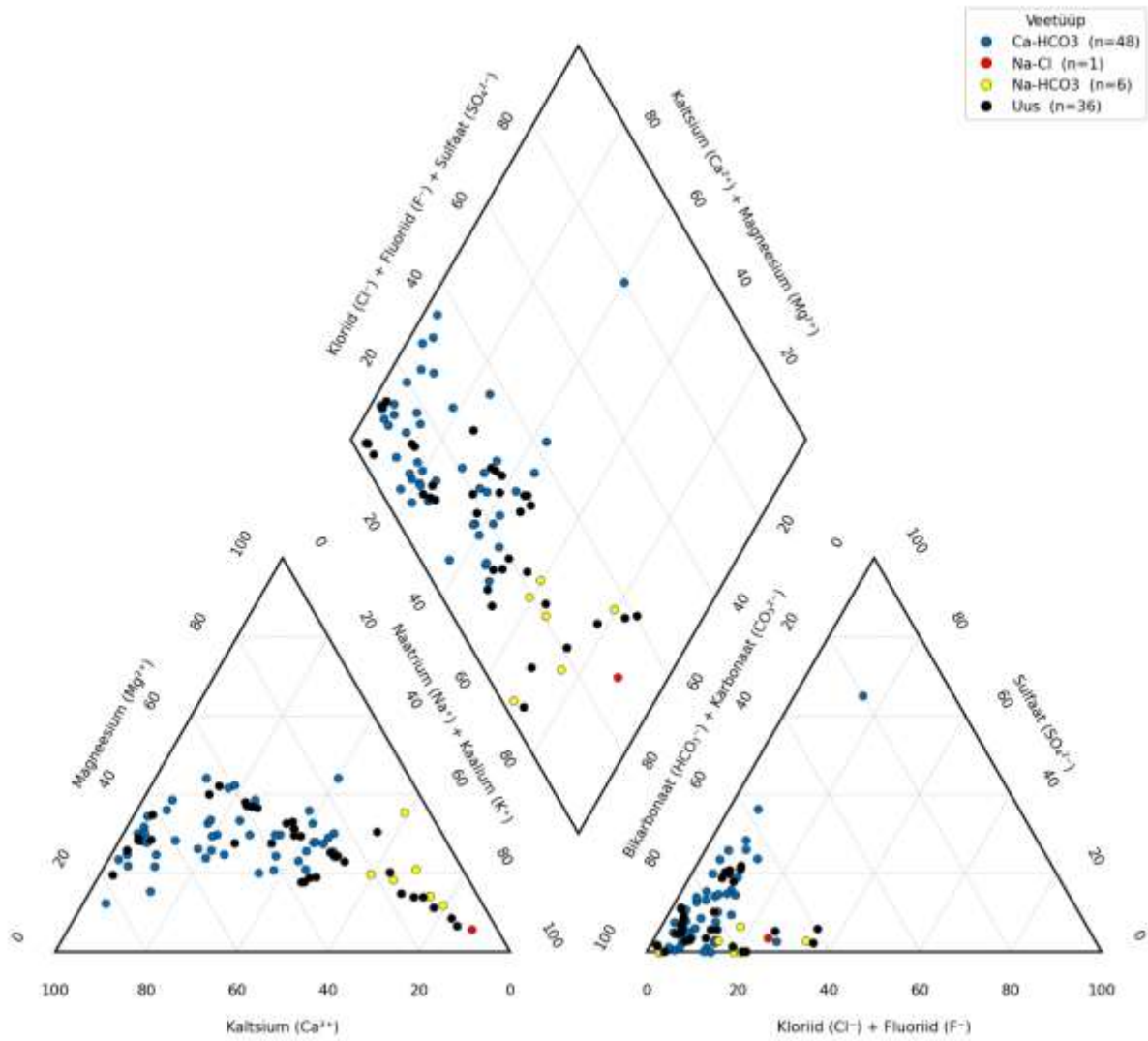
Joonis 1. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi (PVK nr. 5a) kontseptuaalse mudeli läbilõige. (a) Põhjaveekogumites valdava glatsiaalset päritolu põhjavee teke ja areng Pleistotseeni jääaegade ajal; (b) põhjaveekogumite kontseptuaalse mudeli läbilõige tänapäeval



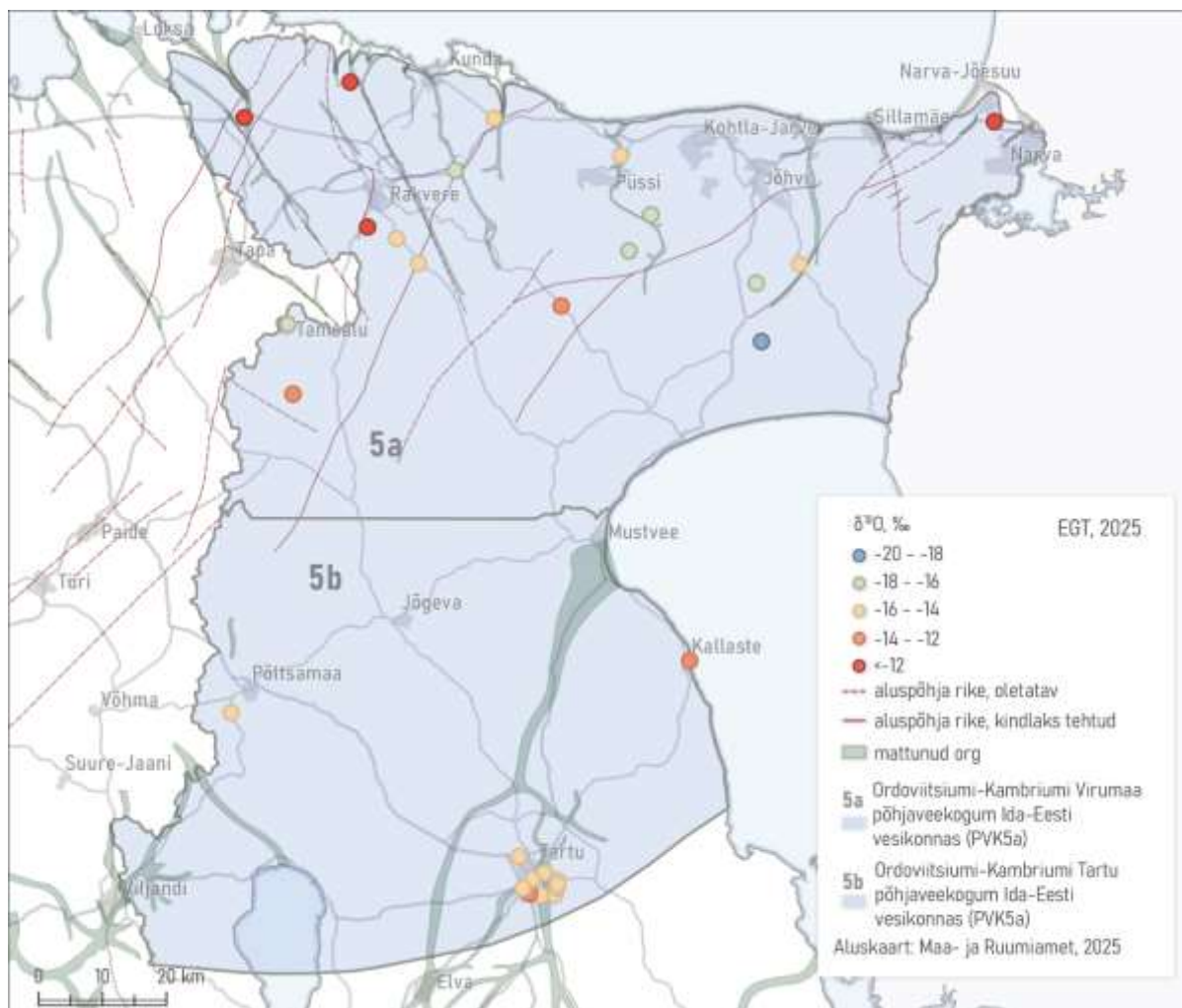
Joonis 2. Ordoiviitsiumi-Kambriumi Virumaa ja Tartu põhjaveekogumite pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012).



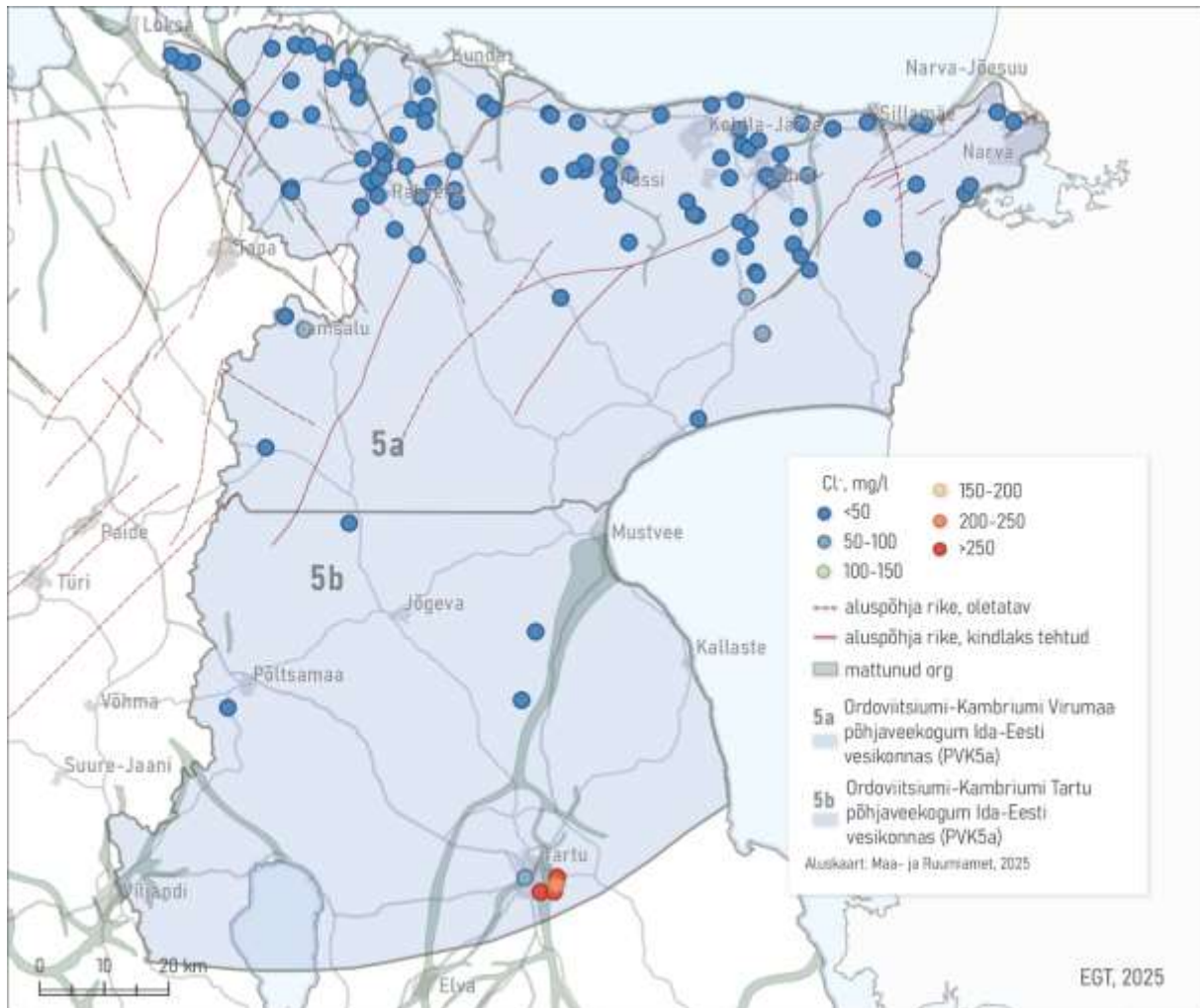
Joonis 3. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa ja Tartu põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



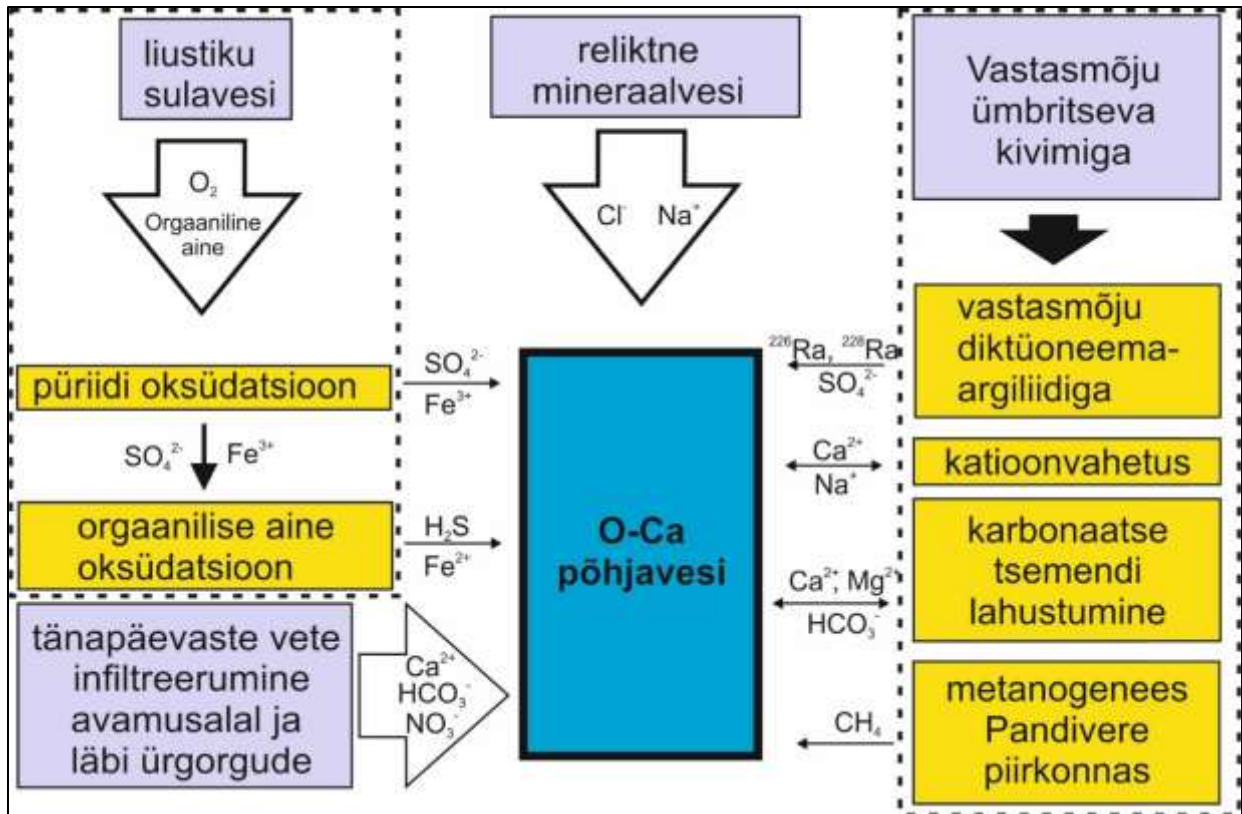
Joonis 4. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi



Joonis 5. Ordooviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr. 5a) ja Tartu (nr. 5b) põhjaveekogumite põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused).



Joonis 6. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr. 5a) ja Tartu (nr. 5b) põhjaveekogumite põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 7. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti vesikonna, Virumaa ja Tartu põhjaveekogumite (O-Ca; PVK nr. 4, 5a, 5b) põhjavee keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdrogeoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja-ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu. <https://virumudel.ut.ee/materjalid/>
- Mens, K., Pirrus, E., 1997. Cambrian. Kogumikus: Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 39–48.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Mokrik, R., Erg, K., 2016. The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin. Applied Geochemistry 72: 125–135.
- Pärn, J., Affolter, S., Ivask, J., Johnson, S., Kirsimäe, K., Leuenberger, M., Martma, T., Raidla, V., Schloemer, S., Sepp, H., Vaikmäe, R., Walraevens, K., 2018. Redox zonation and organic matter oxidation in palaeogroundwater of glacial origin from the Baltic Artesian Basin. Chemical Geology 488: 149–161.
- Pärn, J., Walraevens, K., van Camp, M., Raidla, V., Aeschbach, W., Friedrich, R., Ivask, J., Kaup, E., Martma, T., Mažeika, J., Mokrik, R., Weissbach, T., Vaikmäe, R., 2019. Dating of glacial palaeogroundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern Baltic Artesian Basin. Applied Geochemistry 102: 64–76.
- Raidla, V., Truu, M., 2022. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi Ida-Eesti vesikonnas hüdrogeoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jastšuk, 1995. Aruanne ordoviitsiumi-kambriumi veekihi põhjavee mikrokomponentide sisalduse ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Tšeban, E., 1966. Nõukogude Liidu hüdrogeoloogia. Köide XXX (Eesti NSV). (vene keeles)
- Vainu, M., Koit, O., Vandel, E., Lode, E. 2025. Uuring põhjaveest sõltuvate pinnaveekogumite ja maismaaökosüsteemide seoste kindlakstegemiseks ning ühiste kontseptuaalsete mudelite ja seirekava väljatöötamiseks. TLÜ Ökoloogia keskus, KIK projekt RES.4.10.24-0008.
- Vallner, L., 1997. Groundwater flow. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 145–152.

PVK 5b. Ordoviitsiumi-Kambriumi Tartu põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
5b	Ida-Eesti vesikond	Isoleeritud	Ordoviitsiumi-Kambriumi	Jõgevamaa Tartumaa	5192

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Peamisteks vettandvateks kivimiteks on kogumi põhjaosas Alam-Ordoviitsiumi vanusega Kallavere kihistu ning Alam-Kambriumi vanusega Tiskre kihistu aleuroliitne kuni peeneteraline kvartsliaakivi. Kogumi lõunaosas on vettandvateks kivimiteks Kesk-Kambriumi Paala kihistu peene- kuni keskmiseteraline glaukoniidi lisandiga liivakivi ja Vaki kihistu kvartsistunud aleuroliit (Väikmann, 1992; Mens & Pirrus, 1997).	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Põhjaveekogumi põhjapiiril on selle paksus ~30 m (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012). Põhjaveekogumi paksus kasvab lõuna suunas kuni 47 meetrini Tartus.	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille horisontaalsuunaline filtratsioonikoefitsient võib muutuda vahemikus 0,001–1,0 m/ööpäevas, vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10 ⁻⁹ –10 ⁻⁴ m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	1
	<i>Lamav veepide</i>	Eelpool (PVK nr. 1-4) kirjeldatud Alam-Kambriumi vanusega Lükati–Lontova (Cmlk–ln) vertikaalse filtratsioonikoefitsiendiga 10 ⁻⁸ –10 ⁻⁵ m/ööpäevas.	1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Kesk-Eestis Pandivere kõrgustiku läheduses absoluutkõrgusel 50–62 m (Perens & Vallner, 1997; Tamm & Leisk, 2024). Pandivere kõrgustikult eemaldudes langeb survepind radiaalselt lõuna- ja kagusuunas. Kohalik suurem alanduslehter on kujunenud intensiivsema veevõtuga Tartu linna ümber (Perens jt., 2012). Kogumi lõunaosas, kus levib suure mineraalsusega (kuni 1 g/L) põhjavesi, on põhjavee survepinnad kõrgemad (Perens & Vallner,	2

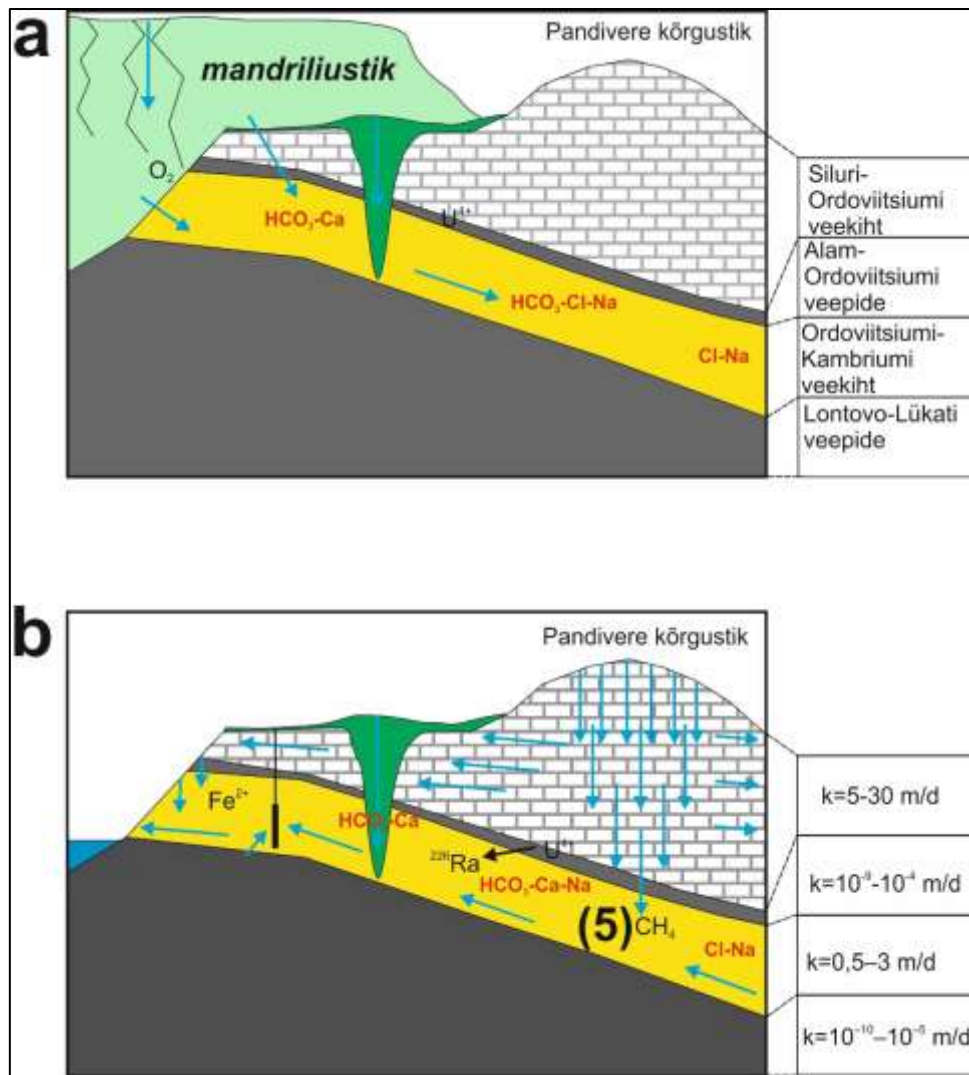
		1997). Tartus on survepind absoluutkõrgusel 33–35 m (Perens jt., 2012).	
<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Põhjavee looduslik liikumissuund põhjavee survepindade järgi on Pandivere kõrgustikult radiaalselt kirde ja kagu suunas (Perens jt., 2012). Vähesel määral infiltreerub põhjaveevool lamavasse Kambriumi–Vendi põhjaveekompleksi (Vallner, 1997). Põhjaveekogumi lõunaosas võib põhjavee voolusuund koos tarbimisega pöörduda lõunast ja kagust põhjasuunas.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjavee liikumise kiirus	Vettandvate kivimite lateraalne filtratsioonikoefitsient on vahemikus 0,5–3 m/ööpäevas ja väheneb lõuna suunas. Vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 0,05–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Liivakivi elastse veemahtuvuse koefitsient on $2,5 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-3}$ ja põhjaveekihtide veejuhtivus 20–50 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee looduslik liikumise kiirus veekompleksis on väga aeglane (Jõelet ja Polikarpus, 2018).	1
	Toitumine ja režiim	Põhjavee keemiline koostis osutab sellele, et veekogum kuulub mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse (Pärn, 2018; Jõelet & Polikarpus, 2018). Pandivere kõrgustiku ümbrus, mida iseloomustavad veekihi kõige kõrgemad survepinnad, kuulub samuti mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse, sest Ordoviitsiumi-Kambriumi põhjaveekompleksi jõudmiseks peab infiltreerunud vesi liikuma läbi Siluri–Ordoviitsiumi regionaalse veepideme. Põhjaveekogumi survepind sõltub tarbimisest. Kui survepind põhjavett ei tarbita, siis toimub põhjaveekihtides põhjavee survepindade tõus. Veevõtu korral survepind alaneb ja toitumine lasuvatest kihtidest suureneb (Perens jt., 2012).	2
<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	Kogumi põhjapoolses osas levib Na-HCO ₃ -tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,3-0,6 mg/L. Kogumi lõunaosas vee mineraalsus kasvab (kuni 1 g/L) ja Tartu joonest lõunas levib Na-Cl-tüüpi põhjavesi. Põhjavee vanusemäärangute järgi on Na-HCO ₃ - ja Na-Cl-tüüpi põhjavesi kogumis >20000 aastat vana ja	3, 4, 5, 6, 7

		<p>tegemist on sisuliselt taastumatu ressursiga (Pärn jt., 2019).</p> <p>Suuremal osal põhjaveekogumi levialast vastab vesi joogiveele kehtestatud kvaliteedinõuetele. Kogumi lõunaosas suureneb põhjavee kloriidi sisaldus 250 kuni 350 mg/L ja naatriumi sisaldus >200 mg/L, mis mõlemad ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldust (Pärn jt., 2016). Na-HCO₃-tüüpi vees esinevad kohati lubatud piirnormist kõrgemad looduslikud raua (>0,2 mg/L) ja F⁻ (>1,5 mg/L) kontsentratsioonid.</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Kogumi põhjavee isotoopkoostise järgi ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused ~ -14 kuni -16‰) ei pärine vesi tänapäevasest veeringest vaid jääaegadel Eesti ala katnud mandriliustike sulavetest (Pärn jt., 2019) ja vanemast Na-Cl-tüüpi suure mineraalsusega põhjaveest. Kõige olulisemad keemilised protsessid, mis on mõjutanud põhjavee keemilise koostise kujunemist, on karbonaatsete mineraalide (dolomiit, kaltsiit) lahustumine, katioonvahetus ja erineva kvaliteediga põhjavee segunemine. Enam on katioonvahetusest mõjutatud liustikutekkeline Na-HCO₃-tüüpi põhjavesi.</p>	8

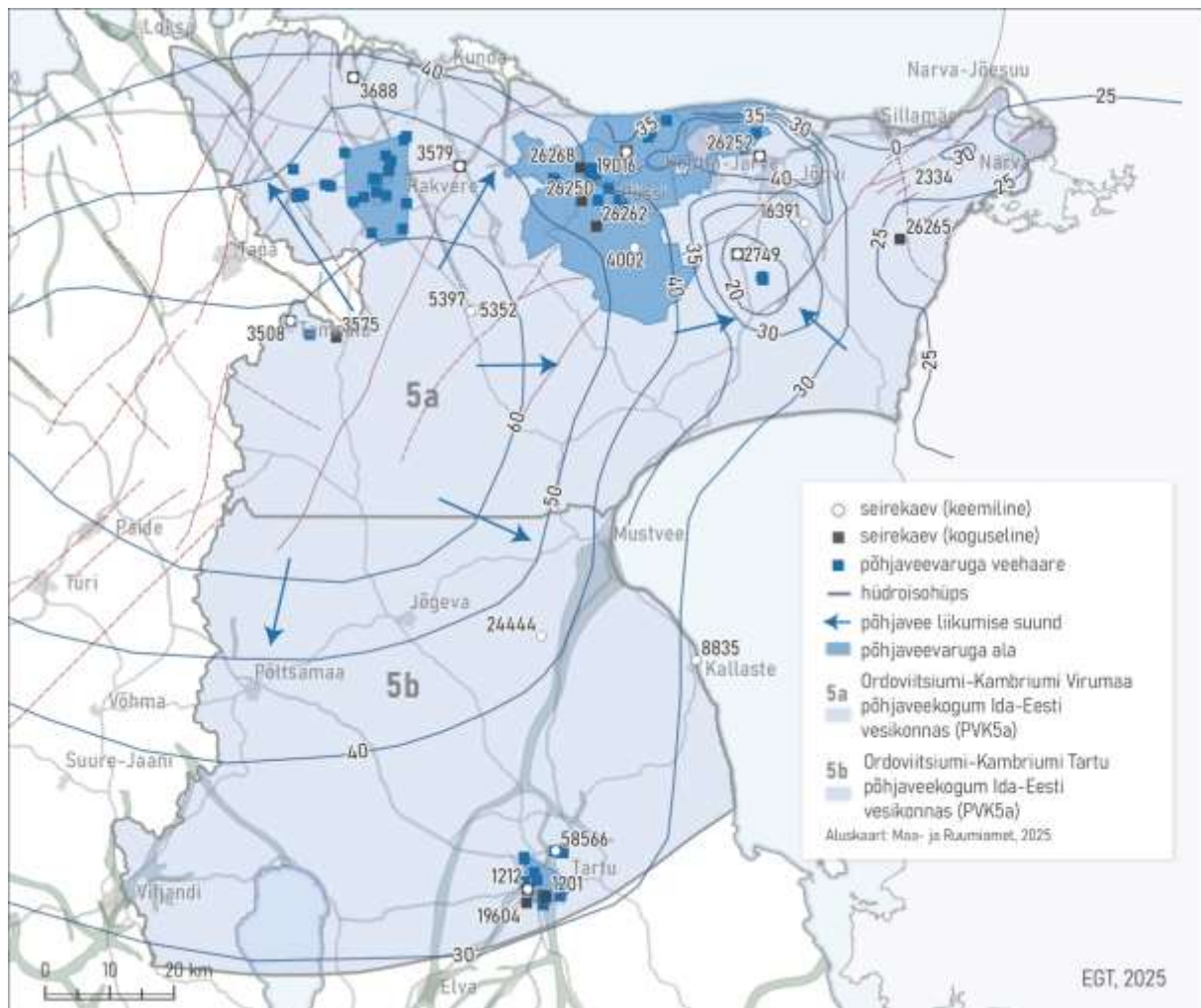
<p>Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega</p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

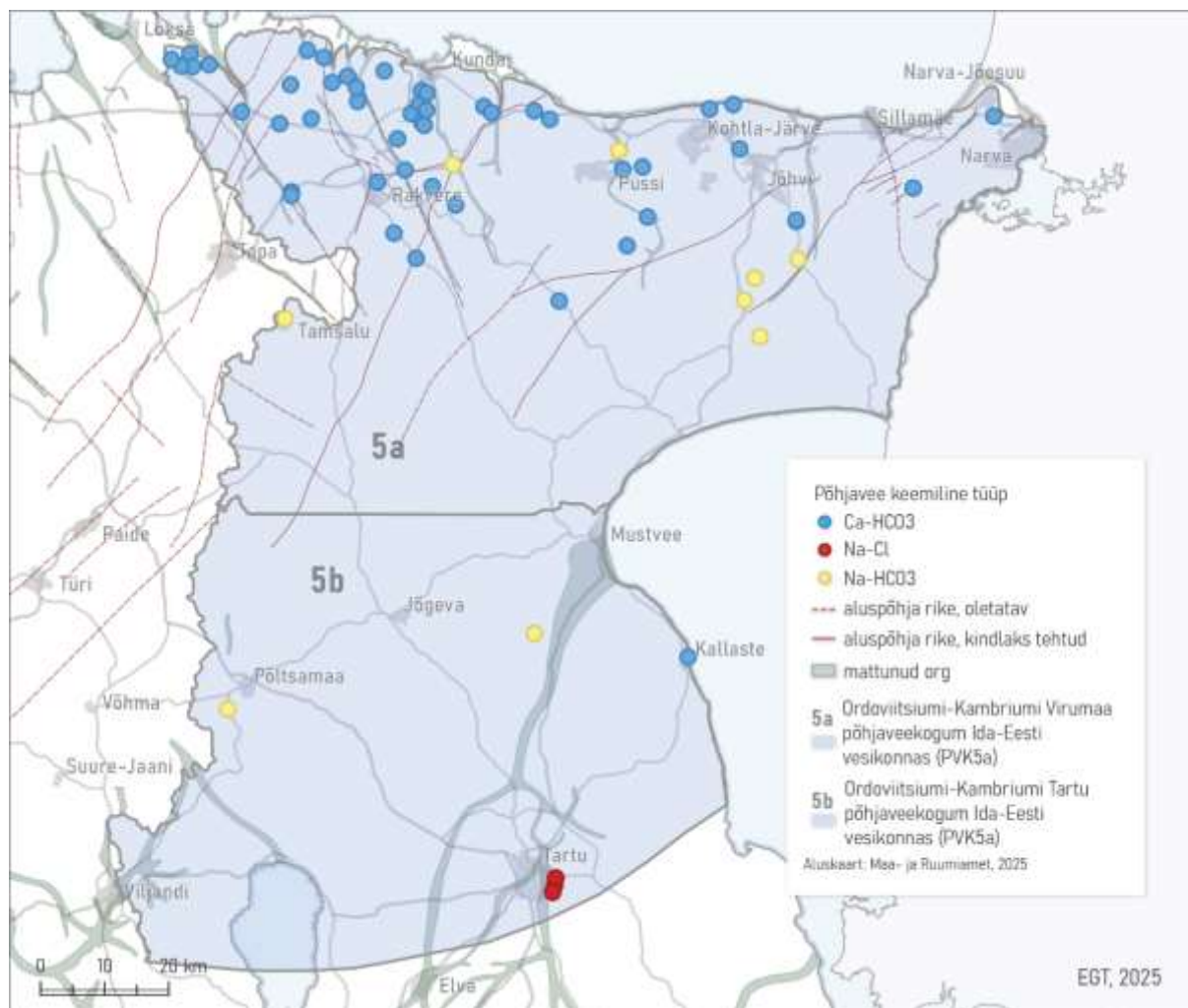
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	4208
	Põhjavee kinnitatud varu 2023. a	9250
	Põhjaveevõtt 2023. a	2749
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	6501
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	-5042
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	1459



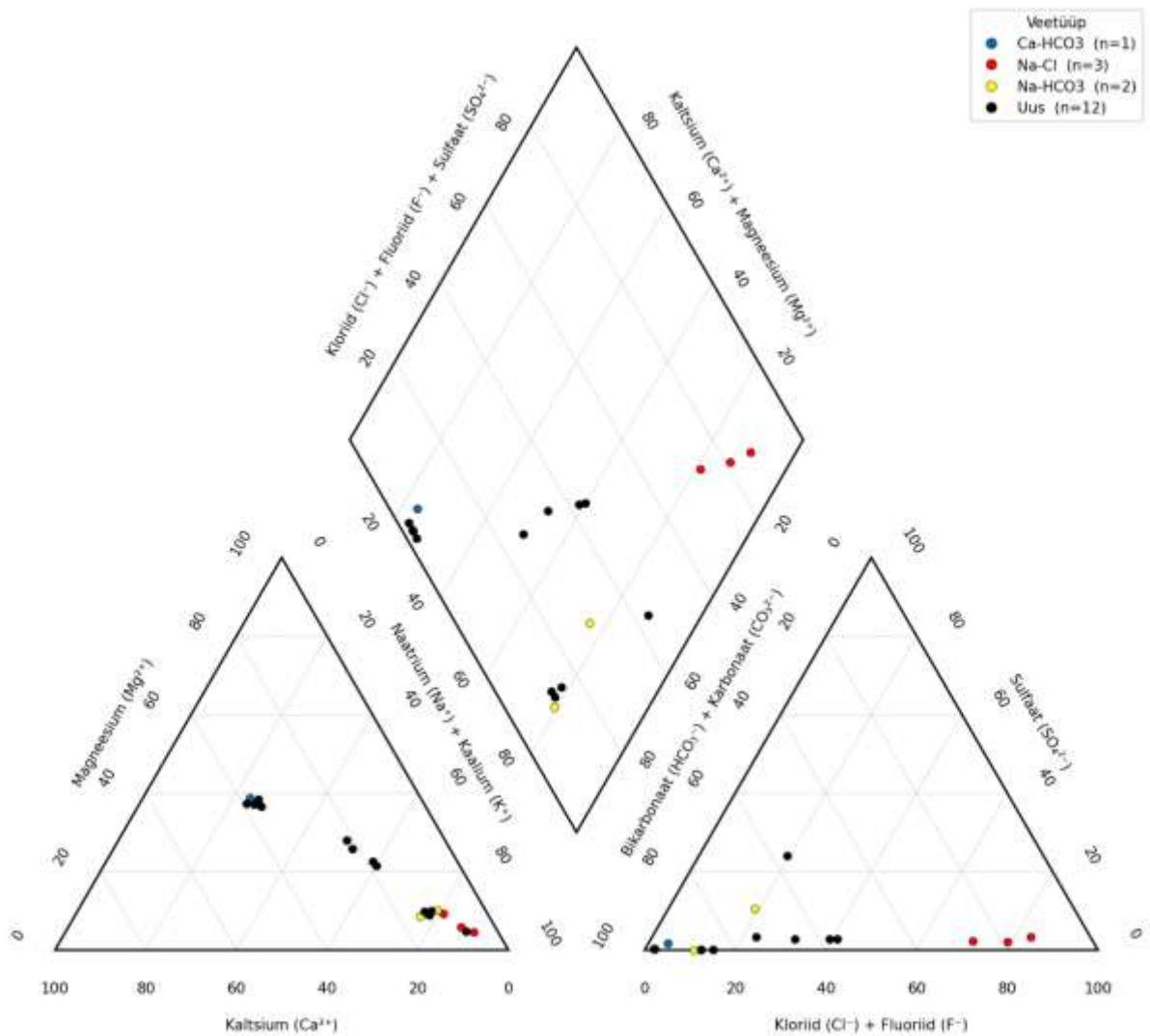
Joonis 1. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa põhjaveekogumi (PVK nr. 5a) kontseptuaalse mudeli läbilõige. (a) Põhjaveekogumites valdava glatsiaalset päritolu põhjavee teke ja areng Pleistotseeni jääaegade ajal; (b) põhjaveekogumite kontseptuaalse mudeli läbilõige tänapäeval



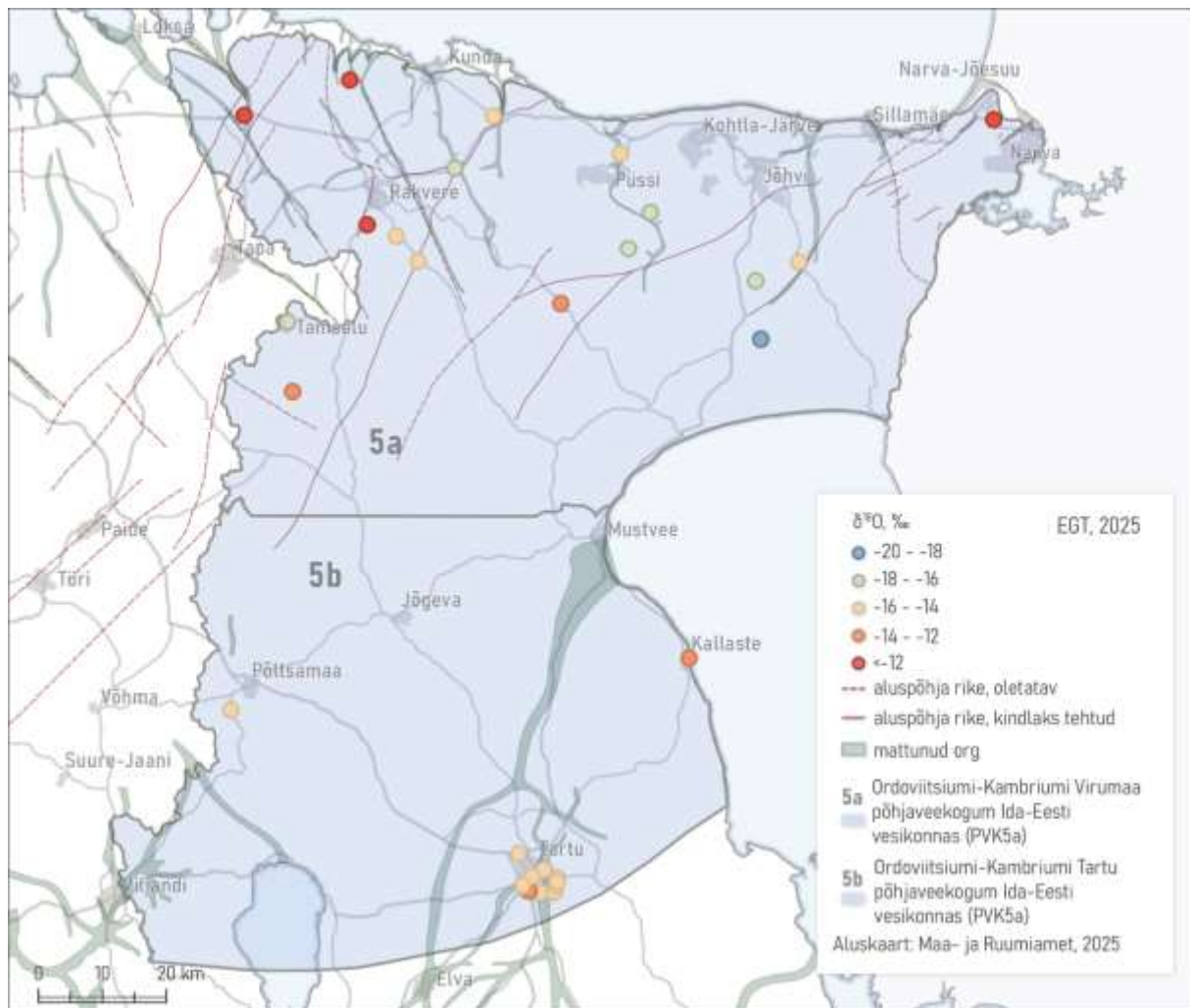
Joonis 2. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa ja Tartu põhjaveekogumite (PVK nr. 5a ja 5b) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012).



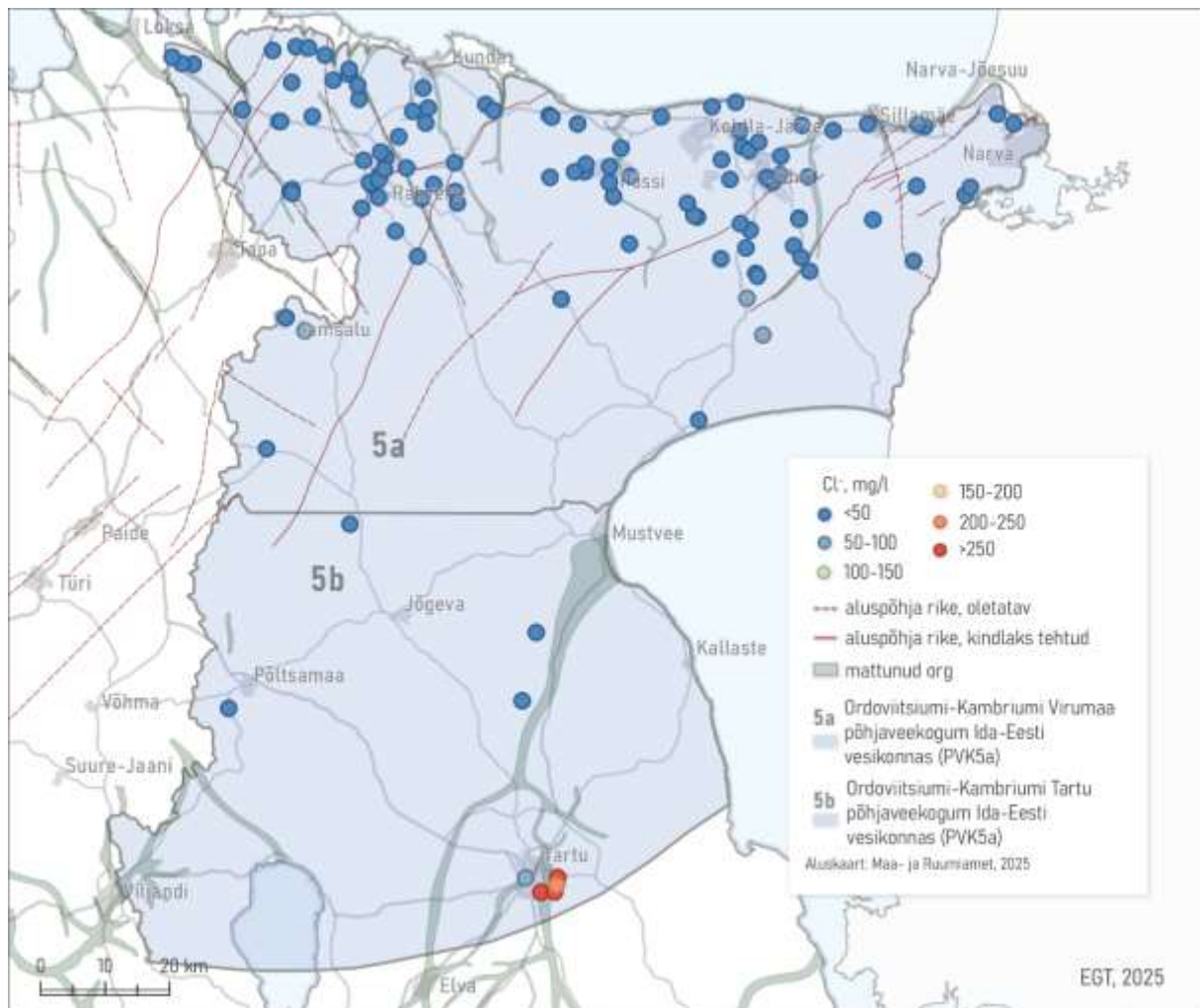
Joonis 3. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa ja Tartu põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



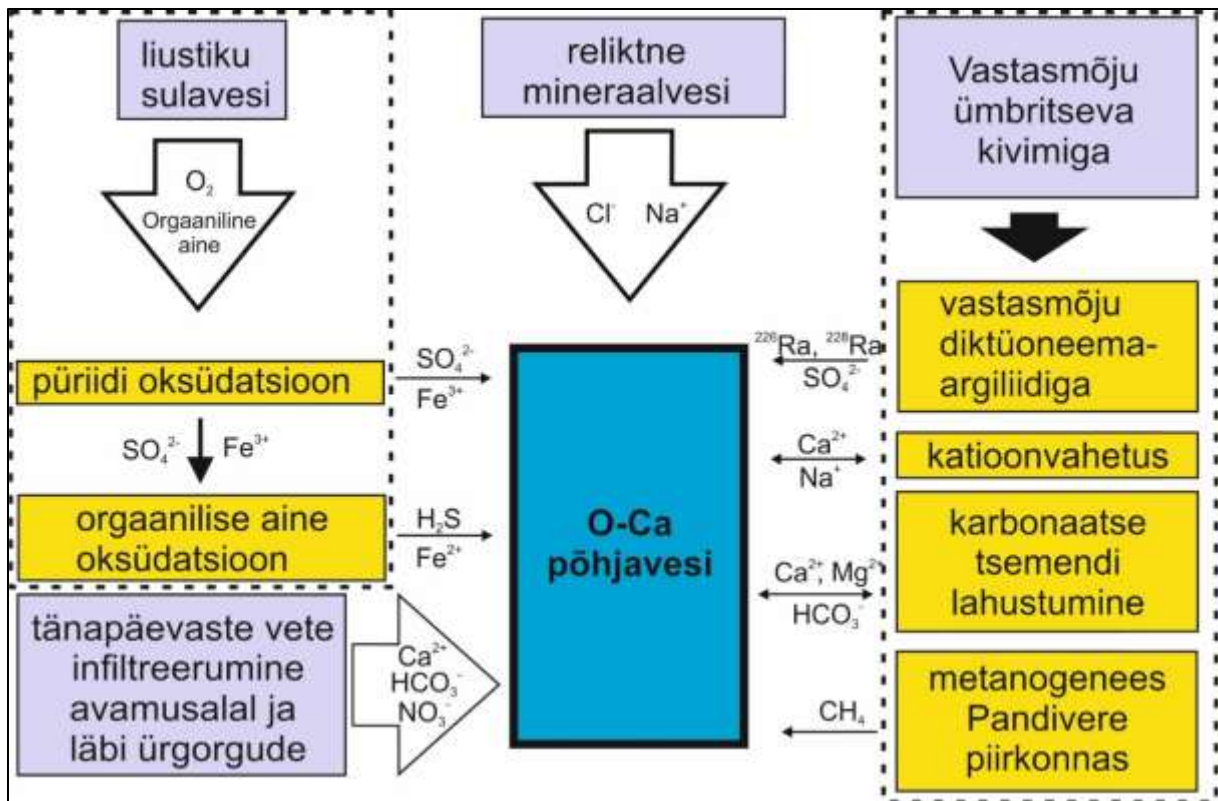
Joonis 4. Ordoviitsiumi-Kambriumi Tartu põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi



Joonis 5. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr. 5a) ja Tartu (nr. 5b) põhjaveekogumite põhjavee isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused).



Joonis 6. Ordoviitsiumi-Kambriumi Virumaa (nr. 5a) ja Tartu (nr. 5b) põhjaveekogumite põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 7. Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti vesikonna, Virumaa ja Tartu põhjaveekogumite (O-Ca; PVK nr. 4, 5a, 5b) põhjavee keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdrogeoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu. <https://virumudel.ut.ee/materjalid/>

Mens, K., Pirrus, E., 1997. Cambrian. Kogumikus: Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 39–48.

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

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

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

Vallner, L., 1997. Groundwater flow. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 145–152.

Väikmann, S., Savva, V., Otsmaa, M., Boldõreva, N., Simm, D., 1992. Tartu põhjaveevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

PVK 6. Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
6	Ida-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamusalal	Kvaternaari, Ordoviitsiumi	Ida-Virumaa	2099

				JOONIS
Hüdrogeoloogiline iseloomustus	Kivimite litoloogiline koostis	Vettandvad kivimid on lubjakivid ja dolomiidid, mis on kohati tugevasti karstunud ja lõhelised (eriti 30 m paksune maapinnalähedane osa). Lisaks kuuluvad kogumi koosseisu karbonaatkivimitel lasuvad Kvaternaari põhjaveekihtid. Vanuseliselt haaravad põhjaveekogumi kivimid peaaegu kogu Ordoviitsiumi läbilõike Kunda lademest kuni Porkuni lademeni. Piirkond on hüdrostratigraafiliselt hästi uuritud ning eristatakse järgmisi hüdrostratigraafilisi üksusi. <i>Nabala-Rakvere põhjaveekiht (O_{3nb}-O_{3rk})</i> , mis esineb Nabala ja Rakvere lademe lõhelistes, kavernoosetes, kohati dolomiidistunud ja karstunud lubjakivides. Selle all paikneb Oandu lademe savikas lubjakivi ja mergel (<i>O_{3on}-O_{3kl}</i>) mis toimib kui veepide. Maapinnalt järgmine <i>Keila-Kukruse põhjaveekiht (O_{3kl}-O_{3kk})</i> esineb Keila, Haljala ja Kukruse lademe lõhelistes ja kohati kavernoosetes dolomiidistunud lubjakivides. Keila-Kukruse veekihi lamavaks veepidemeks on Uhaku lademe savikas ja tihe lubjakivi (<i>O_{2uh}</i>). Uhaku veepideme all paikneb <i>Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht (O_{2ls}-O_{2kn})</i> , mis esineb Lasnamäe, Aseri ja Kunda lademe lubjakivides ja dolomiitides.	1	
	Kogumi paksus	Paksus suureneb lõuna suunas 8–10 m Põhja-Eesti klindil kuni 80–90 meetrini Peipsi järve ääres.	1	
	Lasuv veepide	Põhjaveekogumi lasuv veepide on äärmiselt ebaühtlane. Ida-Viru põlevkivibasseinist põhja pool lasuv veepide praktiliselt puudub ja vettandvad kivimid on kaetud suhteliselt õhukese glatsiaalse päritoluga, valdavalt moreenist koosneva pinnakattega. Põhjaveekogumi lõunaosas on moreeni ja limnoglatsiaalse geneesiga savide levik laiem, moodustades paiguti kohalikke veepidemeid.	1	

		Nimetatud setete ja kivimite filtratsioonikoefitsient on vahemikus 0,01–1,0 m/ööpäevas. Kogumi idaosas lasub veekihil ka Kesk-Devoni Narva lademe sporaadiliselt vett andev põhjaveekiht, mis kohati moodustab lasuva veepideme (vertikaalne filtratsioonikoefitsient 10^{-4} - 10^{-5} m/ööpäevas).	
	Lamav veepide	Ordoviitsiumi karbonaatkivimites levivad põhjaveekihtid on sügavamast liivakivikompleksist eraldatud Alam-Ordoviitsiumi veepidemega ($O_2v/-O_1pk$). See koosneb Volhovi lademe savikatest glaukoniitlubjakividest ja -liivakividest ning Pakerordi lademe graptoliitargilliidist. Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997; Marandi jt., 2013).	1
	Põhjavee survepind	Põhjaveetase jälgib suures osas maapinna reljeefi. Suuremal osal alast on põhjaveetase 1–3 m sügavusel maapinnast.	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Looduslikult voolaks põhjavesi veekogumis kõrgendikelt eemale kohaliku vooluveevõrgu, Soome lahe, Narva jõe või Peipsi järve suunas. Lokaalselt mõjutab põhjavee voolusuunda enim Jõhvi kõrgustik. Lisaks sellele mõjutavad uuringuala hüdrogeoloogilisi tingimusi aluspõhja lõikunud ürgorud ja tektoonilised rikkevööndid. Mattunud ürgorud on looduslikes tingimustes põhjavee täiendavateks toiteallikateks, tektoonilised rikkevööndid on aga pigem lateraalset põhjavee voolamist takistavateks veepidemeteks (Savitski, 2000). Põhjavee voolusuunad võivad olla mõjutatud kaevandustegevusest kogumiga piirnevas põhjaveekogumis nr 7.	2
	Filtratsioonikoefitsient	Vettandvad kivimid on lubjakivid ja dolomiidid, mis on kohati tugevasti karstunud ja lõhelised (ülemine, 30 m paksune osa) ja vesi liigub vettandvate kivimite lõhedes. Lõhede ja karstivormide pindalaline ja vertikaalne levik on ebaühtlane (Hang jt., 2012). Põhjaveekogumi karbonaatkivimite ülemises, kuni 20 m paksuses osas on filtratsioonikoefitsient 5–30 m/ööpäevas, sügavusvahemikus 20–50 m 3–5 m/ööpäevas ning sügavamal kui 50 m 1–2 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Kihtidevahelise vertikaalse põhjavee liikumise kiiruseks on hinnatud 0,001–1	1

		m/ööpäevas. Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus oleneb avatud intervalli sügavusest ja on võrdlemisi muutlik. Valdavalt on kivimite veejuhtivus 30–300 m ² /ööpäevas. Erinevate vett hästi juhtivate kihtide vahel esinevad Ordoviitsiumi ladestu geoloogilises läbilõikes savikas lubjakivi ja mergel, mis on plastsemad ja vähem lõhelised ning moodustavad põhjaveekihtide vahel lokaalseid veepidemeid (Savitski, 2000).	
	Toitumine ja režiim	Põhjaveekogum toitub avamusalal läbi pinnakatte infiltreeruvast sademeveest ja idaosas Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogumi veest. Uuringualal levivate põhjaveekihtide toitealaks on peamiselt Pandivere ja Jõhvi kõrgustikud. Esimene moodustab regionaalse toiteala ning teine on lokaalseks toitealaks, mis mõjutab põhjavee dünaamikat selle lähiümbruses (Hang jt., 2012). Ka mattunud ürgorud võivad looduslikes tingimustes olla põhjavee täiendavateks toiteallikateks (Savitski, 2000). Väljavoolualadeks on pinnaveekogud. Põhjaveekogumis esineb karstinähtusi (Uhaku karstiala Lüganuse vallas).	2

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	Valdavalt on põhjaveekogumi esimesed aluspõhjalised põhjaveekihid maapinnalt lähtuva reostuse ees kaitsmata või nõrgalt kaitstud (Tamm ja Leisk, 2024). Põhjaveekogum on laia levikuga ja selle moodustavad mitu üksteisest veepidemetega eraldatud põhjaveekihti, mistõttu on kogumi põhjavee keemiline koostis küllaltki varieeruv. Kogumi kitsas põhjaosas esineb valdavalt Ca-HCO ₃ -tüüpi põhjavesi, lahustunud mineraalainete sisaldusega 0,3–0,8 g/L. Lõunapool hakkab koos põhjaveekihtide lasumussügavuse suurenemisega kasvama ka Na-HCO ₃ -tüüpi põhjavee osakaal. Sulfaadi sisaldused on kogumis loodusliku taseme lähedased (keskmine sisaldus ~15 mg/L). Taustatasemest kõrgemat SO ₄ -sisaldust on täheldatud põlevkivikarjääride läheduses ja kaevudes, mis paiknevad kaevandusvetest mõjutatud Purtse jõe kallastel. Tingituna eelkõige soode laiast levikust ja põhjavee looduslikust anoksilisest keskkonnast, on joogivee piirsisaldustest suuremad NH ₄ ⁺ (kuni 3 mg/L), mangaani (kuni 0,4 mg/L), raua (kuni 8,5 mg/L) sisaldused ja KHT _{Mn} (kuni 20 mg/L). Raua sisaldused on	3, 4, 5
-------------------------	--------------------------	--	---------

		<p>kõrged eelkõige põhjaveekogumi Lasnamäe-Kunda veekihi, kus peale anoksilised tingimuste ja esineb ümbriskivimis raudoiide (Raidla jt., 2023).</p> <p>Kuigi varasematel aastatel on kogumi seirekaevudest korduvalt leitud nii fenoole kui naftasaadusi, on viimastel aastatel neid registreeritud üsna vähe (Tamm ja Leisk, 2024). Ka PAH-e on kogumist leitud korduvalt, kuid nende kogused on enamasti väga väikesed ($\sum\text{PAH}_{16} < 0,04 \mu\text{g/L}$; Raidla jt., 2023). Lisaks on Lüganuse kaevudes leitud kõrgemaid arseeni sisaldusi (kuni $11 \mu\text{g/L}$). Arseni täpsem päritolu on teadmata (Raidla jt., 2023).</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Sarnaselt sügavamatele Ordoviitiumi-Kambriumi põhjaveekogumile nr 5a on ka kogumi nr 6 põhjavee keemiline koostis oluliselt mõjutatud viimasest jääajast (Raidla jt., 2023). Liustikulise päritoluga põhjavee esinemist võib täheldada juba Sonda-Auvere joonel, kuid laialdaselt on see põhjavesi esindatud kogumi lõunaosas Lasnamäe-Kunda veekihi. Mõningaid liustikulise põhjavee ilmingud on tuvastatavad ka sügavamates Keila-Kukruse puurkaevudes kogumi kaguosas. Liustikulisele põhjaveele on iseloomulik Na-HCO₃ veetüüp, mis on kujunenud Ca²⁺ sorbeerumisel savimineraalidel mille tulemusena on vette tõrjutud Na⁺. Kogumi põhjaosas ja madalamates lõunaosa kaevudes on kogumi keemilist koostist valdavalt mõjutanud karbonaatkivimite lahustumine, mille tulemusel on kujunenud sellele põhjaveele iseloomulikud suured HCO₃⁻, Ca²⁺ ja Mg²⁺ sisaldused ning suur karedus. Kogumi kitsal põhjaosal ja Vasavere ürgoru piirkonnas täheldatud kõrgemad SO₄²⁻ sisaldused pärinevad piirkonna kaevandustest ja poolkoksi ladestutelt. Kogumis esinevad kõrged Ba²⁺ sisaldused on looduslikud ning ilmselt seotud tektooniliste rikutega, kust maapõue tunginud liustikuveed on minevikus Ba²⁺ välja leostanud ja kandnud rikketest lõunapoole (Raidla jt., 2023). Liustiku taandumisel ja tavapäraste põhjavee voolusuundade taastumisel kandus Ba²⁺ ka põhjapoole rikkeid. Hiljem on Ba²⁺ sisaldused vähenenud tänu lahjendumisele tänapäevaste põhjavetega ja kokkupuutest SO₄²⁻ rikka kaevandusveega, mis soodustab Ba²⁺ väljasettimist.</p>	6

		<p>Kogumi lõunapoolsetes sügavamates veekihtides on aga säilinud esialgsed kõrged Ba²⁺ sisaldused.</p> <p>Orgaaniliste saasteainete (nt naftasaadused, fenoolid, PAH-d) leiud kogumi põhjaosas, kus kogumi piirile jäävad poolkoksiladestud ja mida läbib suure liikluskoormusega maantee, on eeldatavad. Seevastu on vastavad leiud kogumi hõreda asustusega lõunaosas seotud kas sekundaarse saastumisega proovivõtul või muude metoodiliste probleemidega kui reaalse põhjavee saastumisega. PAH esinemine kogumis on laialdane, kuid väikesed sisaldused viitavad nende loodulikule päritolule metsapõlengutest, kaugkandest (nt vulkaanipursete tolm atmosfääris) ja/või on tegemist paleo-PAH-ga põlevkivimi formeerumise ajast. Kogumi põhjaosas pärineb osa PAH kindlasti ka põlevkivitööstuse kuumutusprotsessidest. (Raidla jt., 2023)</p>	
--	--	---	--

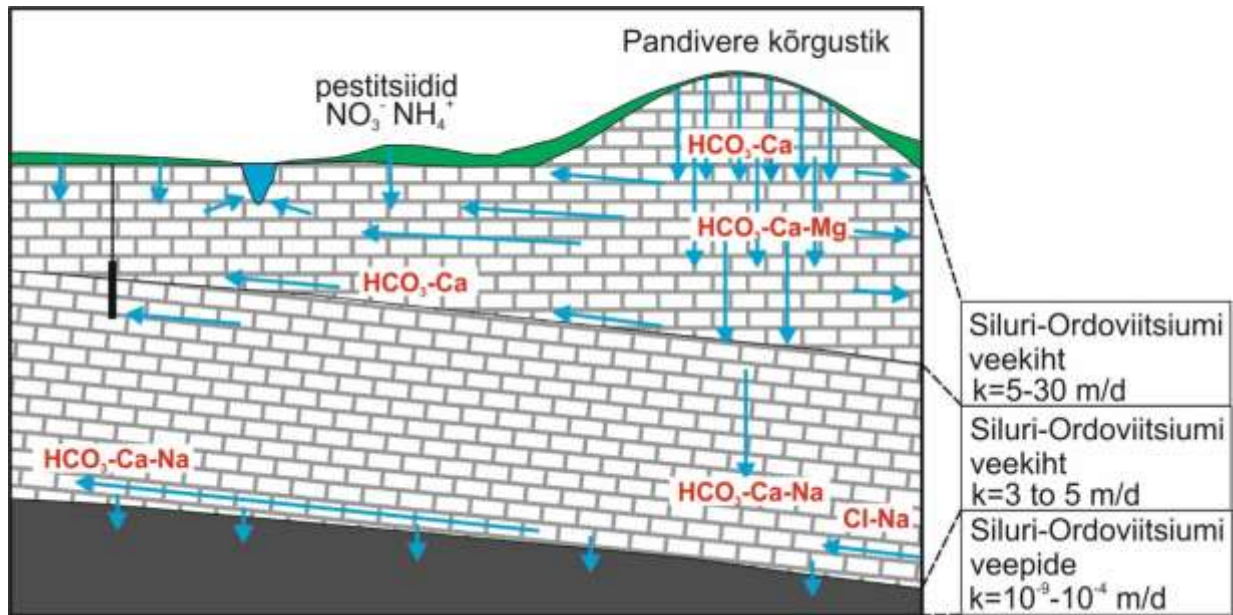
<p><u>Seosed pinnal- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1061300_1 Alajõgi lähtest Imatu oja • 1070200_1 Erra • 1069700_1 Hirmuse • 1070100_1 Kiviõli • 1071600_1 Meriküla • 1059200_1 Mäetaguse • 1058700_2 Rannapungerja Millojast Tudulinna paisuni • 1066100_1 Udria
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • VEE2014100 Uljaste järv

	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_167 Sirtsu sood ümbritsevad soometsad • PSMÖS_168 Lümätu soo • PSMÖS_169 Tedresoo • PSMÖS_173 Kaasiksoo • PSMÖS_177 Seli soo • PSMÖS_178 Ratva raba • PSMÖS_179 Muraka raba idaosa soometsad • PSMÖS_198 Agusalu järvede tagused soometsad • PSMÖS_199 Smolnitsa luitestiku soometsad • PSMÖS_204 Konsu kanali äärsed soometsad • PSMÖS_207 Kestla soo kaguosa soomets • PSMÖS_208 Pada Kuresoo
--	-----------------------------------	--

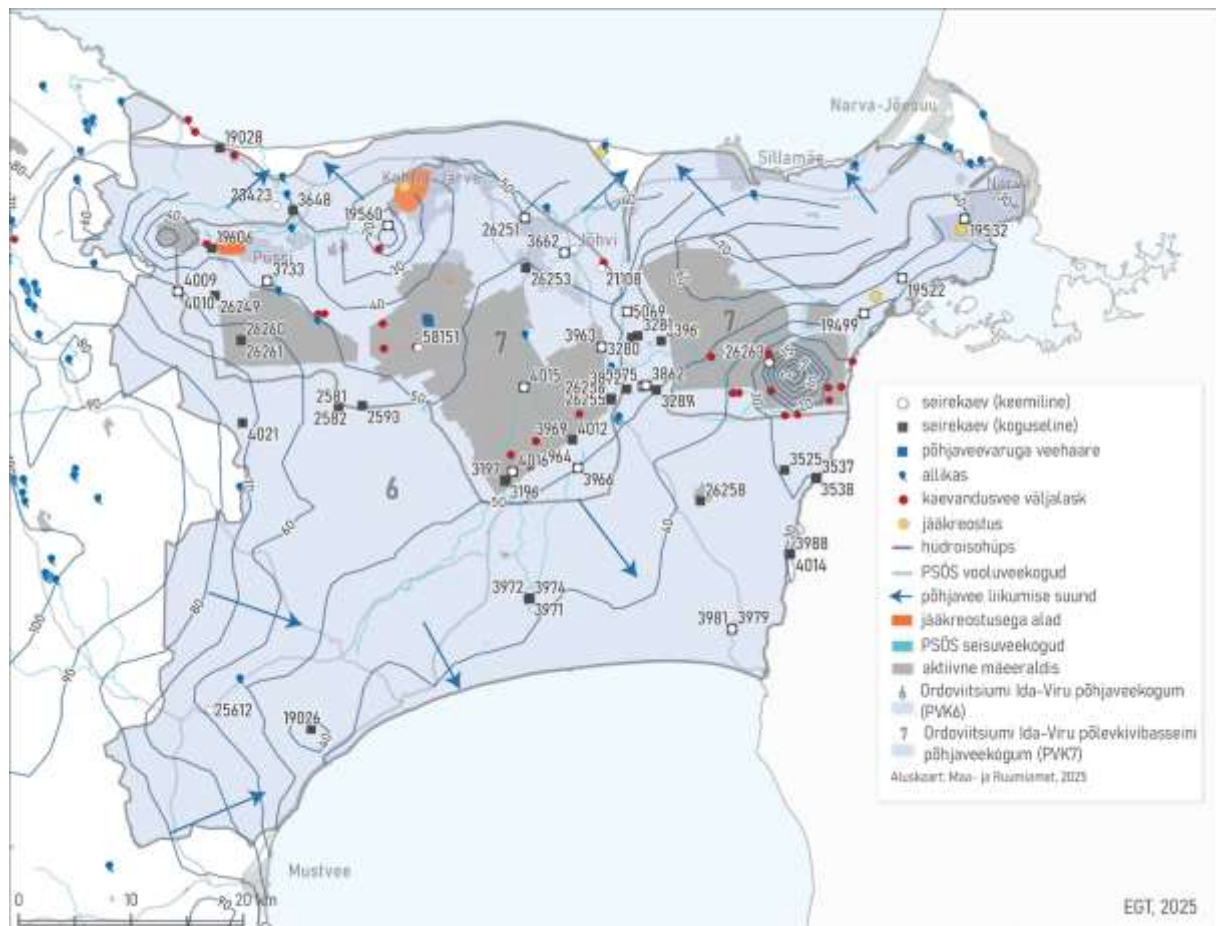
Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	<p>Halb</p> <p>1-aluseliste feenoolide summa aastakeskmised väärtused tunduvalt kõrgemad kehtestatud läviväärtusest. Seisundi hinnang on madala usaldusväärsusega 1-aluseliste feenoolide väheste määrangute ning seireperioodi jooksul muutunud laboratoorsete meetodikate tõttu.</p> <p>Test 3 tulemusel on PVK 6 ohustatud Ba sisalduste tõttu lähtuvalt pinnaveekogumite seisundist.</p> <p>Järgneval veemajanduskava perioodil peab selgitama NH_4^+ ja PHT_{Mn} kõrgete sisalduste ja nende tõusutrendide esinemise põhjused PVK 6-s. Lisaks on vaja uuringut, mis seletab Ba allika antud põhjaveekogumis ning põhjaveekogumiga seotud pinnavees.</p>
	Üldseisund	Halb

Põhjaveevarud (m^3 /ööpäevas)	Looduslik ressurss	285853
	Põhjavee kinnitatud varu	-

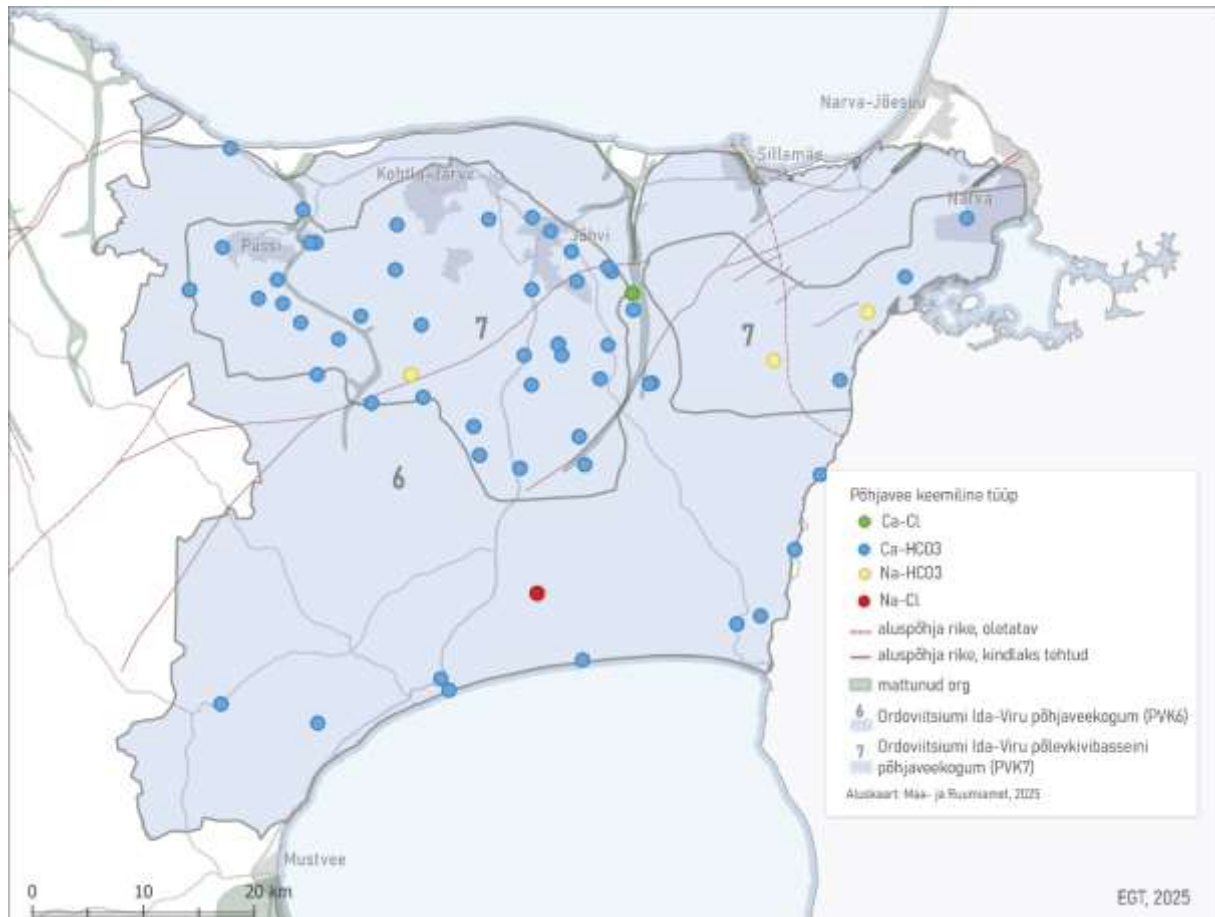
	Põhjaveevõtt 2023. a	434
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-434
	Minimaalne looduslik vaba ressurs	285853
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	285419



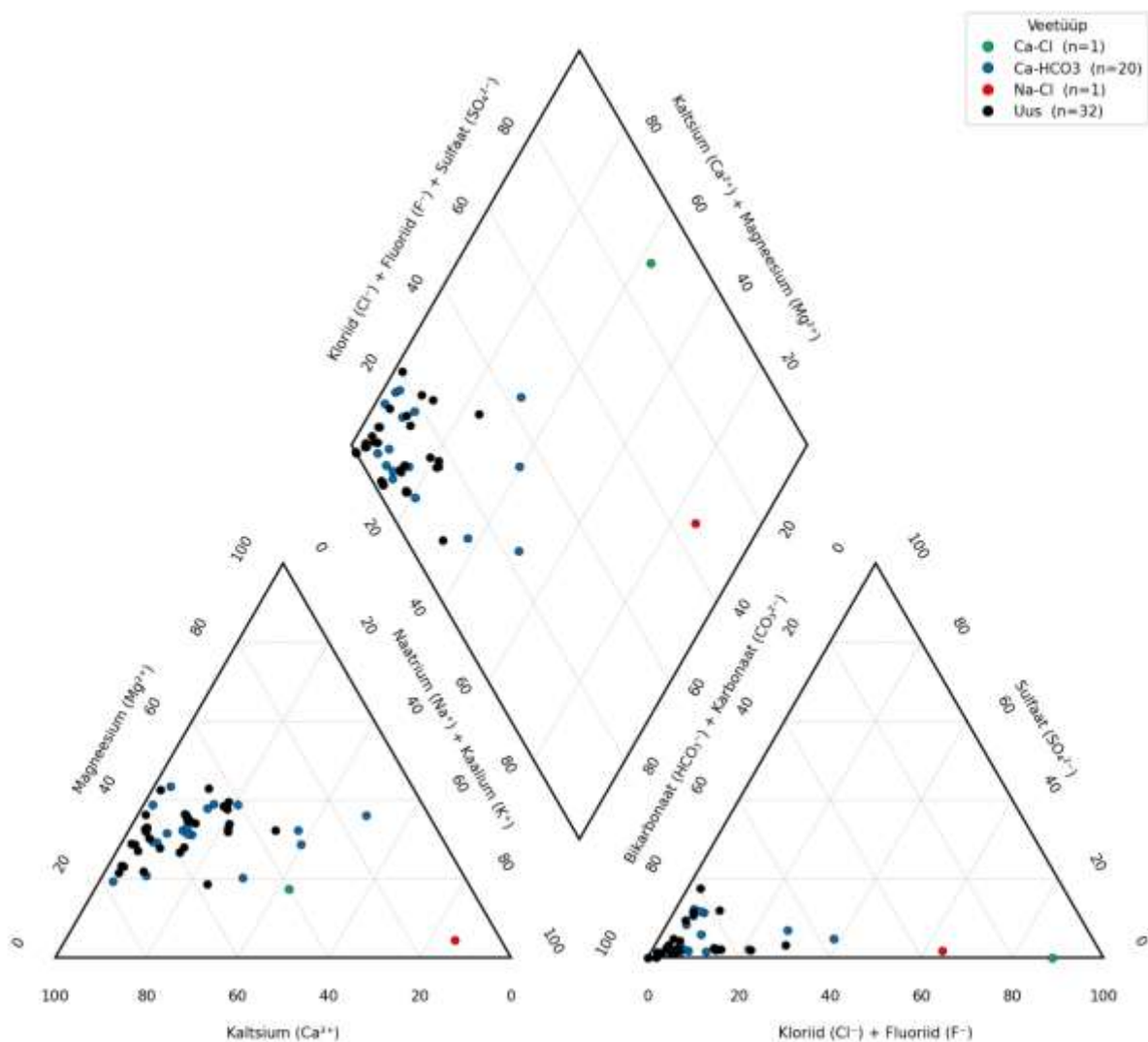
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 6, 13-16) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



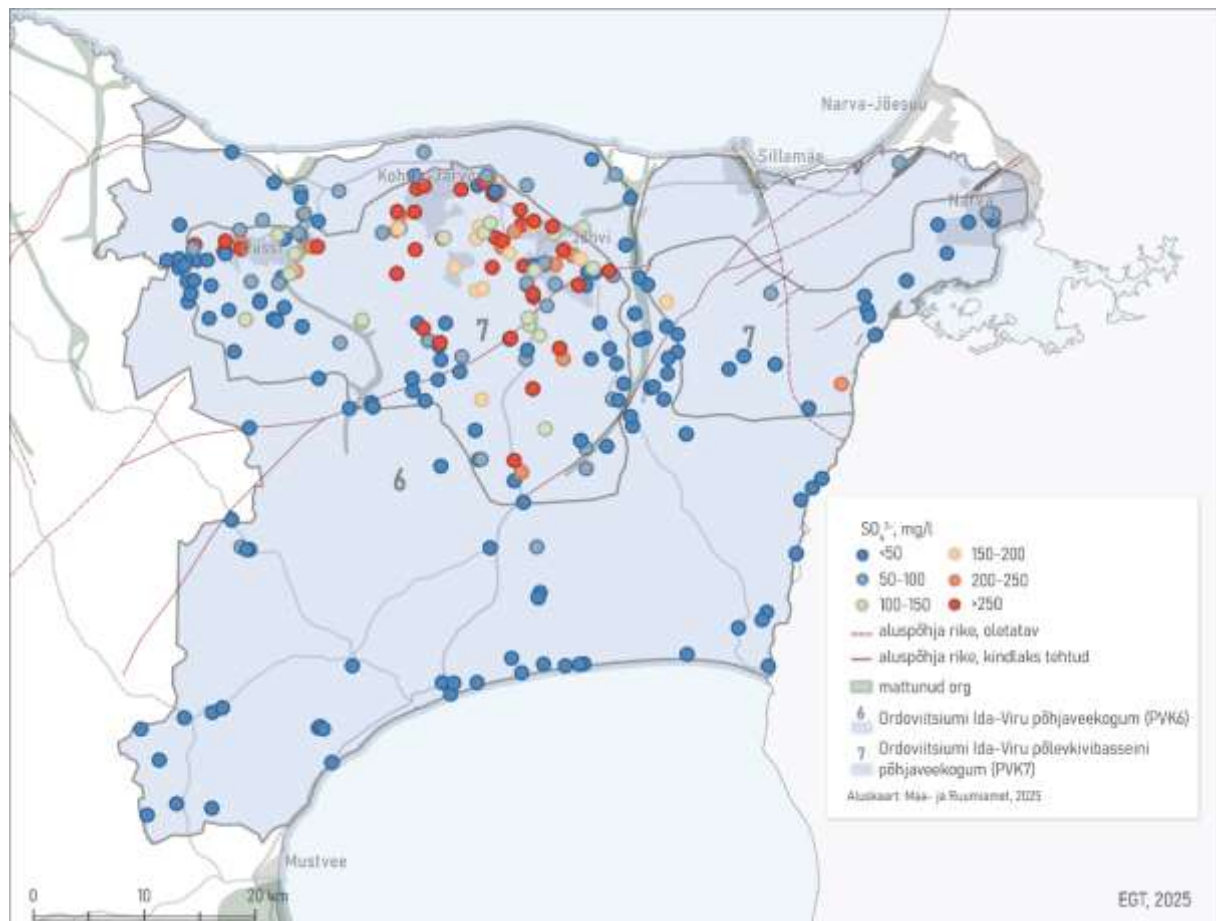
Joonis 2. Ordoivitsiumi Ida-Viru ja Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumite (PVK nr. 6 ja 7) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



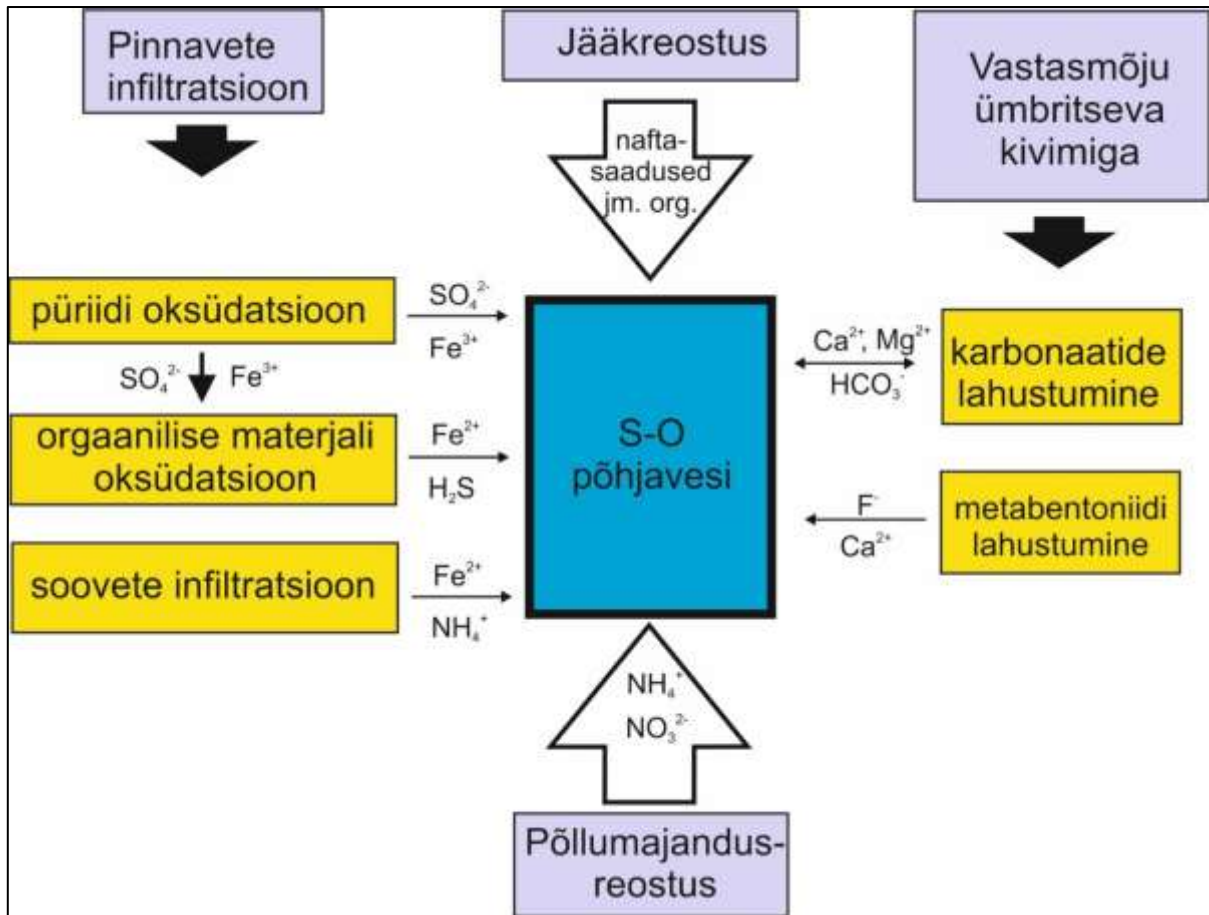
Joonis 3. Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumis ja Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Ordoviitsiumi Ida-Viru ja Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumite sulfaatide sisaldus.



Joonis 6. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Hang, T., Hiiemaa, H., Järveoja, M., Jõelet, A., Kalm, V., Karro, E., Kohv, M., Mustasaar, M., Polikarpus, M., Plado, J., 2012. Ratva raba hüdrogeoloogiline uuring ja Selisoo seiresüsteemi rajamine. KIK projekti nr 15 aruanne. Tartu Ülikooli geoloogia osakond, Tartu.

Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jõelet, A., Kohv, M., Hang, T., Hiiemaa, 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.

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

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

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

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

PVK 7. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
7	Ida-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamusalal	Kvaternaari, Ordoviitsiumi	Ida-Virumaa	1095

			Joonis
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Põhjaveekogumi moodustavad Ordoviitsiumi karbonaatkivimites ja nendel lasuvates Kvaternaari setetes esinevad põhjaveekihtid. Piirkonnas on välja eraldatud kolm erinevate filtratsioonimadustega põhjaveekihti, mida lahutavad üksteisest savika lubjakivi ja mergli vahekihtid (Perens jt., 2012): <i>Nabala-Rakvere põhjaveekiht (O_{3nb}-O_{3rk})</i> , mis esineb Nabala ja Rakvere lademe lõhelistes, kavernoossetes, kohati dolomiidistunud ja karstunud lubjakivides. Selle all paikneb Oandu lademe savikas lubjakivi ja mergel (<i>O_{3on}-O_{3kl}</i>) mis toimib kui veepide. Maapinnalt järgmine <i>Keila-Kukruse põhjaveekiht (O_{3kl}-O_{3kk})</i> esineb Keila, Haljala ja Kukruse lademe lõhelistes ja kohati kavernoossetes dolomiidistunud lubjakivides. Keila-Kukruse veekihi lamavaks veepidemeks on Uhaku lademe savikas ja tihe lubjakivi (<i>O_{2uh}</i>). Uhaku veepideme all paikneb <i>Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht (O_{2ls}-O_{2kn})</i> , mis esineb Lasnamäe, Aseri ja Kunda lademe lubjakivides ja dolomiitides (Savitski, 2000).	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Suureneb 10-12 meetrist kogumi põhjaosas kuni 100 meetrini kogumi lõunaosas vastavalt põhjaveekihtide kallakusele ja lasumussügavuse suurenemisele. Põhjaveekihtide vaheliste veepidemete paksused on ~10-15 m Uhaku lademe ja ~5 m Oandu lademe puhul (Savitski, 2000; Hang jt., 2012).	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Põhjaveekogumi lasuv veepide on ebaühtlase paksusega ning kogumi põhjavesi on valdavalt kaitsmata või nõrgalt kaitstud. Vettandvate kivimite avamusala on kaetud 2–10 meetri paksuse glatsiaalse, fluvioglatsiaalse ja limnoglatsiaalsete setetega, mis ei moodusta väljapeetud veepidet (Perens jt., 2012).	1

		Nende setete filtratsioonikoefitsiendid on vastavalt: turvas – 10^{-4} – $1,0$ m/ööpäevas; jääjärveline liiv ja saviliiv – $0,05$ – 30 m/ööpäevas; saviliivmoreen – $0,01$ m/ööpäevas (Hang jt., 2012; Perens jt., 2012). Narva karjäärilist lõuna pool on Ordoviitsiumi ladestu kivimid kaetud Kesk-Devoni Narva lademe sporaadiliselt vett andvate kivimitega, mis kohati moodustab ka suhteliselt väljapeetud veepideme filtratsiooni koefitsiendiga $0,06$ – $3,4$ m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	
	Lamav veepide	Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mis koosneb Türisalu kihistu argilliidist, Leetse kihistu glaukoniitliivakivist ja Toila kihistu savikate vahekihtidega glaukoniitlubjakivist (Perens jt., 2012). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997; Marandi jt., 2013).	1
	Põhjavee survepind	Põhjavee survepind on mõjutatud põlevkivi kaevandamisest ja sellest tulenevast kaevanduste veevõtust. Maapinnalähedase Nabala-Rakvere veekihi põhjavesi on valdavalt surveta ja selle veetase on enamasti $0,3$ – $6,0$ m sügavusel maapinnast, kaevetööde mõjupiirkonnas tunduvalt sügavamal kuni 30 m maapinnast (Savitski, 2000; Perens jt., 2012). Karjääride ja kaevandustega läbitud Keila–Kukruse põhjaveekiht on kaevetööde piirkonnas täielikult kuivendatud kuni põlevkivi tootsa kihindi lamamini. Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht on valdavalt survealine ja selle survepind on lasuva Keila–Kukruse veekihi tasemest 2 – 6 m madalamal (Perens jt., 2012).	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Looduslikult voolaks põhjavesi veekogumis kohalikest kõrgendikest eemale kohaliku vooluveevõrgu suunas. Kohalikuks põhjavee toitealaks on Kurtna mõhnastik, kus regionaalne põhjaveevool jaguneb kaheks: läänepoolne suundub Viru ja Estonia kaevanduse poole ja idapoolne Narva karjääride suunas (Perens jt., 2012). Kohalikuks põhjavee toitealaks oli looduslikult ka Jõhvi kõrgustik, mis aga käesoleval ajal on kaevandusvee ärajuhtimise tõttu Keila-Kukruse veekihis ja sellest sügavamal kaevanduste ja karjääride ümber 2 – 7 km raadiuses ja kus põhjavee voolamine on	1
-----------------------	--------------------	---	---

		oluliselt mõjutatud suletud kaevanduste poolt (Perens jt., 2012; Polikarpus jt., 2024).	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Looduslikes tingimustes on põhjaveekogumi karbonaatkivimite ülemises, kuni 20 m paksuses osas on filtratsioonikoefitsient 5–80 m/ööpäevas, keskmiselt 20 m/ööpäevas, sügavusvahemikus 20–50 m 3–6 m/ööpäevas ning sügavamal kui 50 m 0,1–3 m/ööpäevas (Savitski jt., 2000; Perens jt., 2012). Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus muutub suurtes piirides 50 m²/ööpäevas kuni >300 m²/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p> <p>Oandu ja Uhaku veepidemete vertikaalsed filtratsioonikoefitsiendid on mudelarvutuste järgi vastavalt 0,003 m/ööpäevas ja 10⁻⁵ m/ööpäevas (Marandi jt., 2013).</p> <p>Kaevetööde tulemusel on vettandvate kivimite füüsikalised omadused märkimisväärselt muutunud. Suurenenud on põhjaveekihtide filtratsioonikoefitsient ja muutunud on maapinna mikroreljeef, mis on mõjutanud pindmist äravoolu ja pinnavete infiltratsiooni (Perens jt., 2012).</p>	1
	Toitumine ja režiim	<p>Põhjaveekogumi põhjaveerežiim sõltub looduslike tegurite (sademed, aurumine jm), aktiivsete kaevanduste ja karjääride (Estonia, Ojamaa, Narva) veeärastuse ning suletud kaevanduste koosmõjust. Kvaternaari põhjaveekihtide, sealhulgas Muraka ja Puhatu soostiku veerežiim sõltub eelkõige sademetest, aga kohati (eriti õhukese turbakihiga ja kraavitatud soode servaladel) mõjutavad nende veerežiimi ka aktiivsed kaevandused (Kohv jt., 2023).</p> <p>Aluspõhja põhjaveekihtide veerežiimile avaldab otsust mõju kaevandusvee väljapumpamine, mille tulemusena on töötavate kaevanduste ümber kujunenud ulatuslikud veetaseme alanduslehtid, mis maapinnalt esimeses, Nabala–Rakvere veekihis ulatuvad 0,5-2 km, Keila–Kukruse veekihis 5-7 km kaevandustööde piirist (Boldõreva & Savitski, 2005; Perens jt., 2012; Osjamets jt., 2024). Kaevanduste mõju aluspõhjaliste põhjaveekihtide veerežiimile on olnud erinev. Vahetult kvaternaarisetete all lasuvas Nabala–Rakvere veekihis on põhjaveerežiim jäänud Muraka rabast põhja pool looduslikuks, kuid raba</p>	2

		<p>idapiiri lähedal on veetase esialgse tasemega võrreldes alanenud. Sügaval lasuvates surveelistes põhjaveekihtides on põhjaveekihtide survepinna langus jälgitav kuni 7 km kaugusele kaevandustest (Maile Polikarpuse suuline teade, 2025), maapinnalähedastes põhjaveekihtides (Nabala–Rakvere põhjaveekiht) korvab infiltratsioon veevõtust tingitud veetaseme alanemise kiiremini (Perens jt., 2012).</p> <p>Valdavalt kuulub põhjaveekogumi ülemine osa (Nabala-Rakvere ja Keila-Kukruse veekihid) aktiivse veevahetuse võösse, sügavam Lasnamäe-Kunda põhjaveekiht kuulub aga kogumi lõunapoolses osas mõõduka või aeglase veevahetuse võösse (Jõelett & Polikarpus, 2018; Raidla jt., 2023). Põhjavee $\delta^{18}\text{O}$ väärtused (–11,3 kuni –13,8‰; Savitskaja jt., 1998; Pärn jt., 2019ab; Raidla jt., 2023) on sarnased tänapäeva sademete tekkelise põhjavee isotoopkoostisele Eesti alal (Raidla jt., 2016). Sügavamatest põhjaveekihtidest on leitud põhjavett, mille isotoopkoostis ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused \sim–16,1‰; Pärn jt., 2019b) viitab aeglasemale veevahtusele ja vanematest kliimaperioodidest pärineva põhjavee esinemisele.</p>	
--	--	--	--

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Enamuses põhjaveekogumis levib kaevandustegevuse käigus kujunenud suurenenud mineraalsusega (>1500 mg/L) Ca-HCO₃-SO₄⁻ ja Ca-SO₄-tüüpi põhjavesi. Vaid kogumi edelaosas võib leida Ca-HCO₃-tüüpi põhjavett mille mineraalsus ei ületa enamasti 800 mg/L. Kogumi põhjavee kvaliteeti on pikki aastaid hinnatud halvaks kuna SO₄²⁻, raua, mangaani sisaldused ja KHT näitajad ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldusi. SO₄²⁻ sisaldused on kogumi põhjaosas suuremad kui lõunaosas, kuigi ka seal jäävad SO₄²⁻ sisaldused harva looduliku sisalduse piiridesse. Kohati on põhjavees suured ka NH₄⁺ sisaldused. Täiendavalt on kogumi keemilise seisundi hinnanguid halvendanud fenoolide, naftasaaduste ja PAH-e esinemine üle kogu põhjaveekogumi, aga eelkõige põhjaveekogumi põhjaosas kus paiknevad poolkoksiladestud ning</p>	3, 4, 5
-------------------------	--------------------------	--	---------

		<p>põlenud aherainemäed, põlevkivikaevandused ja -karjäärid (Raidla jt., 2023b; Tamm ja Leisk, 2024).</p> <p>Viimase 10 aasta põhjaveeseirete käigus ei ole kogumi seirekaevudes täheldatud suuri ohtlike ainete sisaldusi. Kohati on kogumi põhjavees tuvastatud piirväärtustest suuremaid 1-aluseliste fenoolide (>1 µg/L), PAH-ide (>0,1 µg/L) ja Ba²⁺ sisaldusi (kuni 2 mg/L; Tamm ja Leisk, 2024). Lokaalselt on kogumi põhjaosas leitud seirekaevudes ka väga kõrgeid (>600 mg/L) Cl⁻ sisaldusi (Raidla jt., 2023).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Kogumi põhjavee algne keemiline koostis on olnud valdavalt Ca-HCO₃-tüüpi, mineraalsusega 0,3–0,5 g/L (Savitski, 2000; Raidla jt., 2023). Looduslikult on põhjavee keemilist koostist kujundanud karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine ja lubjakivides esineva püriidi oksüdeerumine. Kogumi edelaosas esineb vähesel määral ka vanemat liustikutekkelist põhjavett. Lokaalselt on maapinnalähedastes põhjaveekihtides täheldatav soovete mõju (suuremad NH₄⁺, Fe²⁺ kontsentratsioonid ja KHT väärtused).</p> <p>Tänapäeval on kogumi põhjavee keemiline koostis suurel alal mõjutatud põlevkivi kaevandamisega kaasnenud aeratsioonivöö laienemisest ning õhuhapniku juurdepääsust varem anaeroobsetes tingimustes olnud kivimitele. Sulfiidmineraalide oksüdeerumise tulemusena on kaevandusvete SO₄²⁻ sisaldused suurenenud looduslikust (<20 mg/L) ~350 mg/L-e. Suletud kaevanduste veega täitumisel võivad sulfaadi sisaldused lühiajaliselt suurene da isegi >1000 mg/L (Erg, 2005). Selline hüdrokeemiline olukord ei ole püsiv ning mõne aasta jooksul järgneb oluline SO₄²⁻ sisalduse langus. Samas põhjustab kaevanduse täitumine veega sealse sulfaadirikka vee valgumise ümbruskonda. Püriitmineraalide oksüdatsiooni suurenemisel intensiivistub ka karbonaatsete mineraalide lahustumine, mis kaltsiumi ja magneesiumi kontsentratsioonide suurenedes suurendab vee karedust (looduslikelt väärtustelt 6-8 mg-ekv/L kuni väärtusteni 10–20 mg-ekv/L) (Perens jt., 2012).</p>	6

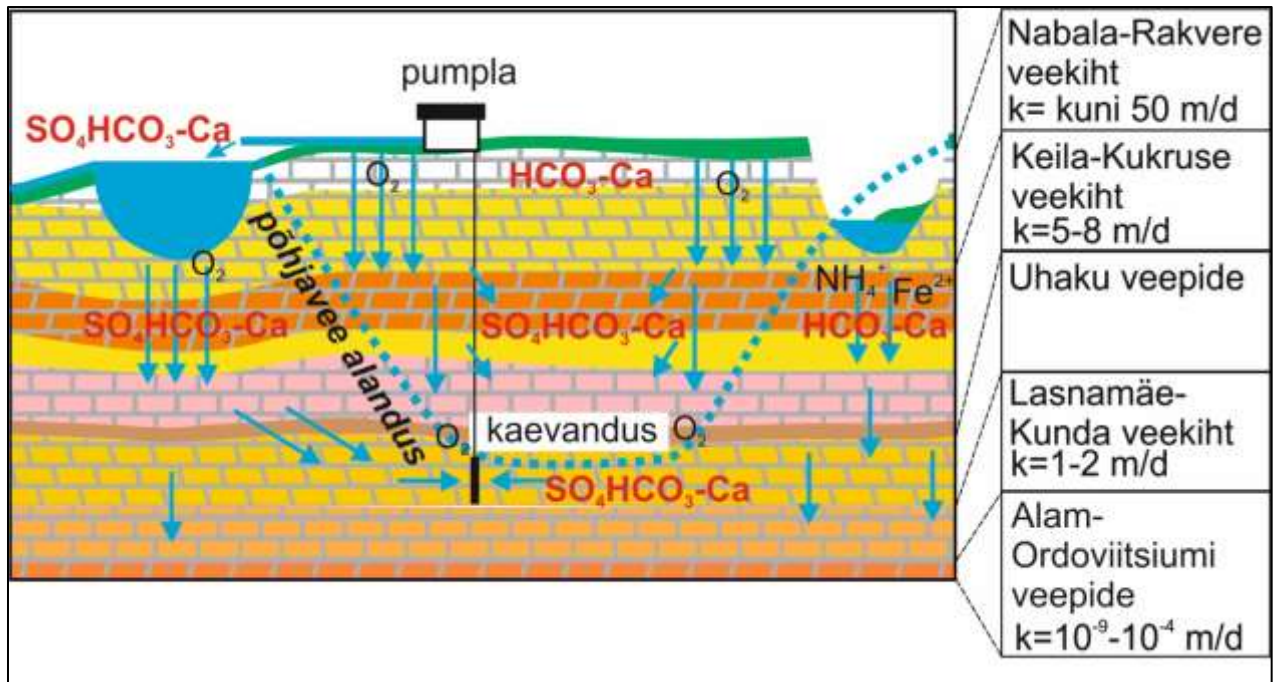
		<p>Kaevanduste veeärastuse tulemusena satub sulfaadirikas põhjavesi pumplate kaudu settebasseinidesse, kust voolab edasi ümbruskonna pinnaveekogudesse. Sulfaadirikas vesi võib maapinnale jõuda ka suletud kaevanduste täitumisel. SO_4^{2-} kontsentratsioonide järsk suurenemine põlevkivibasseini lähedastes pinnaveekogudes on selgeks märgiks kaevandustegevuse mõjust.</p> <p>Põlevkivi kaevandustes on lõhketööde käigus tihti vigastatud kaevandustasapinda läbivaid puurkaeve, mis on võimaldanud kaevandusvetel tungida ka alumisse Lasnamäe-Kunda veekihti. Sel põhjusel on kogumis lokaalselt esindatud ka $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$-tüüpi põhjavesi. Ka võib olla kaevandustegevusega rikutud Lasnamäe-Kunda veekihti katvat Uhaku veepidet, mis võimaldab ulatuslikku SO_4^{2-} rikka põhjavee levikut selles kaevandustegevusest otseselt puutumata veekihis.</p> <p>Lasnamäe-Kunda veekihi edela osas suureneb Na^+ ja Cl^- sisaldus, mis viitab aeglasemale veevahetusele sügavamates põhjaveekihtides ning kationvahetuse mõjule. Kõrged Na^+ ja Cl^- sisaldused kogumi põhjaosas tulenevad kas transpordist (lumetõrjevahendid), poolkoksi, aheraine puistangute või põlevkivituha basseini nõrgvee mõjust.</p> <p>Põhjaveekogumis esinev orgaaniline reostus seostub eelkõige piirkonna põlevkivikaevanduste, tööstus- ja jääkreostusobjektidega. PAH-ide laialdane levik kogumi põhjavees ei ole alati seostatav inimtegevusega ning väikesed PAH-ide sisaldused kogumi põhjavees võivad olla seotud looduslike PAH-idega, mis pärinevad vulkaanipursetest või ulatuslikest põlengutest.</p> <p>Kogumis esinevad kõrged Ba^{2+} sisaldused on looduslikud ning ilmselt seotud tektooniliste riketega, kust magedad liustikuveed on Ba^{2+} välja leostanud ja kandnud rikketest lõunapoole (Raidla jt., 2023).</p>	
--	--	---	--

Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • 1070700_1 Kohtla • 1067300_1 Kose • 1063800_1 Mustajõgi • 1068700_1 Ojamaa • 1068200_2 Purtse Ojamaa jõest suudmeni • 1067000_2 Pühajõgi Kose jõest suudmeni • 1067000_1 Pühajõgi lähtest Kose jõeni • 1058700_1 Rannapungerja lähtest Millojani • 1067700_1 Vasavere
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	<ul style="list-style-type: none"> • VEE2034620 (Seli soo laugas) • VEE2034630 (Seli soo laugas) • VEE2035100 Liivjärv (Jõuga Liivjärv) • VEE2034900 Linajärv (Jõuga Linajärv) • VEE2035000 Pesujärv (Jõuga Pesujärv) • VEE2034700 Pikkjärv (Kõnnu Pikkjärv) • VEE2024200 Ratva järv • VEE2034600 Suurlaugas (Selisoo Suurlaugas) • VEE2034800 Ümmargune järv (Kõnnu Ümmargune järv)
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_170 Rohukabja soo • PSMÖS_171 Ojamaa-Raudjõe luhasoo • PSMÖS_172 Oandu soo • PSMÖS_174 Linnassaare soo • PSMÖS_175 Arvila idapoolsed soometsad • PSMÖS_247 Jalastu soomets • PSMÖS_250 Arvila läänepoolsed soometsad

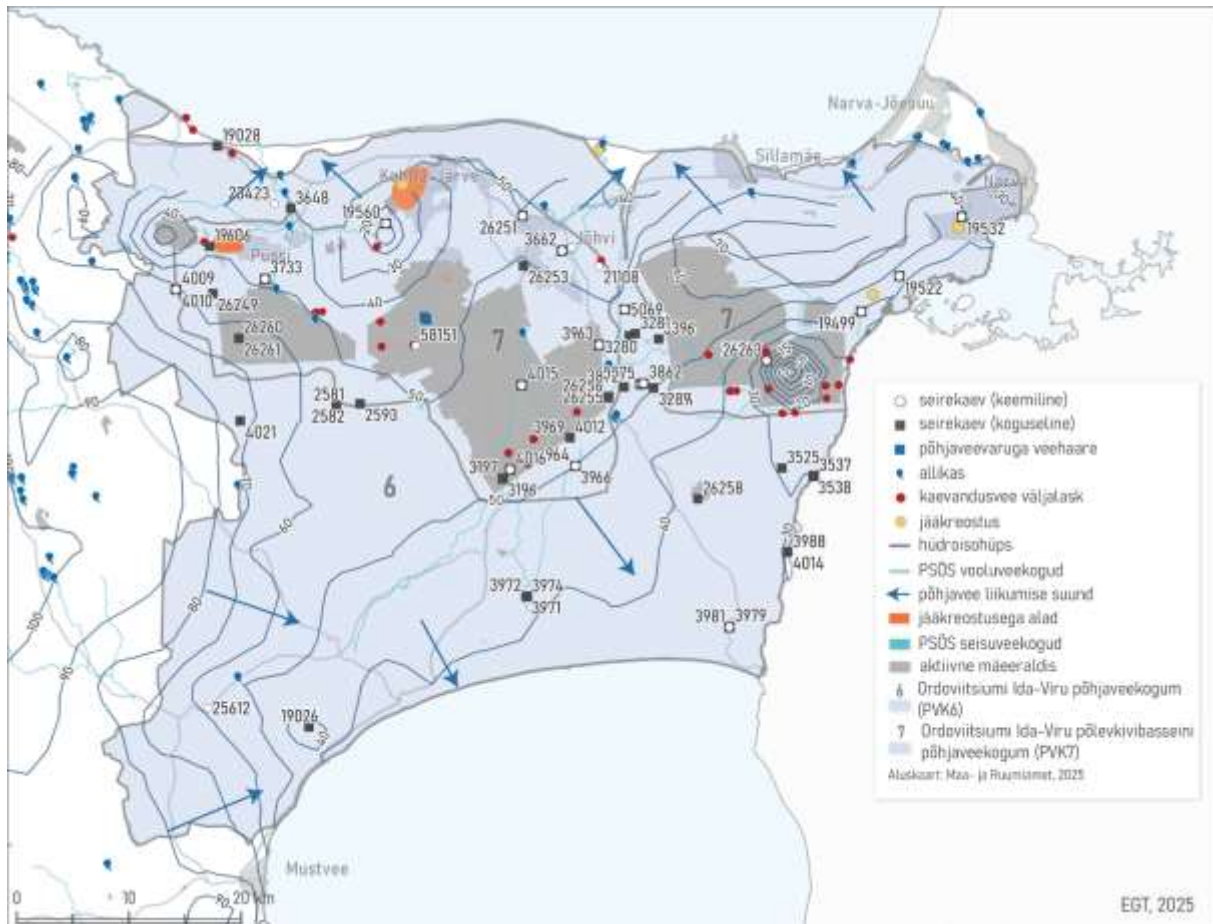
Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	<p style="text-align: center;">Halb</p> <p>Test 6 näitas, et põlevkivikaevanduste põhjavee ärastus ületab PVK 7 looduliku ressursi 305 m³/ööpäevas võrra, seetõttu halvas seisundis.</p> <p>Negatiivne bilanss mõjutab piirkonnas esinevaid pinnaveekogusid, mille äravool on suures osas põhjaveest. Suurest veevõttust tingitud veetasemete langus Mustajõe vaatluskaevudes põhjustas halva seisundi 7. testi tulemusena.</p>
	Keemiline seisund	<p style="text-align: center;">Halb</p> <p>PVK 7 halba keemilise seisundisse test 1 põhjal PHT_{Mn} ja 1-aluseliste fenoolide summa sisalduse tõttu.</p> <p>Ohustatud põhjaveega seotud pinnaveekogudes baariumi sisalduste tõttu Test 3 järgi.</p>
	Üldseisund	Halb

Põhja vee	Looduslik ressurss	107903
-----------	--------------------	--------

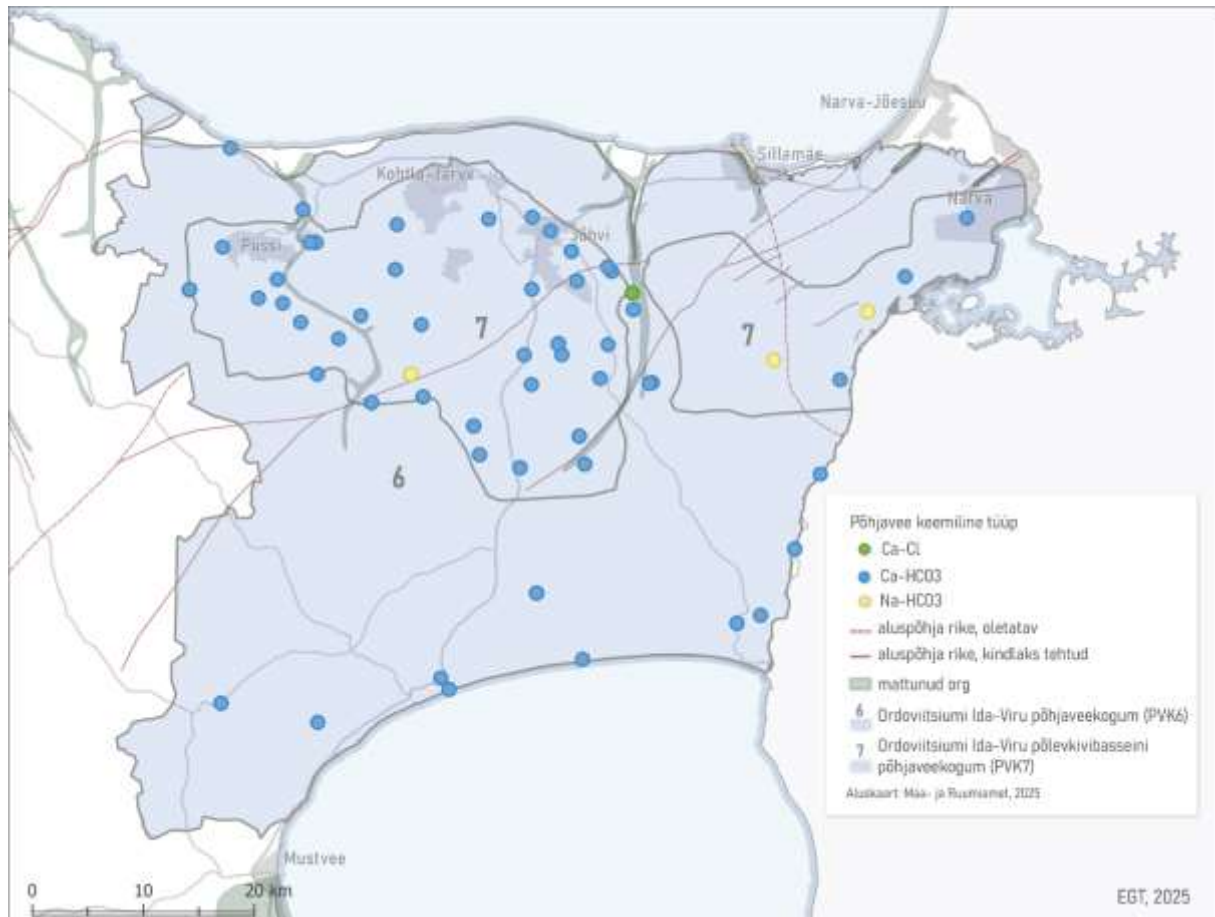
	Põhjavee kinnitatud varu	5000
	Põhjaveevõtt 2023. a	426211
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-421211
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	102903
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	-318308



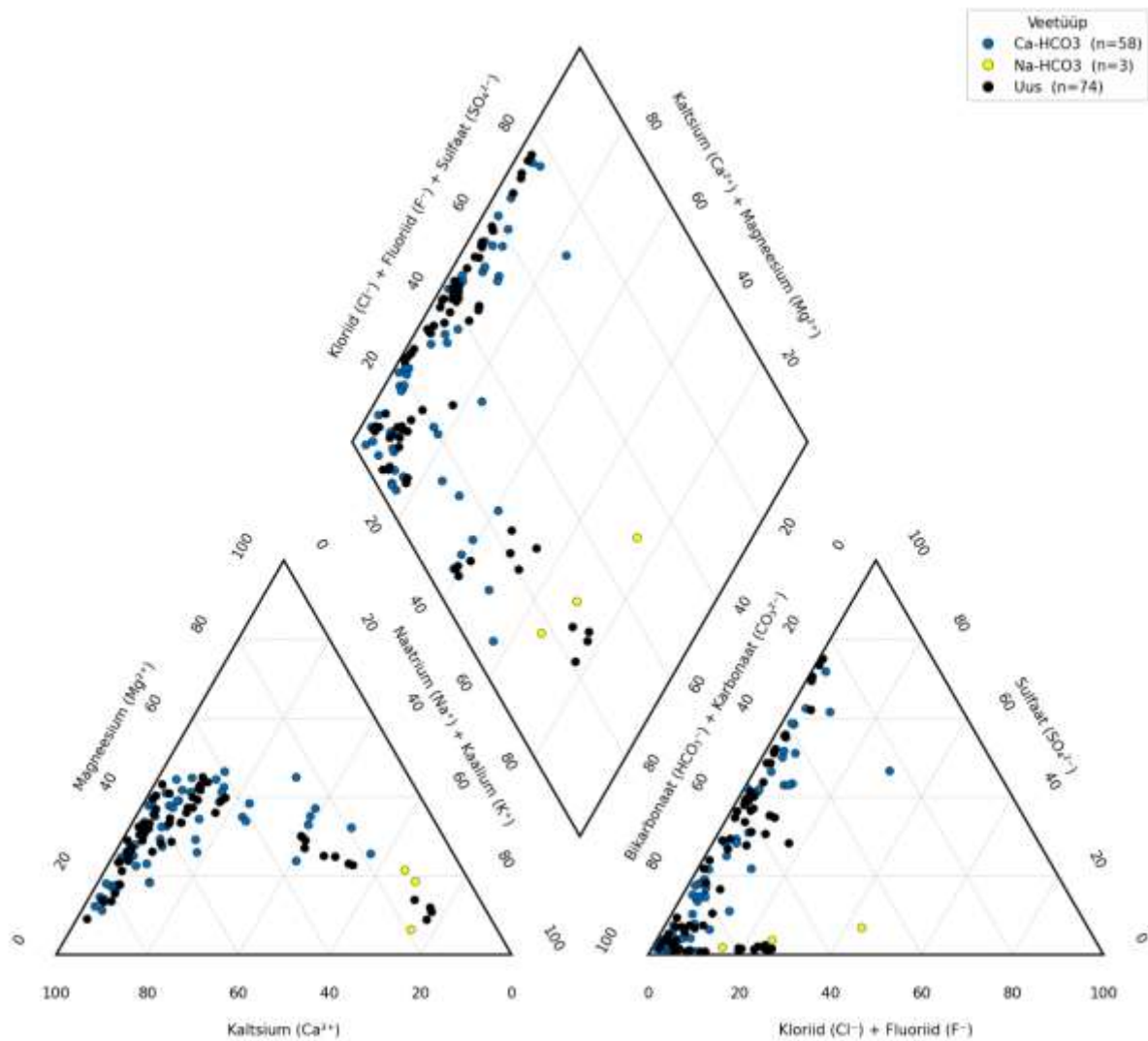
Joonis 1. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi (PVK nr. 7) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



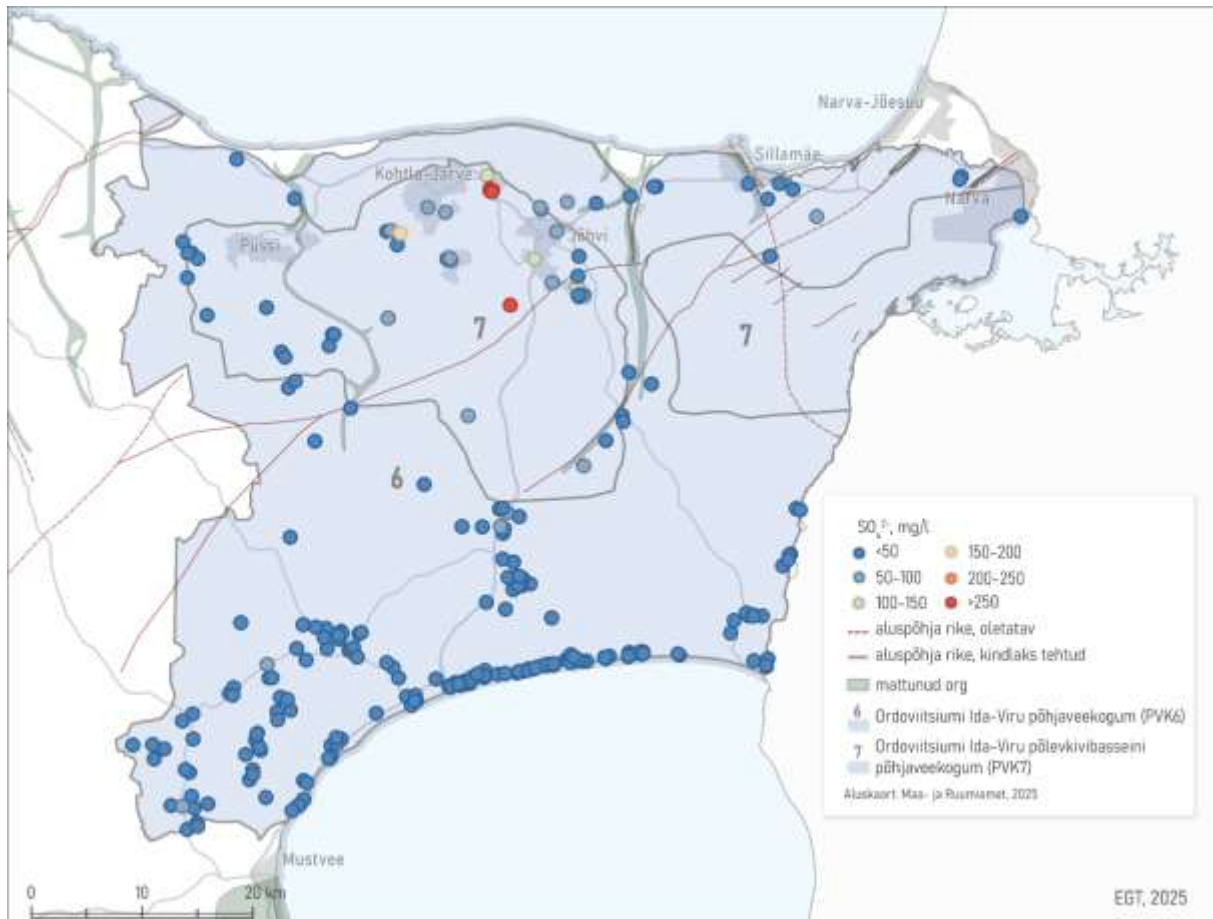
Joonis 2. Ordoviitsiumi Ida-Viru ja Ida-Viru põlevkivibasseini (PVK nr. 6 ja 7) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



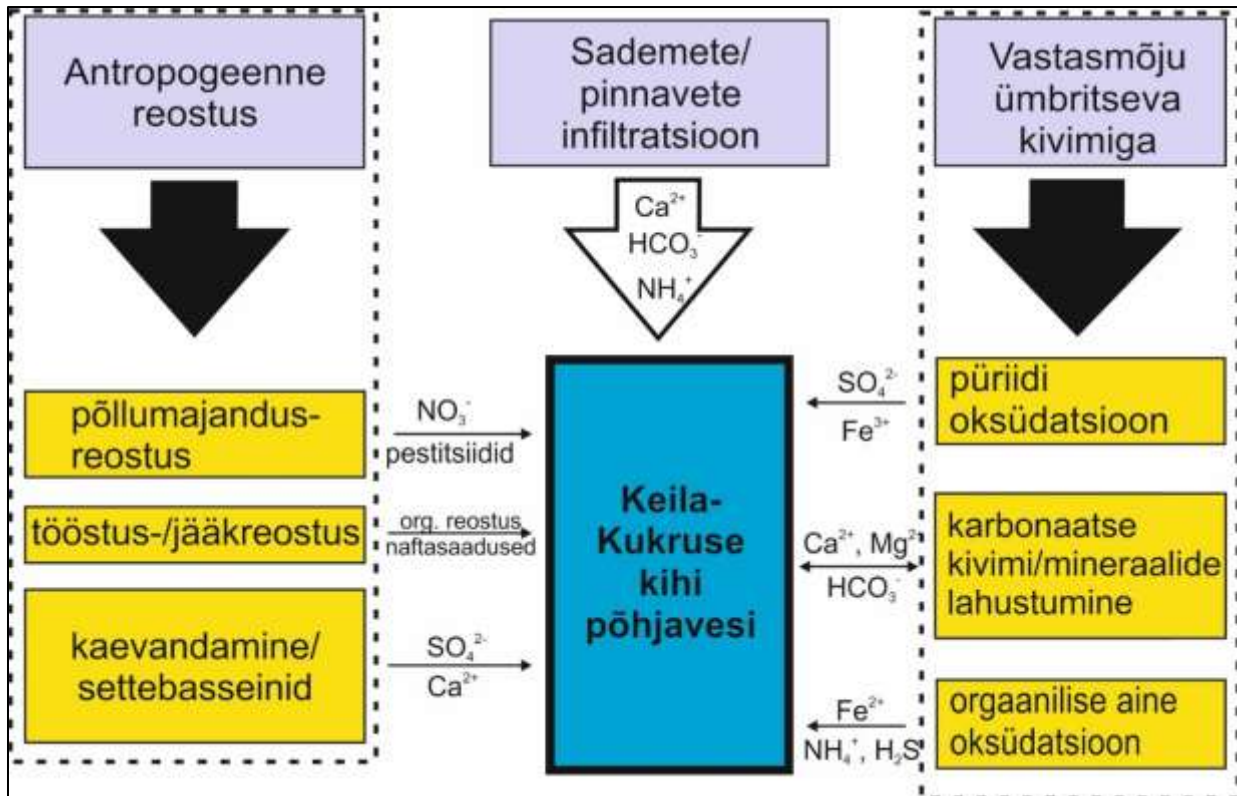
Joonis 3. Ordoivitsiumi Ida-Viru ja Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Ordoviitsiumi Ida-Viru ja Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumite põhjavee sulfaatide sisaldus.



Joonis 6. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi hulka kuuluva Keila-Kukruse (S-O; PVK nr. 7) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Erg, K., 2005. Groundwater sulphate content changes in Estonian underground oil shale mines. Energia- ja geotehnika dissertatsioonid AAED02. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, Tallinn.
- Kohv, M., Paat, R., Lõhmus, A., Jõelet, A., 2023. Underground mining magnifies drought impacts in an adjacent protected raised bog. *Ecohydrology*, e2594. <https://doi.org/10.1002/eco.2594>
- Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jõelet, A., Kohv, M., Hang, T., Hiiemaa, 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.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., Walraevens, K., van Camp, M., Raidla, V., Aeschbach, W., Friedrich, R., Ivask, J., Kaup, E., Martma, T., Mažeika, J., Mokrik, R., Weissbach, T., Vaikmäe, R., 2019a. Dating of glacial palaeogroundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern Baltic Artesian Basin. *Applied Geochemistry* 102: 64–76.
- Pärn, J., Tarros, S., Polikarpus, M., Osjamets, M., Raidla, V., 2019b. Ojamaa kaevevälja põhjaveeseire ja Muraka soostiku ökosüsteemi seire 2018. aastal. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Raidla, V., Truu, M., Tarros, S., 2023. Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi hüdrogeoloogilised uuringud. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.
- Savitski, L., 2000. Hüdrogeoloogilised tingimused. Kogumikus: Eesti Põlevkivi: geoloogia, ressurss, kaevandamistingimused (toimetajad) Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L. Akadeemia Trükk, Tallinn, 93–104.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

PVK 8. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
8	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, saared ja rannik	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Hiiumaa	1006

					JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Siluri ja Ordoviitsiumi ladestu kivimid ja nende peal lasuvad Kvaternaari setted, mis on nii vertikaalses kui ka horisontaalses suunas väga muutlikud. Domineerivaks kivimiks on lubjakivid, välja arvatud Siluri ladestusse kuuluvad Juuru ja Jaani lade, kus on ülekaalus mergel.	1		
	Kogumi paksus	Põhjaveekogumi paksus suureneb korrapäraselt lõuna suunas. Emmaste poolsaarel ületab Siluri ja Ordoviitsiumi kivimite kogupaksus 200 m, kuid põhjaveekogumi vettandva osa paksus ei ületa 100 m.	1		
	Lasuv veepide	Lasuv veepide praktiliselt puudub. Vettandvate kivimite avamusala on valdavalt kaetud 2–10 m paksuse glatsiaalsete, fluvioglatsiaalsete, limnoglatsiaalsete ja soosetetega, mis ei moodusta hästi väljapeetud veepidemeid. Põhjaveekogum on maapinnalt lähtuva reostuse eest valdavalt kaitsmata või nõrgalt kaitsstud.	1		
	Lamav veepide	Sügavuse kasvades kivimite karstumus ja lõhelisus väheneb ning valdavalt saab sügavamal kui 100 m Siluri ja Ordoviitsiumi kivimid liigitada Siluri-Ordoviitsiumi regionaalseks veepidemeks vertikaalse filtratsioonikoefitsiendiga 10^{-4} - 10^{-5} m/ööpäevas.	1		
	Põhjavee survepind	Enamasti on põhjaveekogumi vesi surveta. Veetase on 2–5 m sügavusel maapinnast. Suuremad sügavused (5–10 m) esinevad kohalikel aluspõhjalistel kõrgendikel. Kõpu poolsaarel on veetase tihti 15–25 m sügavusel maapinnast. Põhjavee survepinna suurimad kõrgused merepinna suhtes (üle 10 m) on seotud Mägipe kõrgustikuga ja Sülluste–Reigi rannamoodustistega, kust toimub igas suunas korrapärane survepinna langus.	2		

<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Mägipe kõrgustik koos Sülluste–Leigri–Aruselja rannamoodustistega ning Paluküla ja Hellamaa kõrgendikega moodustavad Hiiumaal madala lääne–idasuunalise veelahkme. Põhjaveetaseme langus toimub igas suunas mere poole.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Põhjaveekihtide veejuhtivus varieerub suurtes piirides jäädes valdavalt vahemikku 30–300 m ² /ööpäevas vähenedes lasumussügavusega.	1
	Toitumine ja režiim	Tasase reljeefi ja pinnase suhtelise veepidavuse tõttu soodes ja savitasandikel on põhjavee toitumise maht tagasihoidlik. Kohaliku tähtsusega toitealad on Määvli raba, Kõpu, Kassari keskosad ja alvarid Hiiumaa ida- ja põhjaosas. Alvaritel kujuneb ka neil paiknevates külades kasutatav maapinnalähedane põhjavesi.	2

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Kogumis esineb selge horisontaalne ja vertikaalne hüdrokeemiline variatsioon mille iseloomulikumaks tunnuseks on Cl⁻ sisalduse muutlikus põhjavees. Eelkõige on täheldatav Cl⁻ osakaalu tõus põhjavees koos sügavuse kasvuga. Tavapärane on ka Cl⁻ rikkama vee esinemine paksema pinnakattega saare lõunaosas, kus mitmetes kaevudes ületab Cl⁻ sisaldus joogiveele kehtestatud piirsisaldust 250 mg/L. Väiksema pinnakatte paksusega aladel saare põhja- ja idaosas on ülekaalus Ca-HCO₃-tüüpi vesi. Ka levib suure Cl⁻ sisaldusega põhjavee vöönd rannikul, 200–500 m kaugusele rannajoonest.</p> <p>Kloriidi sisalduse kasvuga kaasneb üldjuhul ka Na⁺ ja Mg²⁺ sisalduste kasv, kuid analoogne trend Ca²⁺ puhul ilmneb vaid väga kloriidirikkas põhjavees. Enamasti muutuvad Ca²⁺ ja HCO₃⁻ sisaldused vastupidiselt Cl⁻ sisaldustega.</p> <p>Hoolimata selgelt eristuvatest kloriidirikkamatest aladest, suurema SO₄²⁻ sisaldusega piirkondi Hiiumaal ei esine ning vaid üksikutes ranniku- kaevudes ületab sulfaadi sisaldus joogiveele kehtestatud piirväärtust 200 mg/L (Raidla, 2020).</p> <p>Kogumis on küllaltki laialt levinud suure fluoriidi sisaldusega põhjavesi (>1,5 mg/L), millel võib olla kahjustav mõju hammastele. Fluoriid (ja tihti kaasnev boor) pärinevad enamasti savikatest lubjakividest ja on</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	---	-----

		<p>laialt tuntud ja uuritud probleem Edela- ja Lääne-Eestis (Uppin ja Karro, 2013). Hiiumaal ei ole vastavaid teadusuuringuid läbi viidud. Joogivee seisukohast on probleemiks veel looduslikult suure raua (kuni 2 mg/L) ja NH_4^+ sisaldused, mis kohati ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldus vastavalt 0,2 ja 0,5 mg/L (Raidla, 2020; Tamm ja Leisk, 2024). Põhjavee nitraadi sisaldused on üldiselt väikesed ning valdavalt ei ületa 10 mg/L.</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Kogumi põhjavee keemilise koostise kujunemine algas Litoriaamere staadiumis, mil Hiiumaa neotektoonilise kerke tulemusena maismaastus. Selle protsessi tulemusena hakkas endine merevesi pinnases aegamisi asenduma kohalikest sademetest pärineva veega. Hiiumaa tasase reljeefi ja pinnase suhtelise veepidavuse tõttu on infiltreeruva vee maht olnud tagasihoidlik ning magestumise protsess kestab tänaseni. Ca^{2+} ja HCO_3^- sisalduste vastandumine Cl^- sisaldustele viitabki noorema, karbonaatide lahustumisest mõjutatud põhjavee segunemisele vanema, merelist päritolu põhjaveega.</p> <p>Niiske ja suhteliselt jahe kliima on soodustanud paepinnase leostumist ning seetõttu levib kogumis valdavalt Ca-HCO_3-tüüpi põhjavesi. Kohaliku tähtsusega põhjavee toitealad, Määvli raba, Kõpu kõrgendik, Kassari ümbrus ja alvaritel Hiiumaa ida- ja põhjaosas levib madala kloriidisisaldusega Ca-HCO_3-tüüpi põhjavesi, kuid saare lauges lõunaosas, kus hüdrauliline gradient on väike, ei ole magestumisprotsess olnud kuigi ulatuslik. Seetõttu levibki Hiiumaa sisealadel laialdaselt Ca-Cl- või lausa Na-Cl-tüüpi põhjavesi.</p> <p>Kuna suur osa kogumist paikneb merepinnast sügavamal, siis rannikupiirkondades on märgatav ka Läänemere mõju põhjaveele. Looduslikes tingimustes valitseb mageda põhjavee ja soolase merevee vahel hüdrodünaamiline tasakaal, mis sõltub eelkõige mageda põhjavee infiltreerumisest ehk sademete hulgast ja põhjaveekihtide veejuhtivusest. Põhjavee intensiivne tarbimine võib kohati looduslikku tasakaalu rikkuda. Kujunevad põhjaveesurvetaseme alanduslehtid, hüdraulilise gradiendiga mere poolt</p>	7

		<p>maismaale, soodustavad merevee sissetungi põhjaveekihtidesse. Selliste protsesside kulgemise kiiruse määrab väljapumbatava vee hulk ja loodusliku toitumise vahekord. Sügavamates kaevudes rannikul on sooldumine olnud eriti ilmne, kuid ei ole üheselt selge, kas tegemist on veega tänapäeva Läänemerest (soolsus 5–6‰) või vanemast Litoriinamerest (soolsus 8–15‰). Keemiliselt aktiivse SO_4^{2-} kõrgemad sisaldused (>100 mg/L) rannikul võiksid viidata pigem tänapäevasele Läänemere mõjule põhjavees. Kloriidirikas, kuid sulfaadivaene põhjavesi võiks seevastu olla iseloomulikum märksa vanemale Litoriinamere aegsele sooldumis allikale. (Raidla, 2020)</p>	
--	--	---	--

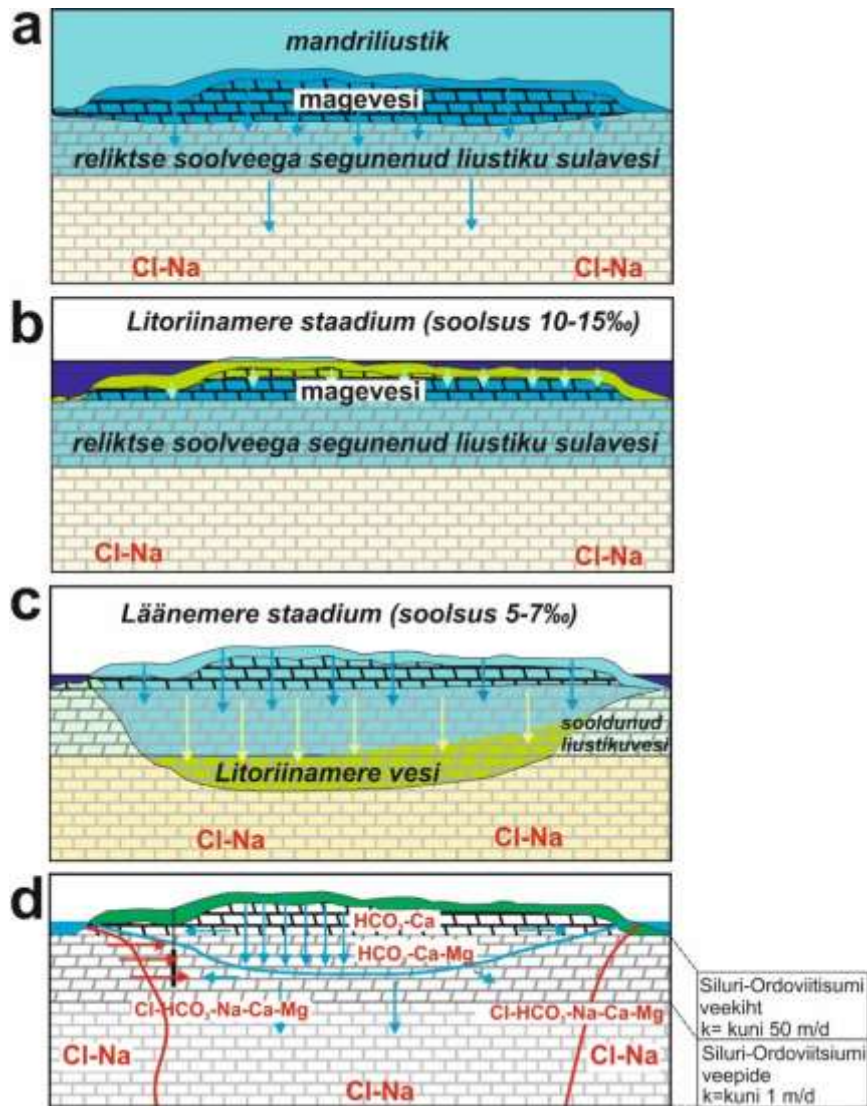
<p>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</p>	<p>Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p>VEE2051300 Tihu järv</p>

	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_003 Laisidevaheline soo • PSMÖS_004 Pihla Sou(r)lahe soo • PSMÖS_017 Koulumets • PSMÖS_018 Soobagu mets • PSMÖS_019 Heistesoo • PSMÖS_020 Leemeti Kellapaost itta jääv padu • PSMÖS_021 Õngu soo • PSMÖS_022 Kurisu allikasoo • PSMÖS_023 Tareste soomets • PSMÖS_024 Lodju metsa loodeosa • PSMÖS_025 Lodju metsa lääneosa • PSMÖS_026 Para raba soomets • PSMÖS_027 Undama soo lääneosa • PSMÖS_028 Undama soo idaosa • PSMÖS_029 Sarvesoo • PSMÖS_030 Emmaste-Tärkma-Tilga soomets • PSMÖS_031 Õunaku mets • PSMÖS_032 Hellamaa sooniit • PSMÖS_033 Kukka soo • PSMÖS_035 Sakkasoo põhjaosa • PSMÖS_036 Tareste Tõrvanina luidetevahelised sood • PSMÖS_037 Lehtma soo • PSMÖS_038 Luidja luidetevahelised sood • PSMÖS_039 Tedrikopli lõunaosa soo • PSMÖS_040 Pihlassoo
--	--	--

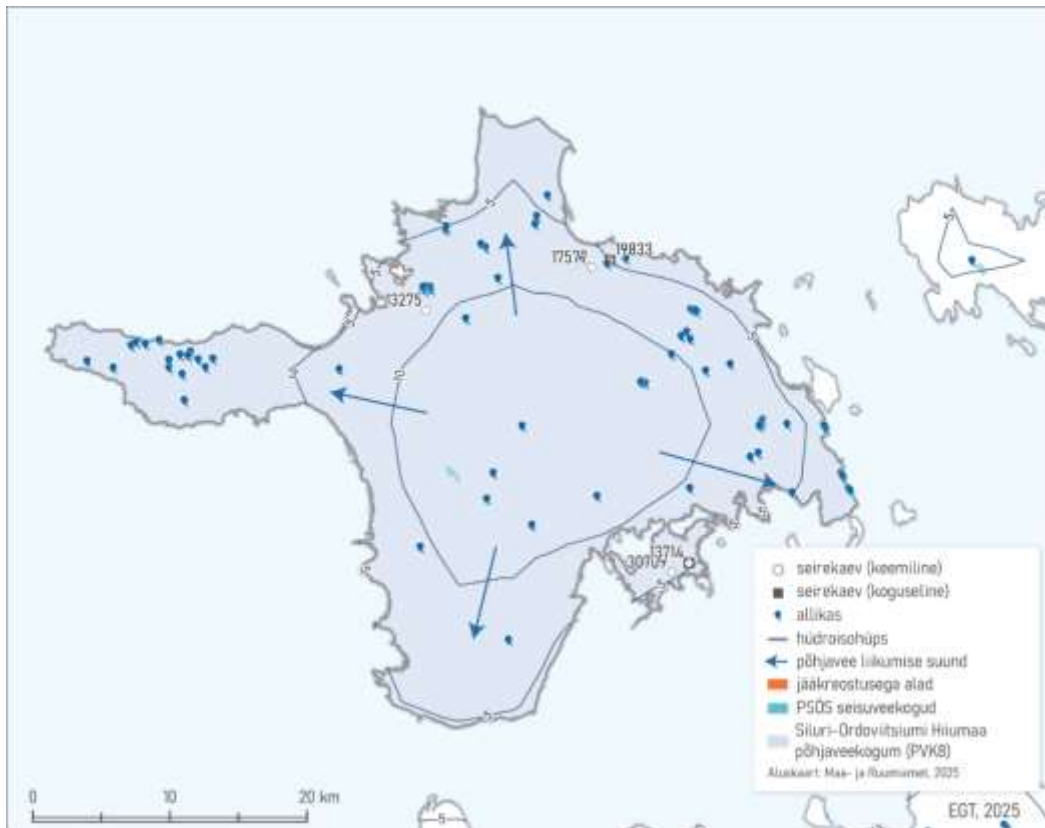
<p>Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)</p>	<p>Koguseline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Keemiline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Üldseisund</p>	<p>Hea</p>

<p>Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)</p>	<p>Looduslik ressurs</p>	<p>45522</p>
	<p>Põhjavee kinnitatud varu</p>	
	<p>Põhjaveevõtt 2023. a</p>	<p>420</p>

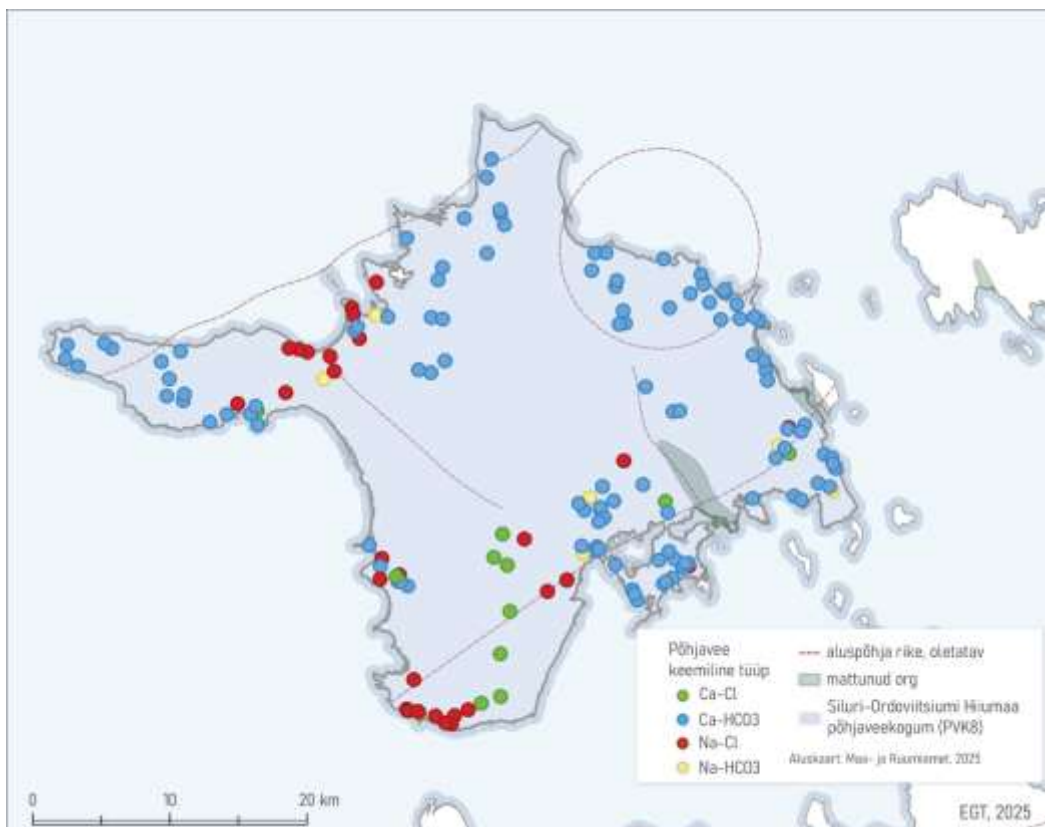
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-420
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	45522
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	45102



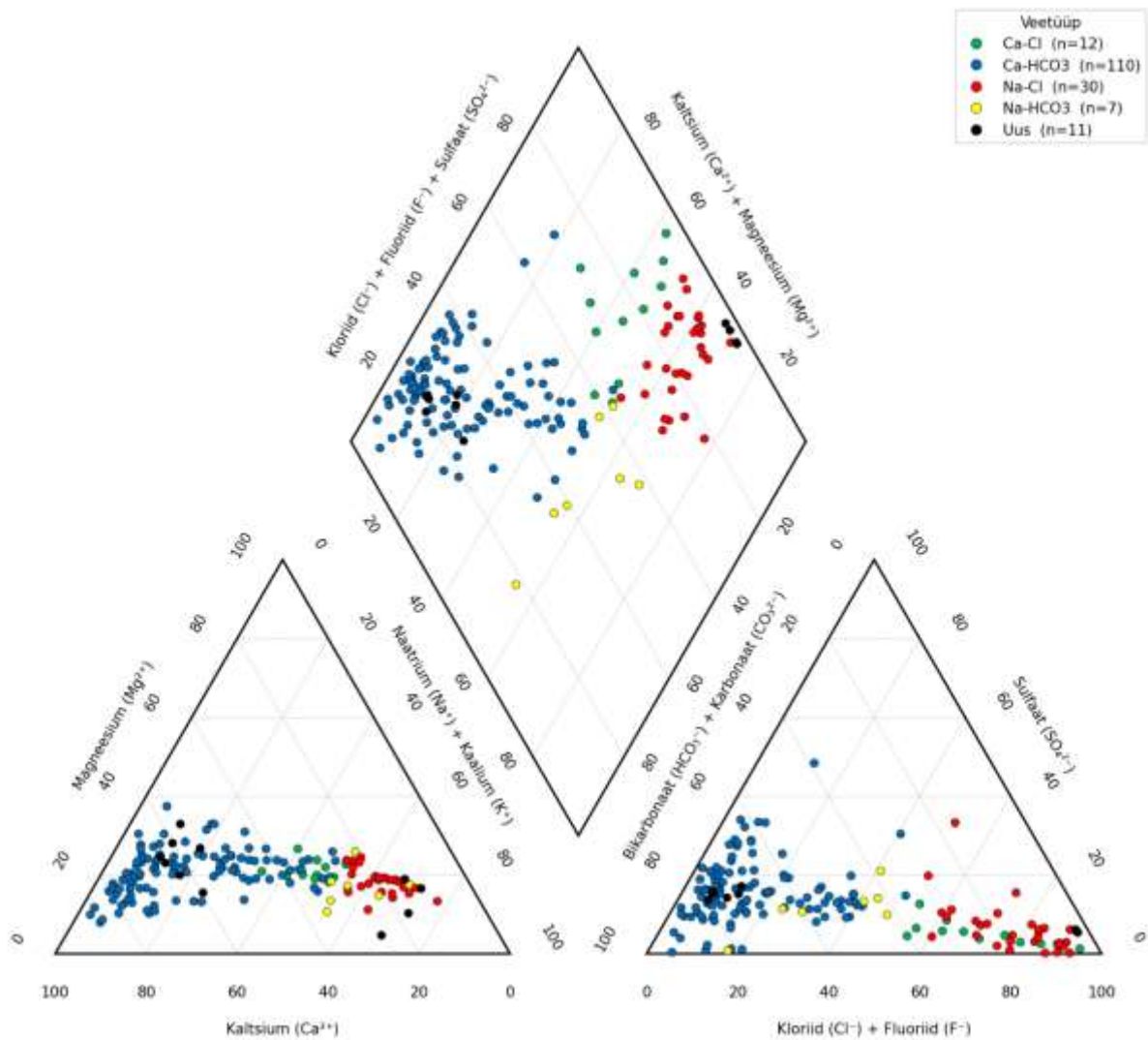
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiu- ja Saaremaa põhjaveekogumite (PVK nr. 8-9) kontseptuaalse mudeli läbilõige. (a)–(d) Põhjavee kujunemine Lääne-Eesti saartel jääja lõpust kuni tänapäevani koos Läänemere arengustaadiumitega.



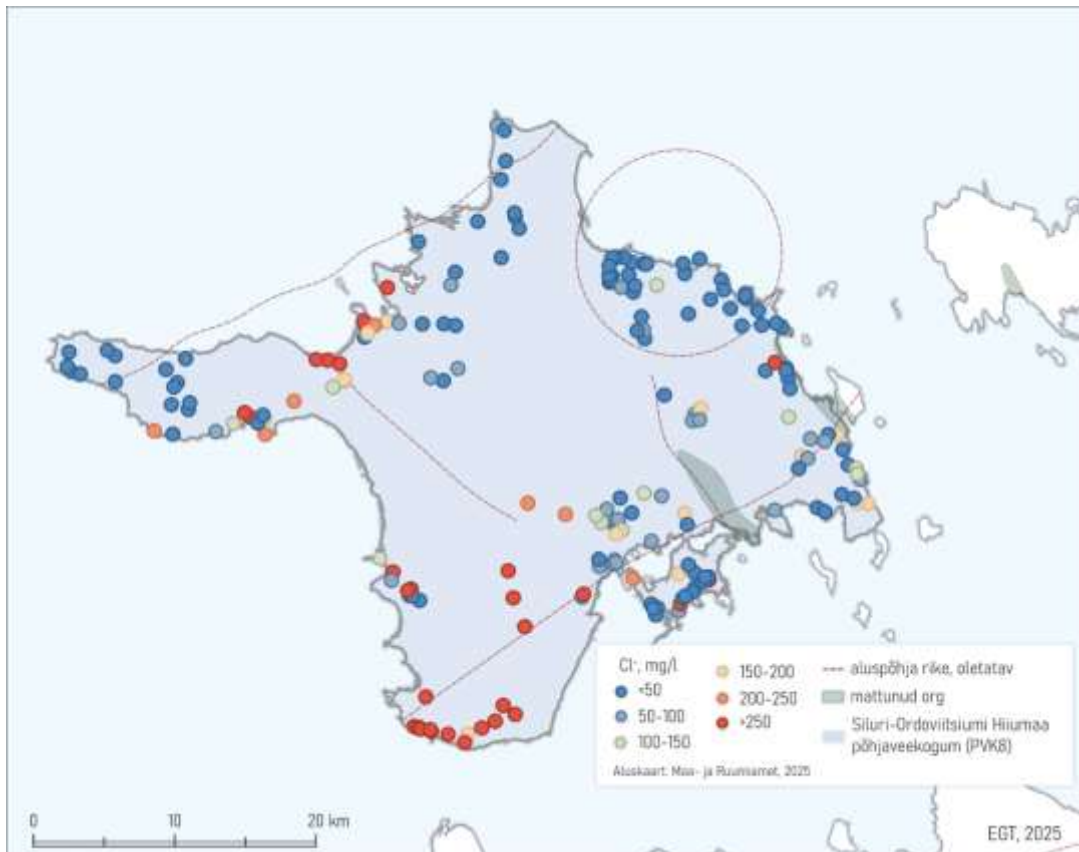
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa põhjaveekogumi (PVK nr. 8) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



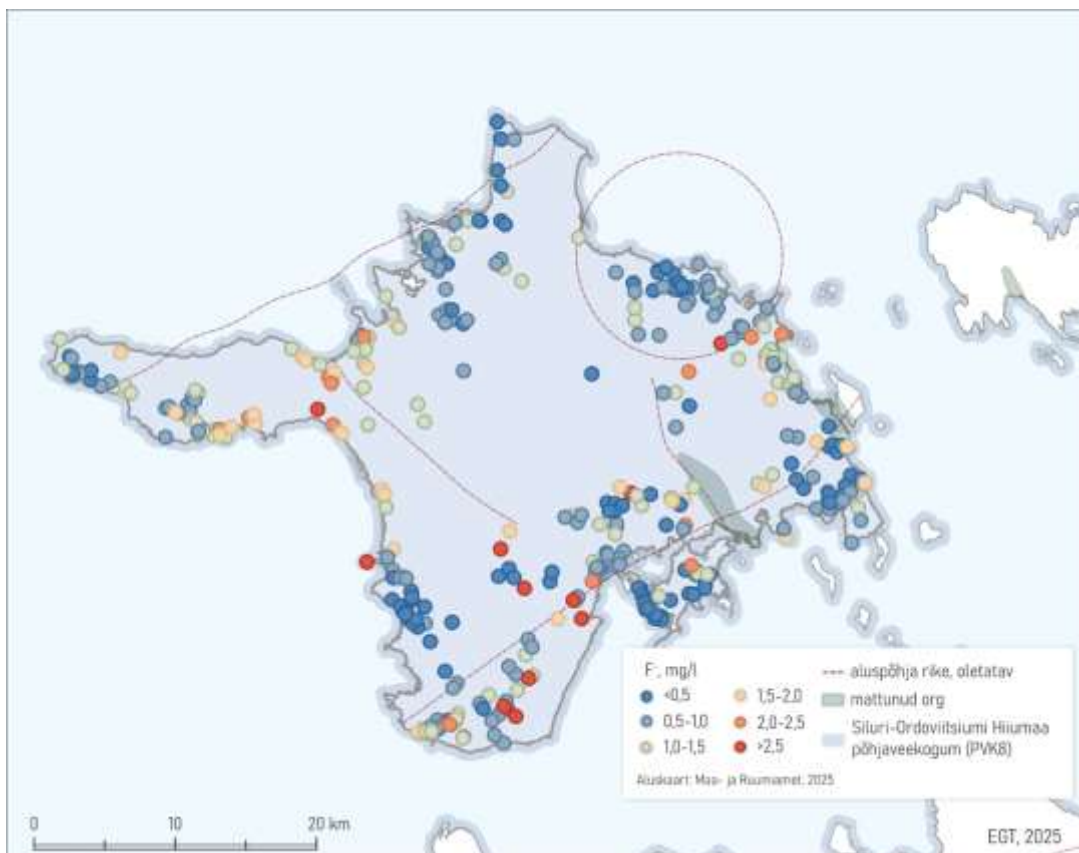
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



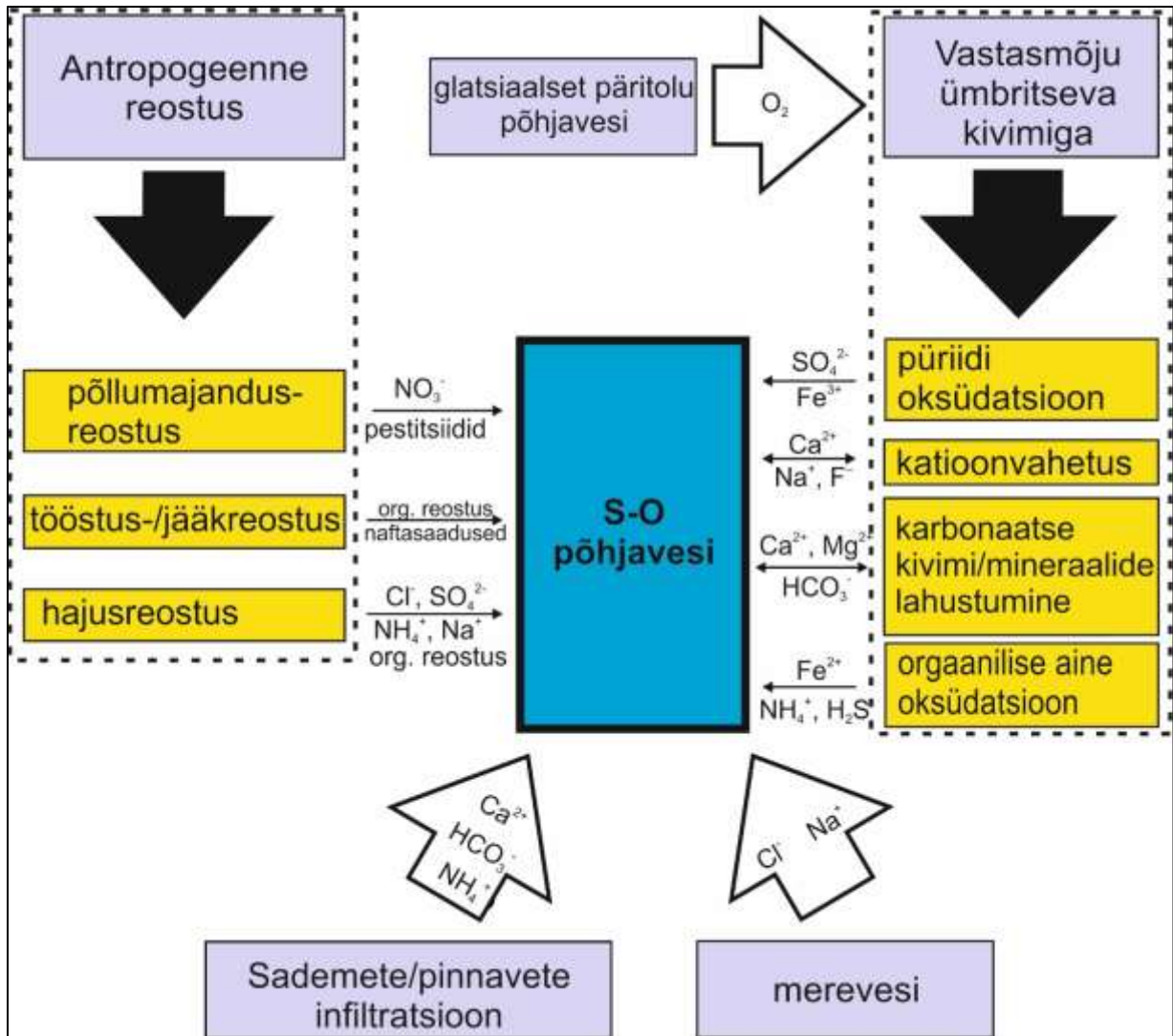
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Hiumaa põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa põhjaveekogumi põhjavee fluoriidi sisaldus.



Joonis 7. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa, Saaremaa, Matsalu, Pärnu, ja Devoni kihtide all paiknevate (S-O; PVK nr. 8-9; 11-12, 17-18) põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 3735–3748.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Raidla, V., 2020. Põhjavee keemiline koostis. Toim: Suuroja, K., Veski, A., Shtokalenko, M., Polikarpus, M., Raidla, V., Männik, M. Eesti geoloogiline baaskaart. Hiiumaa. Seletuskiri. 115-120.

PVK 9. Siluri Saaremaa põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
9	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, saared ja rannik	Kvaternaari, Siluri	Saaremaa	2881

					JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Kogumi koosseisu jäävad põhjaveekihid paiknevad Siluri ladestu kivimites ja nendel lasuvatest Kvaternaari setetes, mis on nii vertikaalses kui ka horisontaalses suunas väga muutlikud. Lääne-Saaremaal on ülekaalus lubjakivid, Ida-Saaremaal dolomiidi erimid. Juuru ja Jaani lademes aga domineerib mergel.			1
	<i>Kogumi paksus</i>	Kogumi paksus suureneb korrapäraselt lõuna suunas ulatudes Sõrve poolsaarel 100 meetrini (Perens, 2002).			1
	<i>Lasuv veepide</i>	Lasuv veepide praktiliselt puudub. Vettandvate kivimite avamusala on aluspõhjalased veekihid valdavalt kaetud 2–10 m paksuse glatsiaalsete, fluvioglatsiaalsete, limnoglatsiaalsete ja soosetetega, mis ei moodusta laiema ulatusega veepidemeid. Põhjaveekogum on maapinnalt lähtuva reostuse eest valdavalt kaitsmata või nõrgalt kaitsstud.			1
	<i>Lamav veepide</i>	Sügavuse kasvades kivimite karstumus ja lõhelisus väheneb ning valdavalt saab Siluri ja Ordoviitsiumi kivimid sügavamal kui 100 m liigitada Siluri–Ordoviitsiumi regionaalseks veepidemeks vertikaalse filtratsioonikoefitsendiga 10^{-4} - 10^{-5} m/ööpäevas.			1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Alad, kus aluspõhjakivimid vahetult maapinnal avanevad või pinnakate on õhuke (alla 2 m), hõlmavad umbes 30-40% Saaremaa territooriumist. Nende alade piires on põhjavesi vabapinnaline. Lasumussügavuse suurenedes ja kohalike paekõrgendike vahelistes nõgudes omandavad põhjaveekihid aga surveelise iseloomu.			2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Peamiseks toitealaks on Lääne-Saaremaa kõrgustik, kust toimub põhjavee liikumine radiaalselt mere poole. Lokaalseks toitealaks on ka Sõrve poolsaare keskosa. Soodsate toitumistingimustega paekõrgendikelt liigub põhjavesi kohaliku hüdrograafilise võrgu suunas, avanedes nõgudes langeallikatena. Mitmel puhul on allikad tekkinud maaparanduskraavidesse deebitiga kuni 40 L/s (Perens, 2002). Suuremad karstilehtrid asuvad Kuressaare, Mustjala ja Võhma vahelisel alal.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Põhjaveekogumi veerikkus sõltub peamiselt lõhede ja karstiõõnsuste esinemisest, mille kaudu toimub ka pinnavete infiltratsioon sügavamatesse põhjaveekihtidesse. Seal liigub vesi peamiselt mööda horisontaalseid kihtidevahelisi lõhesid. Geofüüsikalised mõõtmised näitavad, et lõhede vertikaalläbimõõt on enamasti vaid mõni kuni mõnikümmend sentimeetrit, harva üle 2 meetri (Perens, 2002).</p> <p>Olenevalt kivimite lõhelisusest ja karstumusest on põhjaveekogumi poorsus keskmiselt 0,02–0,06 ning valdavalt jääb põhjaveekihtide veejuhtivus vahemikku 50 kuni 300 m²/ööpäevas (Perens, 2002). Iseloomulik on veejuhtivuse suur pindalaline varieeruvus ning puurkaevud veejuhtivusega üle 1000 m²/ööpäevas ja 50 m²/ööpäevas võivad paikneda lähestikku (Perens, 2002).</p> <p>Kõige tugevamalt on lõhenenud ja karstunud maapinnalähedased Jaagarahu ja Rootsiküla lademe kivimid (Perens, 2002). Sügavuse suurenedes väheneb lõhelisus järsult ning Alam-Siluri Juuru, Raikküla, Adavere lademe kivimid on Saaremaal praktiliselt veetud. Saaremaa hüdrogeoloogilise läbilõike ülemised 40 m sisaldavad hinnanguliselt ligikaudu 80% Saaremaa põhjaveest (Perens, 2002).</p> <p>Maapinna lähedal (kuni 20 m sügavuseni) on kivimite horisontaalne filtratsioonikoefitsient 10–50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m jääb vahemikku 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m vahemikku 1–2 m/ööpäevas. Maapinnalähedase karstivete liikumiskiirus võib aga ulatuda kuni 5000 m/ööpäevas (Perens, 2002). Suhteliselt väikse veeanniga on kivimid Saaremaa lõunarannikul ja Sõrve poolsaarel.</p>	1

	Toitumine ja režiim	<p>Kuigi Saaremaa põhjavee toitealalt Kesk-Saaremaa kõrgustikult lähtub põhjaveevool madalamatesse piirkondadesse, esinevad soodsad toitumistingimusi ka õhukese pinnakattega kaetud paekõrgendikel. Savika pinnakattega liigniisketel aladel põhjavee toitumist ei toimu või on see vähene.</p> <p>Veetasemete kõikumise suurimad amplituudid, 2–4 m, on iseloomulikud kohalikele paekõrgendikke. ning väikseimad (0,5–1,5 m) survealadele. Veevõttust põhjustatud veetaseme ulatuslikumat alanemist ei ole täheldatud.</p>	2
--	----------------------------	--	---

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekihtide lasumussügavuse suurenemisega põhjavee mineraalsus põhjaveekogumis suureneb. Samuti suureneb põhjavee mineraalsus Saaremaa keskosast mere suunas. Lääne-Saaremaa kõrgustikul, põhjaveekogumi peamisel toitumisalal, on põhjavee mineraalsus kuni 0,3 g/L aga saare laugel kagurannikul on põhjavee mineraalsus kohati >1 g/L. Valdavalt ulatub soolase põhjavee vöönd 1,0–1,5 km kaugusele merest. Eriti märgatav on merevee mõju Saaremaa lõunarannikul, mida iseloomustab väike hüdrauline gradient. Seevastu saare läänerannikul, kus põhjavee survegradient on Lääne-Saaremaa kõrgustiku läheduse tõttu suur, mere mõju ei avaldu.</p> <p>Veekogumi ülemises osas on looduslikes tingimustes formeerunud Ca-Mg-HCO₃-tüüpi vesi, mineraalainete sisaldusega 0,3–0,5 g/L. Ranniku läheduses muutub Ca-HCO₃-tüüpi vesi algul Ca-Na-HCO₃-Cl- ning seejärel Na-Cl-HCO₃- või lausa Na-Cl-tüüpi põhjaveeks. Veekihi lasuvussügavuse suurenedes põhjavee mineraalsus suureneb ning veetüüp muutub Na-Ca-HCO₃-Cl ja lõpuks Na-Cl-tüübiks ning selle mineraalsus tõuseb 1 g/L.</p> <p>Lääne-Saaremaa kõrgustikust eemaldudes suureneb põhjavee keemilise koostises kõigi ionide sisaldus. Nii suureneb kloriidi hulk 10-20 mg/L kõrgustiku lähedal rannikualadel 100-200 mg/L, ületades mitmes paigas Saaremaa ida- ja lõunarannikul joogivees kloriidile määratud piirsaldust 250 mg/L. Suurema SO₄²⁻-sisaldusega piirkonnad (üle 100 mg/L) kattuvad samuti soolase põhjavee leviku aladega. Sulfaadisisaldus on rannikualadel kuni 200 mg/L, kuid tavapäratult suuri</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	---	-----

		<p>SO₄²⁻-sisaldus (250–330 mg/L) esineb endise Audla poldri piirkonnas. (Perens, 2002)</p> <p>Saaremaa keskosas kunagise Litoriiinamere tasemest kõrgemal ei ületa Na⁺ ja K⁺ sisaldused 10-30 mg/L. Mere suunas hakkab Na⁺ sisaldus suurenema tõustes 200-300 mg/L. Sama trendi võib täheldada ka Mg²⁺ ja Ca²⁺ puhul, kuigi nende muutused on palju stabiilsemad. HCO₃⁻ sisaldused muutuvad vastupidiselt Cl⁻ ja SO₄²⁻ sisaldustele. Saare keskosas on HCO₃⁻ sisaldused 400-500 mg/L, vähenedes ranniku suunas 200-250 mg/L. (Perens, 2002).</p> <p>Joogivee seisukohast on probleemiks looduslikud suured raua sisaldused, mis enamasti ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldust 0,2 mg/L. Põhjavee nitraatide sisaldus on üldiselt väike, ning valdavalt ei ületa 10 mg/L. Sõrve poolsaarel esineb ka suuremaid boori (kuni 1,6 mg/L) ja fluoriidi (kuni 5,5 mg/L) sisaldusi (Karro ja Uppin, 2013).</p> <p>Ohtlike ainete sisaldused kogumi põhjavees jäävad valdavalt allapoole määramispiiri või kehtestatud läviväärtuse. Suuri naftasaaduste (kuni 0,6 mg/L), fenoolide (kuni 4,1 µg/L) ja benseeni (kuni 0,1 mg/L) sisaldusi põhjavees on täheldatud saare idaosas Maadevahe endise bituumenibaasi lähedal. Põhjaveest leitavad madalad PAH sisaldused (<0,05 µg/L) on ilmselt looduslikud. Nende sisaldused ja koostis on sarnane samades kivimites Ida-Virumaal levivate PAH-ga (Raidla jt., 2023b).</p> <p>Kuna valdavalt algavad kogumi kaevude avatud osad juba 4-7 m sügavusel maapinnast on need kaevud väga tundlikud pindmise reostuse suhtes nagu pestitsiidid või fekaalne reostus. Seetõttu on joogiveeallika kvaliteedinäitajatele vastava põhjavee leidmine mitmel pool Saaremaal (Järve, Salme, Läätsa) tõsine probleem (Perens jt., 2012).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Pärast liustiku taandumist Holotseeni alguses oli põhjaveekogum täidetud liustikulist päritolu veega, mis hakkas segunema sademete infiltreerumisel tekkinud veega, kuid tulenevalt väga väikesest hüdrauilisest gradiendist ei olnud need protsessid kuigi intensiivsed (Perens, 2002). Litoriiinamere staadiumis, mil soolsus (8–15‰) ületas tunduvalt tänapäevase Läänemere soolsust Saaremaa rannikuvees (5–6‰), oli enamik Saaremaast veel</p>	7

		<p>merepõhi. Maakerge põhjustas hüdraulilise gradiendi suurenemist ja soodustas seeläbi ka veevahetust. Neotektoonilise kerke käigus algas sademete ja pinnavee infiltreerumise tulemusel ka põhjavee magedumine. Niiske ja suhteliselt jahe kliima soodustas paepinnase leostumist ning seetõttu oli Mg^{2+} ja Ca^{2+} lahustumine põhjavette üldine. Levima hakkas Saaremaal tänapäevani valdav Ca-Mg-HCO_3-tüüpi põhjavesi. See toimus eelkõige saare kesk- ja lääneosas, kus veevahetus on kiirem kui mujal saarel.</p> <p>Mõnes paksema pinnakatte ja savikamate setetega rannikupiirkonnani (Salme, Läätsa, Järve) ei ole magedumisprotsess ilmselt ulatunud, mistõttu sisemaal esinev soolane põhjavesi võib kohati osaliselt pärineda Litoriiinamerest (Perens, 2002). Liustikulise põhjavee asendumise protsess on toimumas ka Sõrve poolsaarel, mille kaguosas on leitud põhjavett $\delta^{18}O$ väärtusega -18‰ (Pärn, 2018).</p> <p>Kuna suur osa põhjaveekogumist paikneb merepinnast sügavamal, siis rannikupiirkondades on merevee mõju põhjaveele märgatav. Looduslikes tingimustes valitseb mageda põhjavee ja soolase merevee vahel hüdrodünaamiline tasakaal, mis sõltub eelkõige mageda põhjavee infiltreerumisest ehk sademete hulgast ja põhjaveekihtide veejuhtivusest. Põhjavee intensiivne tarbimine võib kohati looduslikku tasakaalu rikkuda. Kujunevad alanduslehtid hüdraulilise gradiendiga mere poolt maismaale, mis soodustab soolase merevee sissetungi põhjaveekihtidesse. Selliste protsesside kulgemiskiiruse määrab väljapumbatava vee hulga ja loodusliku toitumise vahekord. Saaremaal on sellistest protsessidest tulenevaid põhjavee mineraalsuse kõikumisi täheldatud eelkõige Orissaares. (Perens, 2002)</p>	
--	--	---	--

<p><u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (TLÜ Ökoloogia Instituut, 2015)</p>	<p>Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1166500_1 Irase • 1165400_1 Kärla • 1173500_1 Lõve • 1173300_1 Maadevahe • 1168900_1 Pidula-Veskijõgi • 1164500_2 Põduste Kaarma ojust suudmeni • 1164500_1 Põduste lähtest Kaarma ojani • 1168300_1 Vesiku • 1171300_1 Völupe
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p><i>Seisuveeökosüsteemid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2060200 Aastejärv • VEE2060300 Arasoo • VEE2070710 Jaha järv • VEE2071200 Järise järv • VEE2087000 Kaalupi laht • VEE2077100 Kaarmise järv • VEE2069900 Kardoni laht • VEE2076800 Karujärv • VEE2086600 Katri luht • VEE2059600 Laukabe järv • VEE2070600 Liisagu järv • VEE2070920 Linajärv • VEE2066920 Meelusmaa soo • VEE2070910 Navajärv • VEE2086510 Panga luht • VEE2068140 Pardikael • VEE2066900 Põdragu järv • VEE2086500 Roobimaa järv • VEE2070900 Ruusmetsa järv • VEE2068100 Saka järv • VEE2067300 Sarapiku järv • VEE2067200 Taugabe järv • VEE2080100 Tõrvalaht • VEE2086520 Väike-Roobimaa järv <p><i>Põhjaveekogumist sõltuvad olulised karstiobjektid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • LTA1002169 Koltse järv • LTA1002170 Paiküla järvik • LTA1002203 Varkja karstijärvik 1

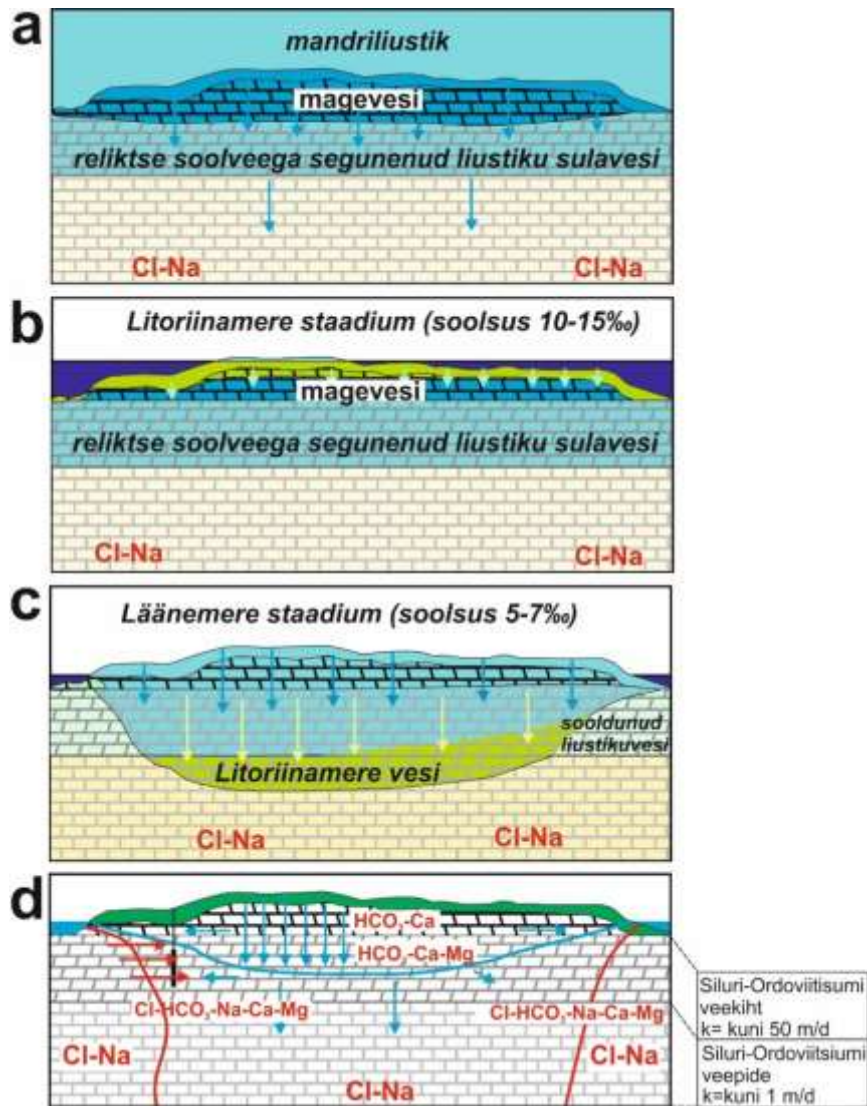
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_011 Võijärve soo • PSMÖS_012 Vahtraste allikasood • PSMÖS_013 Üügu allikasoo • PSMÖS_014 Pallasmaa soo • PSMÖS_015 Igaküla - Paenase soovikukaasik • PSMÖS_016 Suuremõisa lahe soo • PSMÖS_034 Paenase sooniit • PSMÖS_254 Saksatõuste soo • PSMÖS_255 Suurevare soomets • PSMÖS_256 Sääre Arbijalt kirdesse jääv soovikumets • PSMÖS_257 Tahula soomets • PSMÖS_258 Reo soomets • PSMÖS_259 Porsiku soomets • PSMÖS_260 Koigi soo • PSMÖS_261 Siplase soo • PSMÖS_262 Oostesoo • PSMÖS_263 Vesigu soo • PSMÖS_264 Viieristi allikasoo ja soomets • PSMÖS_265 Tammissoo • PSMÖS_266 Nurme soo • PSMÖS_267 Abruka sooviku- ja lodumets • PSMÖS_269 Pilguse sooniit • PSMÖS_270 Karala Salujärve lähine madal soo • PSMÖS_271 Elda soo • PSMÖS_272 Kuusnõmme lahe allikasoo • PSMÖS_273 Ristisoo • PSMÖS_274 Suursilm • PSMÖS_275 Kuusnõmme Soobas • PSMÖS_276 Kuusnõmme-Kiirassaare vaheline allikasoo • PSMÖS_277 Paesoo • PSMÖS_278 Kurevere Liivalõugas • PSMÖS_279 Kurevere Mädamäe allikasoo • PSMÖS_280 Kõruse kagupoolne sooniit • PSMÖS_281 Sepise-Veeremäe sood • PSMÖS_282 Kõruse Aadu madal soo • PSMÖS_283 Saka järve ümbritsev mõõkrohusoo • PSMÖS_284 Killatu järve ümbritsev mõõkrohusoo • PSMÖS_285 Sarapuu järvest põhja poole jäävad sood • PSMÖS_286 Põdragu järve ümbritsevad sood
--	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_287 Tõula järve ümbritsevad sood • PSMÖS_288 Arasoo järve ümbritsevad sooniidud • PSMÖS_289 Laukabe järve sooniit • PSMÖS_290 Undva lõunapoolsed sood • PSMÖS_291 Undva põhjapoolsed sood • PSMÖS_292 Undva idapoolsed sood • PSMÖS_293 Tühassoo • PSMÖS_294 Kaagassoo • PSMÖS_295 Tämba soo • PSMÖS_296 Narrassoo • PSMÖS_297 Narrassoost lõunasse jääv soo • PSMÖS_298 Kantsoo • PSMÖS_299 Pidula Kõrveniidi allikasoo • PSMÖS_300 Kallaste allikasoo • PSMÖS_301 Pidula-Kallaste vahelised sood • PSMÖS_302 iAbula Rannaväli • PSMÖS_303 Kooru järve ümbritsevad ja järvest ida pool asuvad sood • PSMÖS_304 Mä dara-Kurassoo • PSMÖS_305 Merise Lõuka mä tik • PSMÖS_306 Kugalepa-Ninase sooniidud • PSMÖS_307 Vanakubja sooniit • PSMÖS_308 Vörke (Käre) allikasoo • PSMÖS_309 Põhassoo • PSMÖS_310 Järise järve ümbritsevad sood • PSMÖS_311 Kadariku soo • PSMÖS_312 Suurussoo-tagune sooheinamaa • PSMÖS_313 Linnassoo • PSMÖS_314 Liivaranna sooniit • PSMÖS_315 Taguliisoo • PSMÖS_316 Virbisoo • PSMÖS_317 Järveküla järve soo • PSMÖS_318 Alvessoo • PSMÖS_319 Lestsoo-Karussoo • PSMÖS_320 Jäitsaka soo • PSMÖS_321 Liigalaskma-Maasi soometsad • PSMÖS_322 Kingli soo • PSMÖS_323 Viltina-Ruhve vaheline madal soo • PSMÖS_324 Kõiguste madal soo • PSMÖS_325 Maadevahe jõe paremkalda madal soo • PSMÖS_326 Tõnija Rannaküla kirdepoolne sooniit • PSMÖS_327 Tõnija-Kallemäe vaheline soo
--	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_328 Tõnija Rannaküla mõõkrohusoo • PSMÖS_329 Kangruselja Matsiranna - Tõlluste vaheline soo ja ümbritsevad sooniidud ja -metsad • PSMÖS_330 Sandla Väljaküla lõunapoolne rannasoo • PSMÖS_331 Kasti roog-, allika- ja õõtsiksoo • PSMÖS_332 Kasti läänepoolne sooviku- ja soomets • PSMÖS_333 Muratsi - Kudjape vaheline madal soo • PSMÖS_334 Upa lahe madal soo • PSMÖS_335 Pähklast kirde poole jäävad sood • PSMÖS_336 Raavi-Unimäe soo • PSMÖS_337 Rangi soo • PSMÖS_338 Ärgessoo • PSMÖS_339 Linnulahte ümbritsev soo • PSMÖS_340 Suurlahte ümbritsevad ning Mullutu ja Suurlahe vahele jäävad sood • PSMÖS_341 Vägara lahest läände jäävad sood • PSMÖS_342 Kõrkküla sooniit • PSMÖS_343 Haavassoo metsa soo • PSMÖS_344 Haavassoo • PSMÖS_345 Naarisma paju • PSMÖS_346 Sõjaoja ümbruse madal soo • PSMÖS_347 Põlema metsa sooniidud • PSMÖS_348 Täiassoo • PSMÖS_349 Lümanda Suurissoo • PSMÖS_350 Kivesselja soomets • PSMÖS_351 Marissoo põhjaserva madal soo • PSMÖS_352 Pikassoo • PSMÖS_353 Sõapaju • PSMÖS_354 Pätsumaa soo • PSMÖS_355 Viidumäe Audaku-alune allikasoo • PSMÖS_356 Tagassoo-Nakissoo • PSMÖS_357 Vahtrassoo • PSMÖS_358 Viidumäe Audaku-tagused soometsad • PSMÖS_359 Tirissoo • PSMÖS_360 Vanatsoo • PSMÖS_361 Sarapiku soo • PSMÖS_362 Lääbassoo • PSMÖS_363 Mädasoo (Auksaare soo) • PSMÖS_364 Kaarmise Jäärambu soo • PSMÖS_365 Saarusoo
--	--	---

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

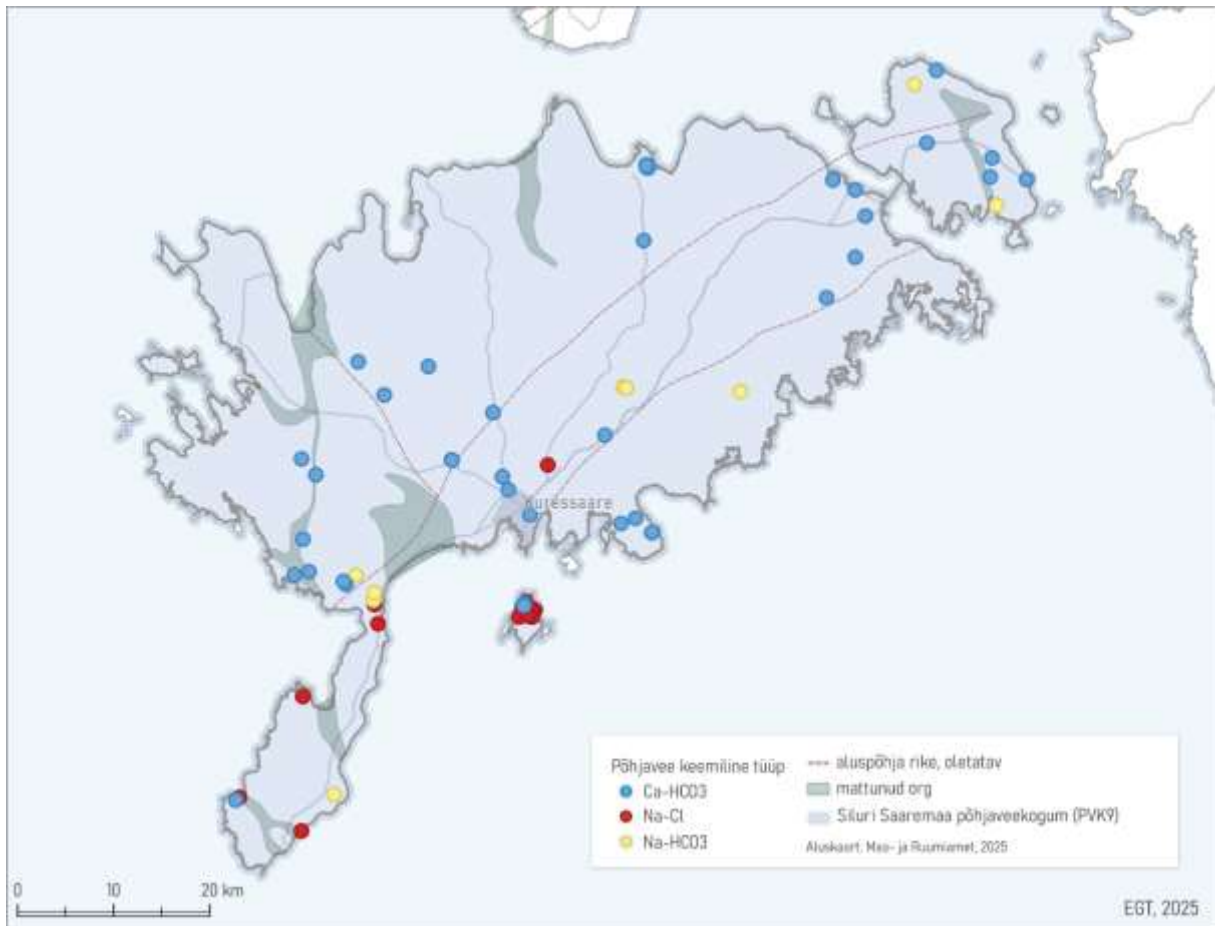
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	126090
	Põhjavee kinnitatud varu	6100
	Põhjaveevõtt 2023. a	4150
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	1950
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	119990
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	121940



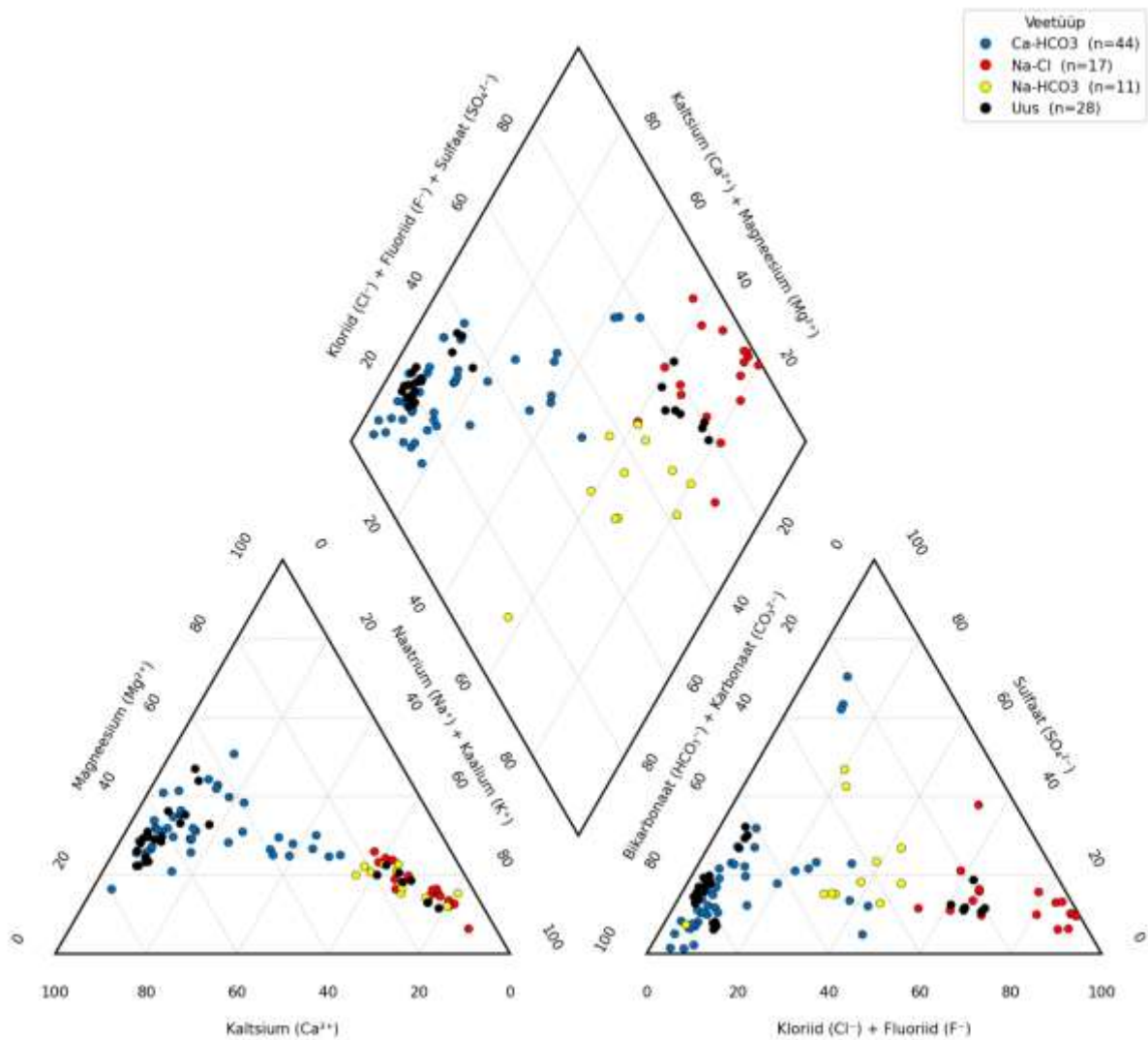
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiu- ja Saaremaa põhjaveekogumite (PVK nr. 8-9) kontseptuaalse mudeli läbilõige. (a)–(d) Põhjavee kujunemine Lääne-Eesti saartel jääaja lõpust kuni tänapäevani koos Läänemere arengustaadiumitega.



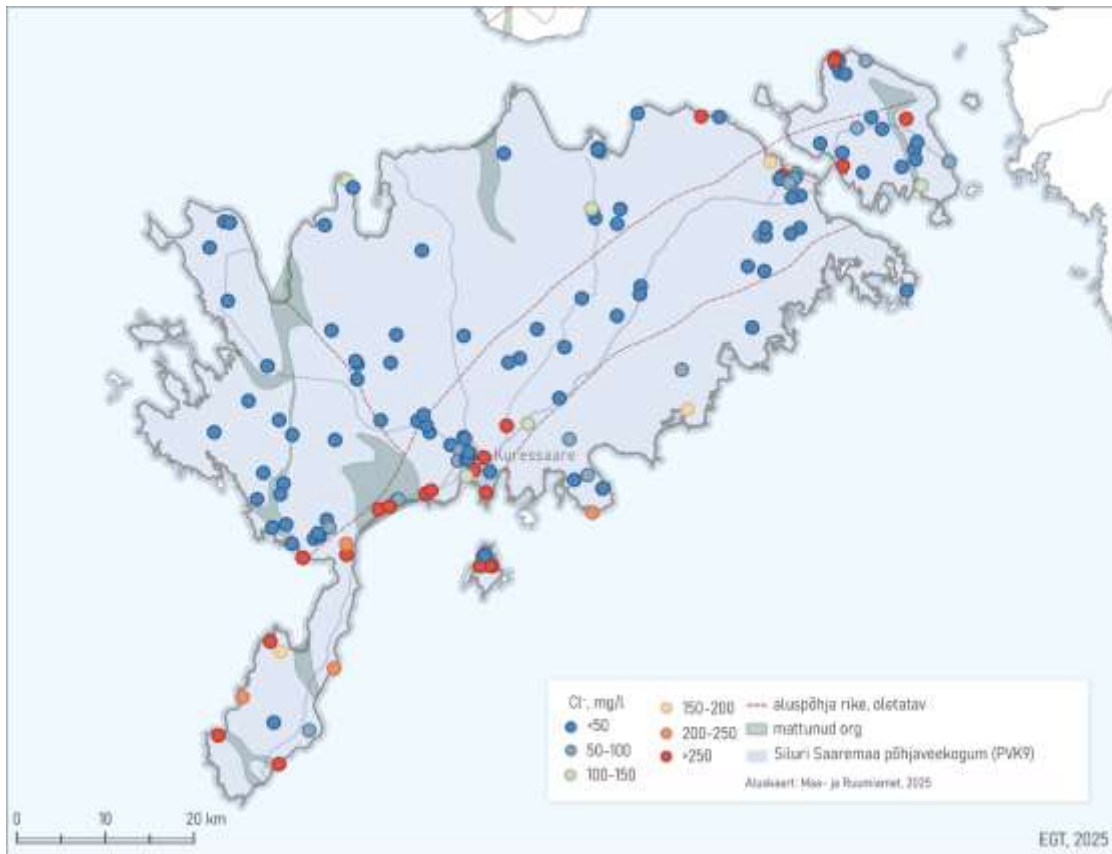
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Saaremaa põhjaveekogumi (PKV nr. 9) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PKS – põhjaveekogumiga seotud.



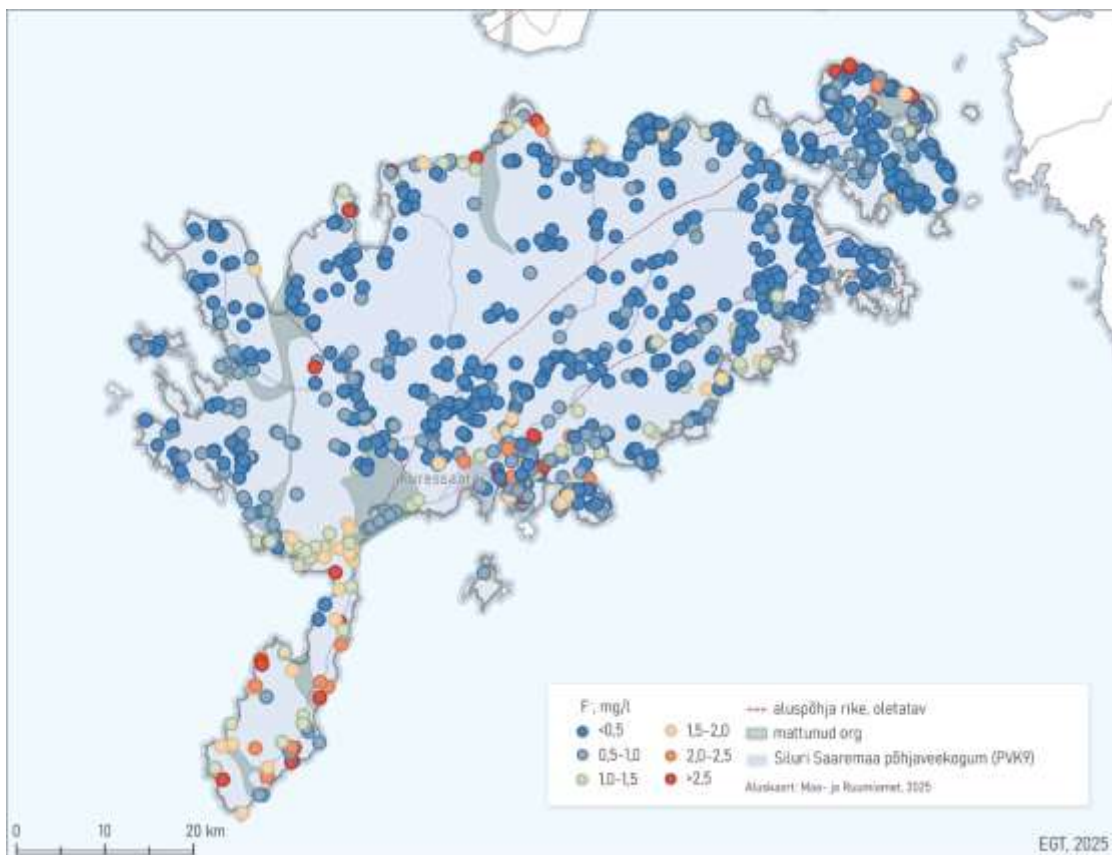
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Saaremaa põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



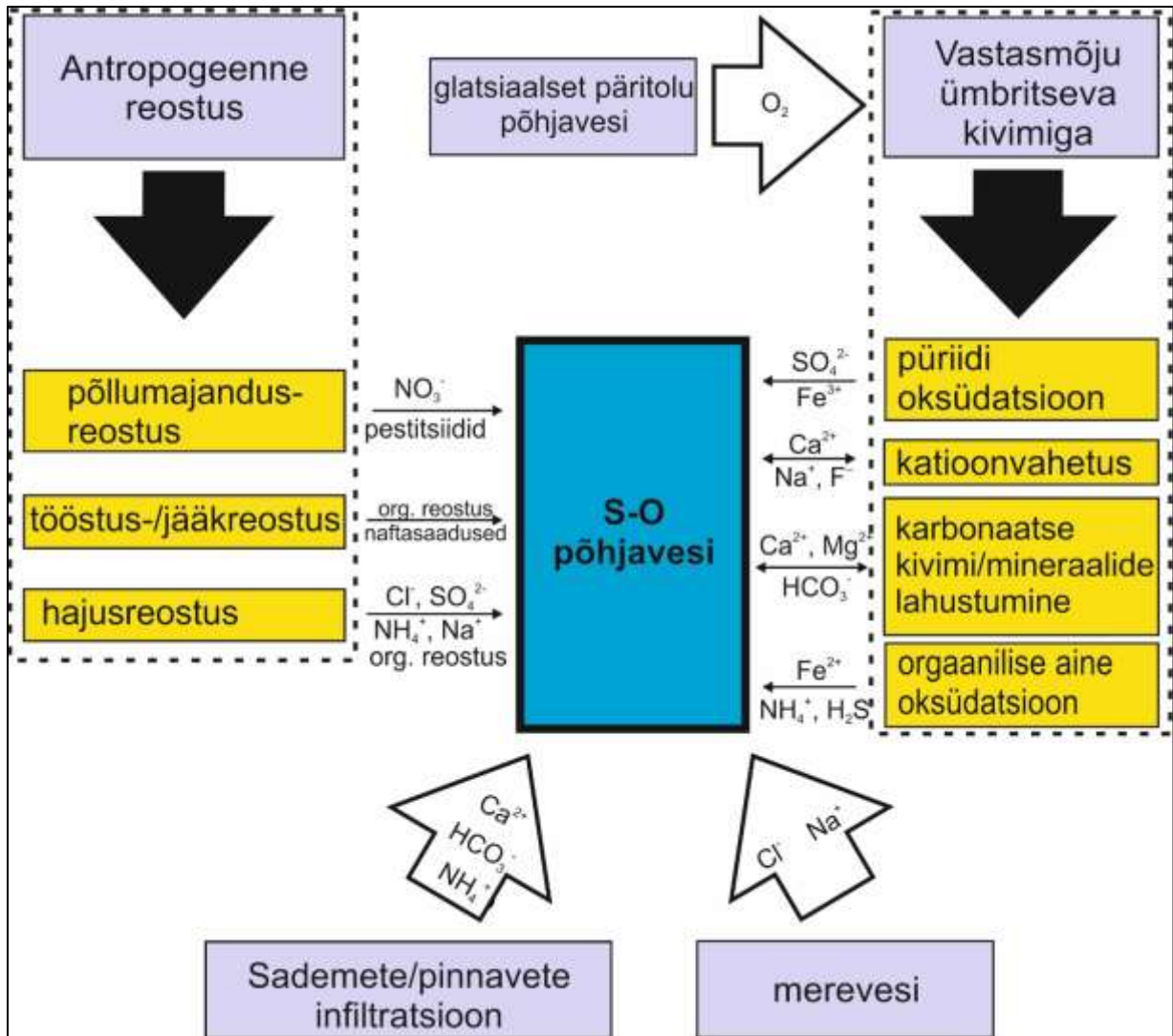
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Saaremaa põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Saaremaa põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Saaremaa põhjaveekogumi põhjavee fluoriidi sisaldus.



Joonis 7. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa, Saaremaa, Matsalu, Pärnu, ja Devoni kihtide all paiknevate (S-O; PVK nr. 8-9; 11-12, 17-18) põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3735–3748.

Perens, R., 2002. Põhjavesi. Kogumikus: Saaremaa: Aeg, loodus, inimene (peatoimetaja) Kään, H. Eesti entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 87–94.

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

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

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

PVK 10. Siluri–Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
10	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Harjumaa, Raplammaa, Järvamaa, Läänemaa, Lääne-Virumaa	5655

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Põhjaveekogumit moodustavate kivimite valdav osa koosneb mitmesugustest Ordoviitsiumi ladestu lubjakivi ja dolomiidi erimitest, milles esinevad mergli vahekihid ning nendel lasuvatest Kvaternaari põhjaveekihtidest. Peamised kogumi piires levivad Kvaternaari setted on soosetted (peamiselt turvas), jääjärvelised saviliivad, liivsavid ja viirsavid ning saviliivmoreen. Kvaternaari põhjaveekihtidest olulisim on Kuusalu lähedal paiknev fluvioglaatsiaalsetest setetest (erineva terasuurusega liiv ja kruus) koosnev põhjaveekiht, milles varasema põhjaveekogumite nimestiku järgi paiknes Kvaternaari Kuusalu põhjaveekogum (nr. 30).	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Paksus muutub suurtes piirides. Põhja-Eesti klindi lähikonnas on see ~10 meetrit, ent lõunasuunas suureneb 75–100 meetrini, hõlmates aluspõhja karbonaatkivimite vettandva ülemise osa.	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Kogum kuulub ülalt esimesse valdavalt vabapinnalise põhjaveekihti, kus väljapeetud lasuv veepide enamasti puudub. Karbonaatkivimeid katvaks kohalikuks veepidemeks võib olla moreen või jääjärveline liivsavi, mille transversaalne (ligikaudu vertikaalsuunaline) filtratsioonikoefitsient on enamasti 10^{-2} kuni 1 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Tõhusaks lasuvaks veepidemeks on laiguti esinev viirsavi transversaalse filtratsioonikoefitsiendiga $\leq 10^{-4}$	1

		m/ööpäevas. Ordoviitsiumi karbonaatkivimite horisontaalne ja vertikaalne veejuhtivus muutub laiades piirides sõltuvalt sügavusest, tektooniliste lõhede ja karstiõõnsuste ning murrangute olemasolust. Ordoviitsiumi karbonaatkivimites esineb kümnete kilomeetrite ulatuses levivaid kohalikke veepidemeid, mille transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-5} – 10^{-2} m/ööpäevas.	
	Lamav veepide	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Siluri–Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad Põhja-Eestis Türisalu kihistu graptoliitargilliid, Leetse kihistu glaukoniitliivakivi, Toila kihistu savikate vahekihtidega glaukoniitlubjakivi ning kogu aluspõhja karbonaatkivimite kompleks, mis lasub sügavamal kui 75–100 m maapinnast. Nimetatud sügavustest allpool väheneb järsult karbonaatsete kivimite lõhelisus ja nende veeandvus (Perens & Vallner, 1997). Siluri-Ordoviitsiumi regionaalse veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	1
	Põhjavee survepind	Põhjaveetaseme sügavus sõltub reljeefist ja kohalikest veepidemetest. Kui kohalike veepidemete vertikaalne filtratsioonikoefitsient on väike, siis nendest allapoole jäävates kihtides on vesi survealine. Põhjavee survepind jääb harilikult 2–5 m sügavusele maapinnast. Kohalikel paekõrgendikel võib põhjavee miinimumtase olla 10–15 m sügavusel maapinnast. Rannikupiirkonnas, jõeorgudes ja Pandivere kõrgustiku jalamil ulatub põhjavee survepind kohati üle maapinna. Seal esineb tõusuallikaid ja leidub ülevoolavaid arteesiaakaevu.	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee liikumise üldsuuna määravad Pandivere kõrgustiku ja Harju lavamaa kõrgemad osad kui põhilised veelahkmealad. Pandivere kõrgustikult ja Harju lavamaalt liigub põhjavesi valdavalt loode- ja põhjasuunas. Soodsate toitumistingimustega kohalikest paekõrgendikelt liiguvad ülemised põhjaveevoolud kohaliku hüdrograafilise võrgu suunas (Perens jt., 2012).	2
-----------------------	--------------------	---	---

	<p>Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus</p>	<p>Kogumile on iseloomulik vett sisaldavate lõhede ja nendega seotud põhjaveekihtide hüdraulilise juhtivuse kiire vähenemine koos kihtide lasumussügavuse suurenemisega. Eriti torkab silma vett sisaldavate horisontaalsete lõhede sage esinemine erineva litoloogilise koostisega kivimite kontaktaladel (Perens & Vallner, 1997). Maapinnast kuni 20 m sügavuseni ulatuva aluspõhja karbonaatkivimite kihistiku lateraalne filtratsioonikoefitsient on valdavalt 10–50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m jääb see vahemikku 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m vahemikku 1–2 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Kõrvuti asuvate puurkaevude proovipumpamiste alusel arvatud kihtide veejuhtivuse parameetri väärtused võivad varieeruda vahemikus 50-1000 m²/ööpäevas. Valdavalt on kogumi kihtide veejuhtivus 30–300 m²/ööpäevas. Olenevalt kivimite lõhelisusest ja karstumisest muutub poorsus enamasti vahemikus 0,02–0,06. Põhjavee liikumise tegelik kiirus on väga erinev. Karstialadel (nt Tuhala, Kostivere) võib maapinnalähedase karstivee liikumise kiirus olla 5000–8000 m/ööpäevas ja kohati isegi suurem (Koit jt., 2017). Lateraalse põhjaveevoolu kiirus jääb looduslikes tingimustes tavaliselt vahemikku 1–10 m/ööpäevas. Põhjavee liikumise kiirus mööda subvertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on tunduvalt aeglasem ja jääb enamasti vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p>	1
	<p>Toitumine ja režiim</p>	<p>Põhjavesi toitub sademete ja lume sulavetest kõikjal, kus põhjavee vabapinna kohale jääb pinnase aeratsioonivöö. Savika pinnakatte puhul, eriti viirsavide levikualadel ja madalsoodes, on põhjavee toitumise intensiivsus suhteliselt väike. Põhjavee toitumine ja looduslik põhjaveetasemete muutuste režiim sõltuvad eelkõige sademete hulgast ja õhutemperatuurist. Tavaliselt võib aasta jooksul täheldada põhjavee tasemete kahte sesoonsel maksimumi ja miinimumi. Esimesed seostuvad kevadise lumesulamise ja sügisese sademeterohke perioodiga. Minimaalseid tasemeid tingib põhjavee toitumise vähenemine suvel, kui sademed peaaegu ei jõua põhjavette suurenenud aurumise ja taimede</p>	1

		<p>kasvuga seotud niiskuse transpiratsiooni tõttu. Veetasemete kõikumise suurimad amplituudid (kuni 3 m) esinevad kohalikeks veelahkmeteks olevatel paekõrgendikel. Survelise põhjaveevoolu transiit- ja väljaladadel ei ole survepinna aastane kõikumisamplituud harilikult suurem kui 0,5 m.</p>	
--	--	--	--

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogum on looduslikes tingimustes valdavalt esindatud kaltsiidi ja dolomiidi lahustumisel tekkinud Ca-HCO₃ tüüpi veega, mille mineraalsus on 0,3–0,5 g/L. Paiguti esineb ka Ca-HCO₃-SO₄ ja Na-HCO₃ tüüpi põhjavett.</p> <p>Maapinnalähedased põhjaveekihid kogumis on maapinnalt lähtuva reostuse eest enamasti nõrgalt kaitstud. Joogiveena kasutamisel on kõige sagedamini probleeme kogumis oleva vee suure loodusliku rauasisaldusega (keskmiselt ~0,7 mg/L), mis harva vastab joogivee kvaliteedinõuetele. Kohati valmistavad probleeme ka ammoniumi (kuni 3 mg/L) ja fluoriidi (kuni 1,6 mg/L; Karro & Uppin, 2013) joogiveele lubatud piirsisaldusest suuremad sisaldused. Nitraatide sisaldus on üldiselt väike olles enamasti ≤10 mg/L. Siiski on kogumist nitraaditundlikuala seire käigus tuvastatud ka sisaldusi, mis on >50 mg/L ehk ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldust (Tamm & Leisk, 2024). Riikliku põhjaveeseire käigus on kogumi loodeosa (Nõva) põhjaveest tuvastatud suur KHT sisaldus (kuni 20 mg/L), mis ületab joogivee piirsisaldust 5 mg/L (Tamm & Leisk, 2024).</p> <p>Ohtlike ainete sisaldused on valdavalt alla määramispiiri või kehtestatud läviväärtuse. Suuri naftasaaduste, benseeni, fenoolide ja PAH-e sisaldusi on täheldatud jääkreostusobjektide (nt. 2006. aastal Kose-Risti ABT, Riisipere ABT) mõjupiirkonda jäävates kaevudes, kuid üldiselt jäävad nende ainete sisaldused põhjaveekogumis alla labori määramispiiri (Tamm & Leisk, 2024).</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	--	-----

	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Põhjaveekogumist tehtud vähesed isotoopkoostise määrangud (Savitskaja jt., 1997; Raidla jt., 2016) näitavad, et valdavalt on kogumi isotoopkoostis sarnane maapinnalähedastes põhjaveekihtides leviva tänapäeva sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee isotoopkoostisega ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused vahemikus $-11,8$ kuni $-14,7\text{‰}$). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni mööduka veevahetuse vööndise. $\delta^{18}\text{O}$ väärtused $\leq -14\text{‰}$ viitavad aeglasemale veevahetusele ja on omased põhjaveekihtide neile osadele, mis paiknevad kogumi toitealadest kaugemal või geoloogilises läbilõikes sügavamal (Pärn, 2018).</p> <p>Põhjavee looduslikku keemilist koostist on mõjutanud karbonaatsete mineraalide lahustumine ja vähemal määral ka püriidi ja orgaanilise aine oksüdeerumine. Põllumajanduses kasutatavate mineraalväetiste ja sõnniku toimel on põhjavee nitraatide kontsentratsioon suurenenud looduslikult tasemelt (<5 mg/L) lokaalselt kuni väärtusteni >50 mg/L (Tamm & Leisk, 2024).</p>	7
--	--	--	---

<p style="text-align: center;">Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega (Vainu, jt. 2025)</p>	<p style="text-align: center;">Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1094100_1 Harku • 1087900_3 Jõelähtme karstist suudmeni • 1087900_1 Jõelähtme lähtest Silmsi ojani • 1087900_2 Jõelähtme Silmsi ojast karstini • 1083500_2 Jägala Ambla jõest Soodla jõeni • 1083500_4 Jägala Jägala joast suudmeni • 1083500_3 Jägala Soodla jõest Jägala joani • 1085000_2 Jänijõgi Jäneda Veskijärve paisust suudmeni • 1083100_1 Kaberla • 1096100_2 Keila Atla jõest Keila joani • 1096100_1 Keila lähtest Atla jõeni • 1089100_1 Kroodi • 1090500_2 Kuivajõgi Kose-Uuemõisa karstiala väljavoolust suudmeni • 1093100_1 Kurna • 1082500_1 Kuusalu • 1089200_3 Pirita Kuivajõest Vaskjalani • 1089200_2 Pirita Sae paisust Kuivajõeni • 1089200_4 Pirita Vaskjalalt suudmeni • 1080600_2 Pudisoo Kolga/Männiku jõest suudmeni • 1087000_3 Soodla veehoidla paisust suudmeni • 1085300_1 Tarvasjõgi • 1079200_2 Valgejõgi Niinemäe kraavist suudmeni • 1099200_1 Vasalemma lähtest Munalaskme ojani • 1099200_2 Vasalemma Munalaskme ojast suudmeni • 1093000_1 Vaskjala-Ülemiste kanal • 1089000_1 Võerdla
--	--	--

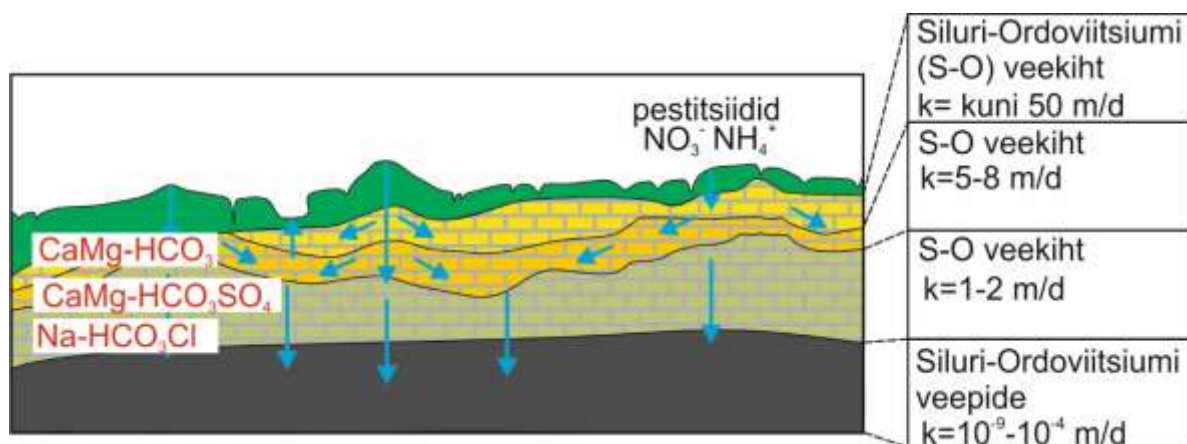
	<p>Seotud</p> <p>seisuveeökosüsteemid</p> <p>ja karstiobjektid</p>	<p><i>Seisuveeökosüsteemid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2019300 Allikajärv (Peraküla Allikajärv) • VEE2028600 Hindaste järv • VEE2030100 Järlepa järv • VEE2041300 Kadja järv / Põlliku järv • VEE2001600 Kahala järv • VEE2021600 Kalijärv (Jäneda Kalijärv) • VEE2031700 Kautla järv • VEE2021700 Kernu järv (Kõrveküla Kernu järv) • VEE2005500 Klooga järv • VEE2008000 Köverjärv (Jussi Köverjärv) • VEE2006500 Limu järv • VEE2007800 Linajärv (Jussi Linajärv) • VEE2031100 Lindjärv • VEE2005910 Maardu järv • VEE2002400 Mähuste järv • VEE2020800 Nikerjärv • VEE2006900 Paukjärv • VEE2007900 Pikkjärv (Jussi Pikkjärv) • VEE2002900 Pikkjärv (Järvi Pikkjärv) • VEE2002800 Pärnjärv • VEE2029200 Ruila järv • VEE2030400 Rõõsa järv • VEE2005220 Stor-vadi • VEE2005110 Stortráske • VEE2020500 Suur Kalajärv • VEE2009300 Suurjärv (Jussi Suurjärv) • VEE2019200 Toatse järv • VEE2005600 Tõlinõmme järv • VEE2028300 Tänavjärv • VEE2021000 Urbukse järv • VEE2029000 Valgejärv (Turvaste Valgejärv) • VEE2019100 Väike-Toatse järv • VEE2020510 Väike Kalajärv • VEE2020600 Änni järv <p><i>Põhjaveekogumist sõltuvad olulised karstiobjektid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ahisilla karstijärvik • LTA1002174 Kustja karstijärvik 1 • LTA1002173 Kustja karstijärvik 2
--	---	---

	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_134 Lepajõe madal soo • PSMÖS_135 Väike-Pakri Djupmosan • PSMÖS_136 Tõlinõmme soometsad • PSMÖS_137 Niitvälja soo • PSMÖS_138 Klooga soo • PSMÖS_140 Ääsmäe rabast läände jääv madal soo • PSMÖS_141 Kabila soo • PSMÖS_142 Vaharu lammisoo • PSMÖS_143 Allika idapoolne madal soo • PSMÖS_144 Ruila järvest lõunasse jäävad madal sood ja soometsad • PSMÖS_145 Orkjärve raba • PSMÖS_146 Valgejärve soo • PSMÖS_156 Kriidisoo • PSMÖS_157 Rutkamäe alune soo • PSMÖS_212 Jäneda Sini allika allikasoo • PSMÖS_214 Übina soo • PSMÖS_215 Kämbla põhjapoolsed madal sood • PSMÖS_216 Paraspõllu soo • PSMÖS_217 Perila soo • PSMÖS_218 Parilast lõunasse ja kagusse jäävad sood • PSMÖS_219 Aruküla soost lõunasse jääv soomets • PSMÖS_220 Seli läänepoolsed madal sood • PSMÖS_225 Verisoo ja ida poole jäävad sood • PSMÖS_226 Hirsisoo • PSMÖS_227 Kakerdaja raba põhjaosa soometsad • PSMÖS_228 Tolmatsi mets • PSMÖS_229 Lillesoo edelaosa soomets • PSMÖS_230 Treimani oja äärne soo • PSMÖS_231 Riistakõrve-Rohussaare soometsad • PSMÖS_232 Soodla jõe äärsed sood • PSMÖS_233 Salurabast loodesse jäävad soometsad • PSMÖS_234 Jussi järvedest kirdesse jäävad soometsad • PSMÖS_235 Paukjärvest läände jääv soomets • PSMÖS_236 Kaanjärvede-Kobrujärve soomets • PSMÖS_237 Stora-backan • PSMÖS_238 Vansi sooniidud • PSMÖS_249 Kulna madal sood • PSMÖS_251 Leppoja äärsed sood • PSMÖS_392 Laeksaare rabast ida poole jäävad soometsad • PSMÖS_393 Matsimäe teeäärne soo • PSMÖS_398 Vargamäest lääne poole jääv soomets
--	--	---

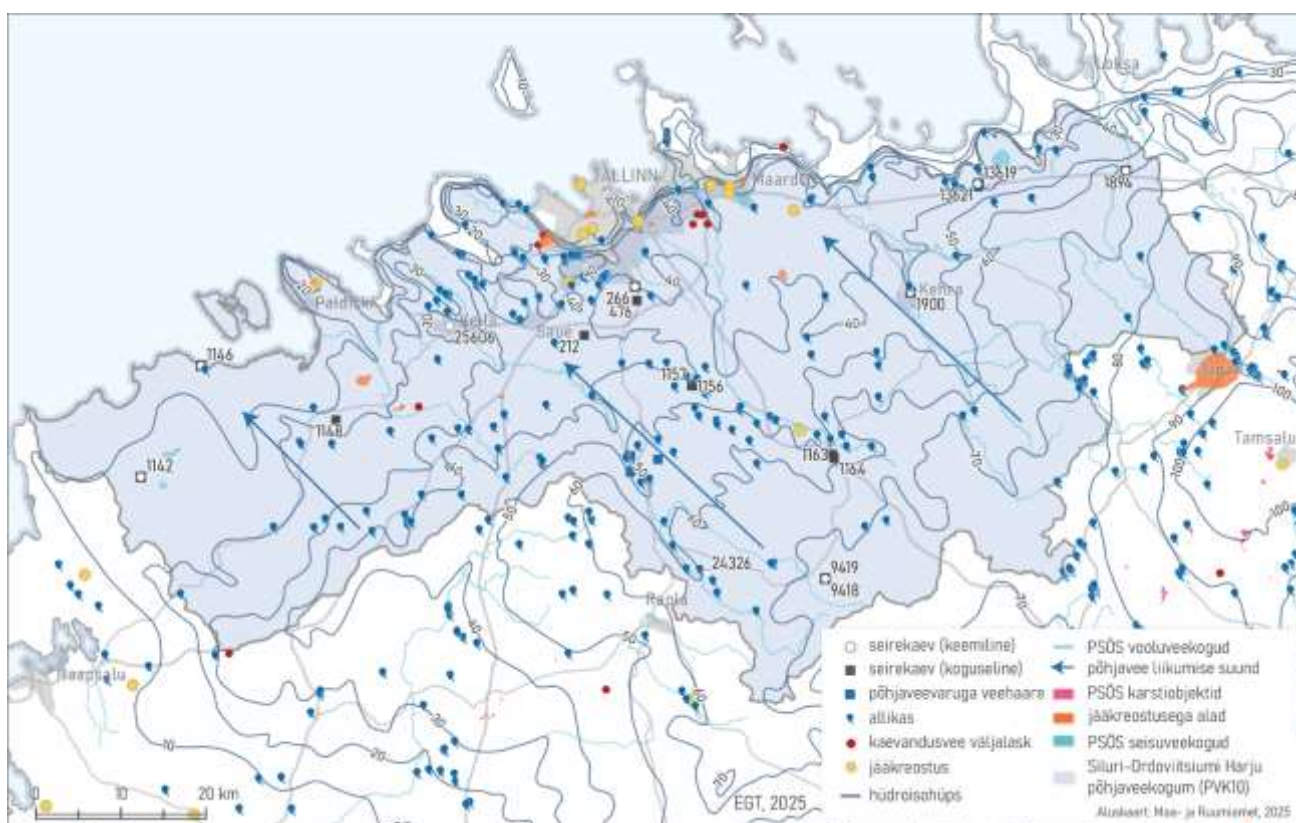
		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_401 Tartussaare Eesjärve õõtsiksoo • PSMÖS_405 Tusarilt läände jääv soomets • PSMÖS_406 Peraküla soo • PSMÖS_407 Peraküla Allikajärve äärne soo • PSMÖS_408 Peraküla Mustjärve ümbritsevad sood • PSMÖS_409 Peraküla Mustjärvest loodesse jäävad luitenõod • PSMÖS_411 Leidisoo • PSMÖS_415 Vaisist põhja jäävad sood • PSMÖS_434 Piirsalu Kabeli sooniit • PSMÖS_435 Läänemaa Suursoo • PSMÖS_436 Näkujärve-tagused luidetevahelised nõod • PSMÖS_439 Selidealune soo • PSMÖS_541 Keava soost itta jäävad soometsad • PSMÖS_542 Venemäe soo • PSMÖS_543 Nipernaadi kraavi soomets • PSMÖS_544 Paluküla Nipernaadi madal soo • PSMÖS_545 Paluküla Nipernaadi kagupoolne soo • PSMÖS_546 Loosalu rabast põhja jääv soomets • PSMÖS_549 Nutu Kangrult kirdesse jääv soomets ja Vaopere kirdepoolne madal soo • PSMÖS_550 Üldemäe soo • PSMÖS_551 Ammassaare soo madal soo-osa • PSMÖS_552 Kolgu raba ümbritsevad madal sood ja soometsad • PSMÖS_553 Puna raba madal soo-osa ja lähikonna soometsad • PSMÖS_554 Visja Vainuallika allikasoo • PSMÖS_555 Tõdva soo • PSMÖS_556 Rabivere rabast kirdesse jäävad soometsad • PSMÖS_558 Kohatu Nõukse tagune madal soo
--	--	--

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

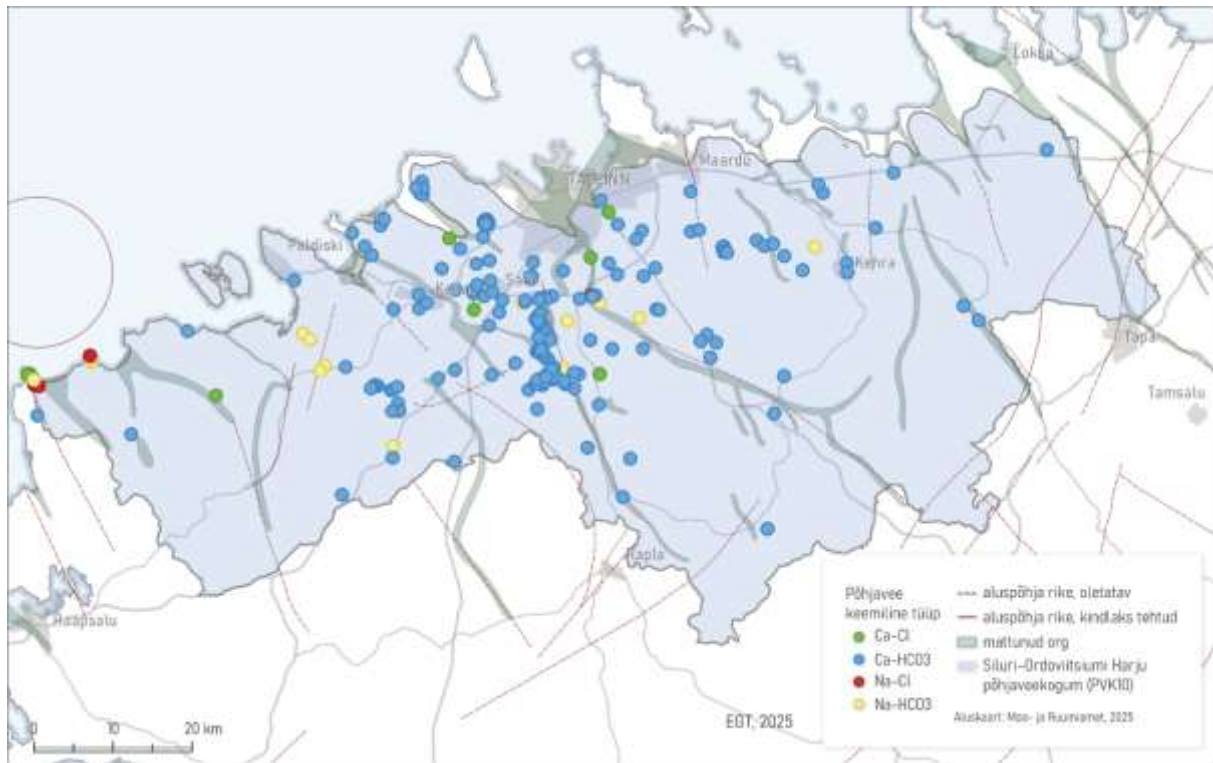
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	756654
	Põhjavee kinnitatud varu	2231
	Põhjaveevõtt 2023. a	7409
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-5178
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	754423
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	749244



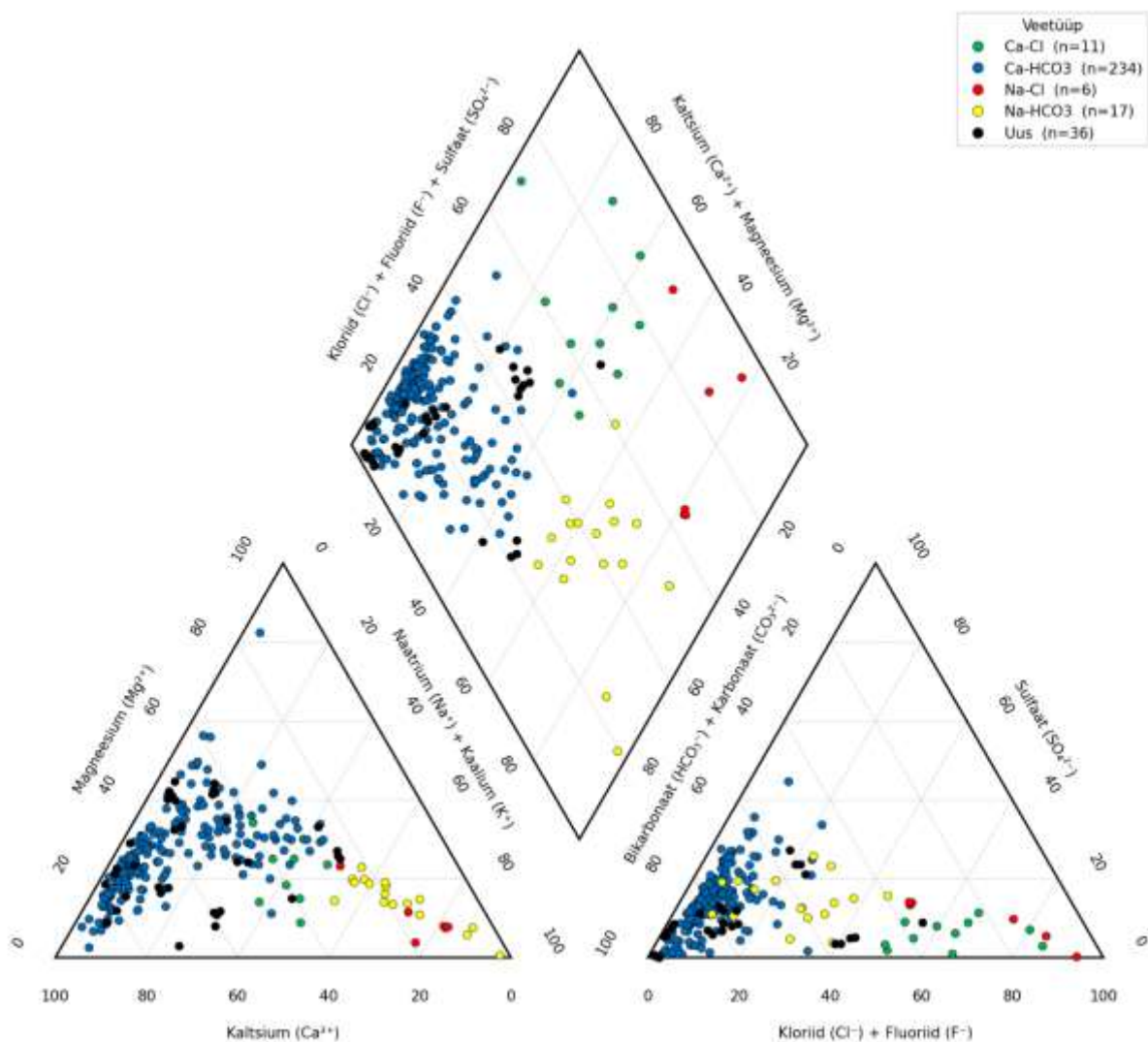
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumi (PVK nr. 10) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



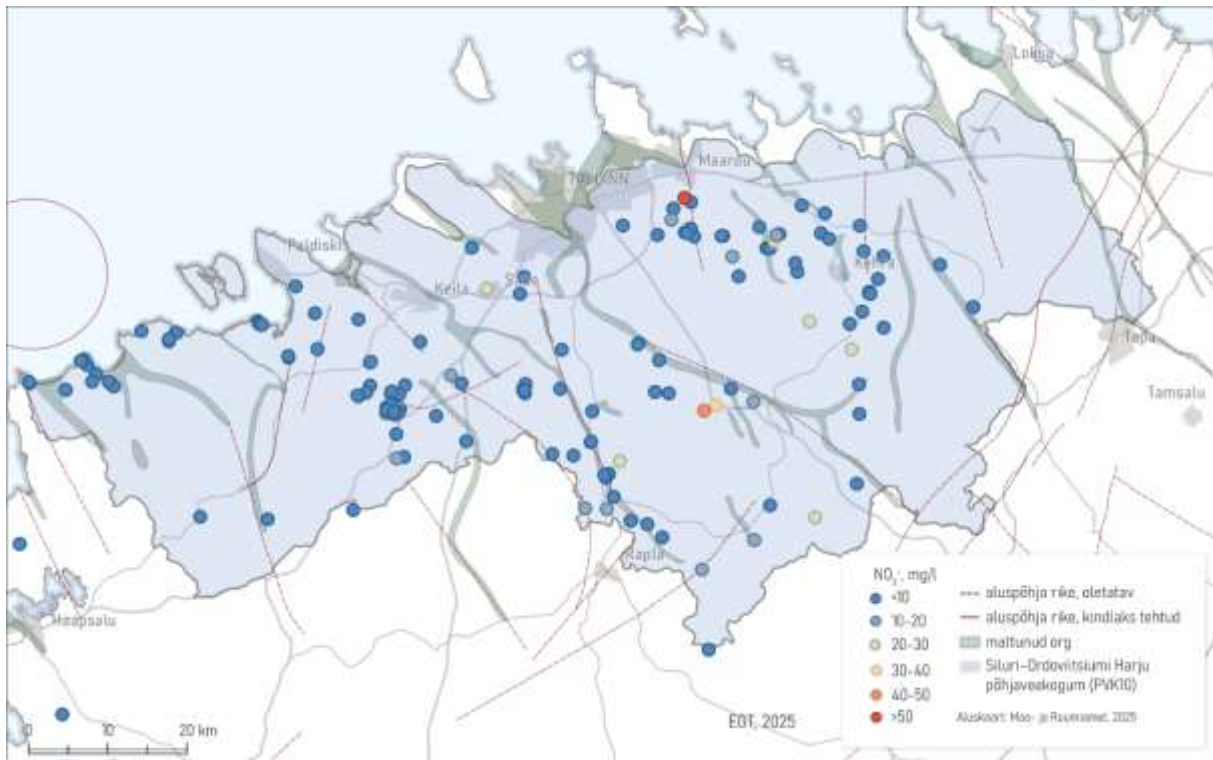
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumi (PVK nr. 10) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



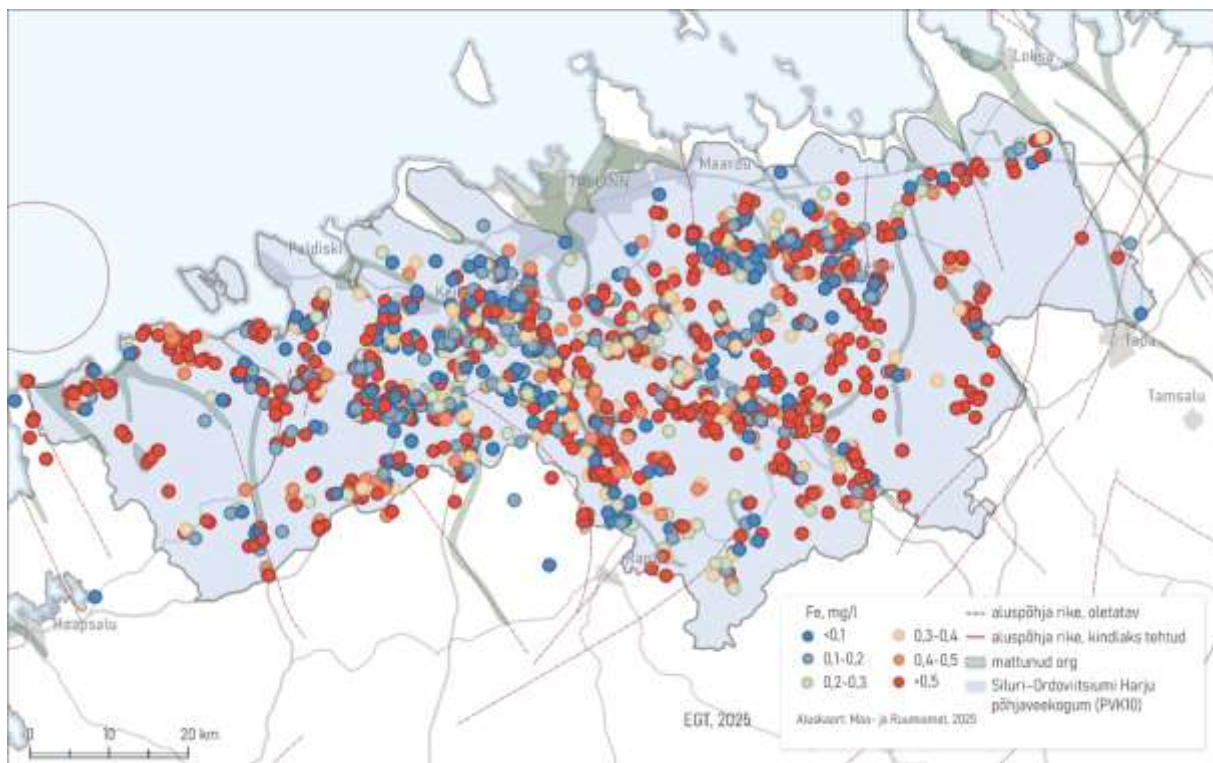
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



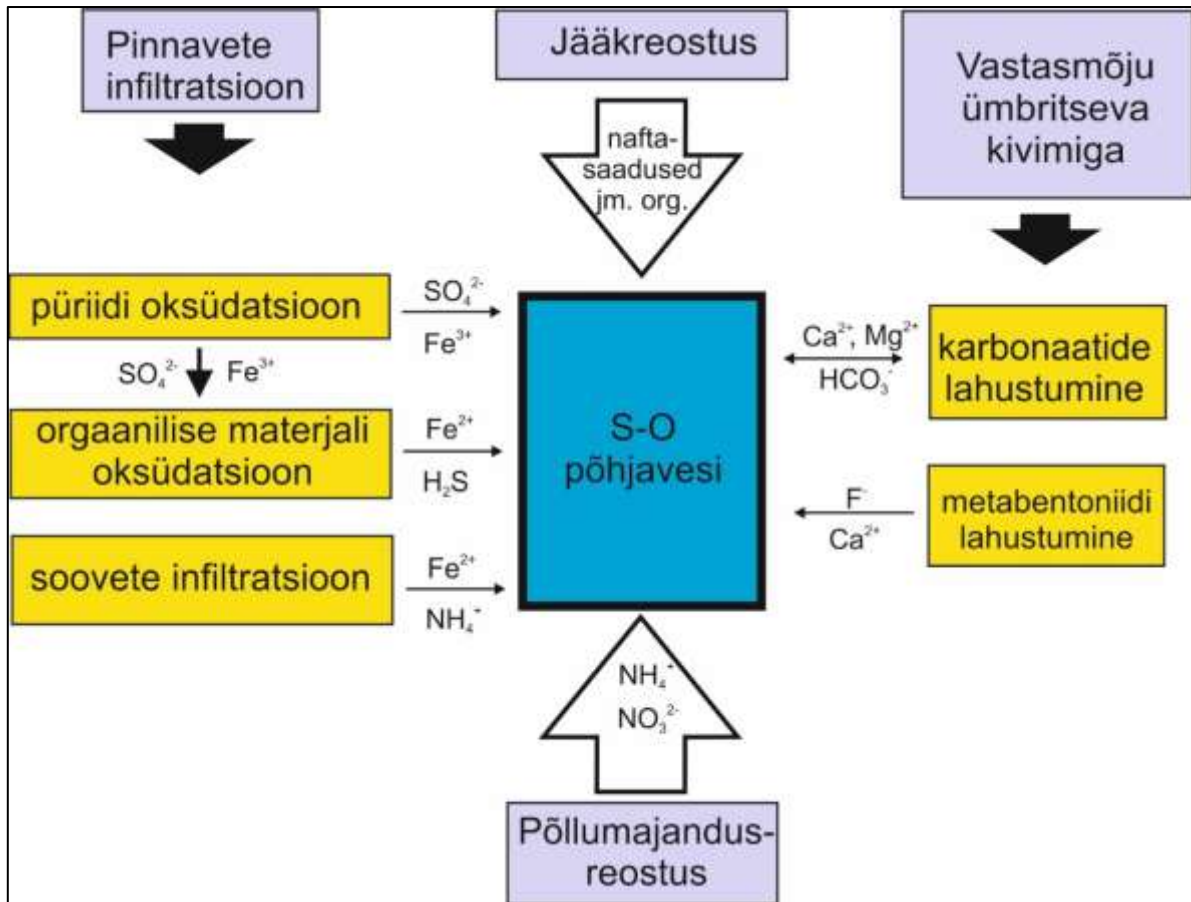
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumi põhjavee nitraatide sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Harju põhjaveekogumi põhjavee raua sisaldus.



Joonis 7. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3735–3748.
- Koit, O., Ravbar, N., Marandi, A., Terasmaa, J., 2017. Threshold-controlled three-stage hydraulic behaviour of a mantled shallow carbonate aquifer (Tuhala karst area, North Estonia). *Acta Carsologica* 46: 265–282.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia* (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1997. Siluri-ordoviitsiumi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

PVK 11. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
11	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus, saared ja rannik	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Läänemaa, Pärnumaa, Raplamaa	3983

				JOONIS
Hüdrogeoloogiline iseloomustus	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Koosneb mitmesugustest lubjakivi ja dolomiidi erimitest, milles esinevad ka mergli vahekihid ja nendel lasuvatest Kvaternaari setetest. Maapinna lähedal on kivimid sageli karstunud ja lõhelised. Sügavuse suurenedes lõhelisus väheneb.		1
	<i>Kogumi paksus</i>	Põhjaveekogumit moodustavate kivimite paksus ulatub paarisaja meetrini, kuid tulenevalt puudulikust veeandvusest piirdub vettandva osa ja seega ka põhjaveekogumi paksus enamasti ülemise 100–120 meetriga.		1
	<i>Lasuv veepide</i>	Kohalikuks veepidemeks on moreen mille filtratsioonikoefitsient on enamasti 0,1–1,0 m/ööpäevas või laiguti esinev jääjärveline viirsavi filtratsioonikoefitsiendiga $\sim 10^{-4}$ m/ööpäevas.		1
	<i>Lamav veepide</i>	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad monoliitsed karbonaatkivimid sügavamal kui 100–120 m maapinnast. Veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997)		1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Valdavalt on vesi vabapinnaline ning survepind sõltub eelkõige reljeefist. Veetase paikneb enamasti 2–5 m sügavusel maapinnast. Kohalikel paekõrgendikel võib veetaseme sügavus ulatuda 10 kuni 15 meetrini maapinnast. Rannikupiirkondades ja jõorgudes (nt. Kasari ja tema lisajõgede ümbrus) võib põhjavee survepind ulatuda üle maapinna.		2

Hüdrodünaamika	<i>Voolusuunad</i>	Peamisteks veelahkmealadeks on Harju lavamaa, kust toimub põhjavee üldine liikumine läände, Lääne-Eesti madalikule. Soodsate toitumistingimustega kohalikelt paekõrgendikelt liigub põhjavesi kohaliku hüdrograafilise võrgu, peamiselt Kasari jõe ja tema lisajõgede suunas.	2
	<i>Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus</i>	Filtratsioonikoefitsienti iseloomustab suur horisontaalne ja vertikaalne muutlikkus. Maapinna lähedal (kuni 20 m sügavuseni) ulatub lateraalne filtratsioonikoefitsient keskmiselt kuni 50 m/ööpäevas, valdavalt 10–50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m jääb vahemikku 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m vahemikku 1–2 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Suur muutlikkus iseloomustab ka põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivust. Kõrvuti võivad paikneda puurkaevud, mille veejuhtivus on üle 1000 m ² /ööpäevas, ja puurkaevud veejuhtivusega kuni 50 m ² /ööpäevas. Valdavalt on põhjaveekogumi veejuhtivus 30 kuni 300 m ² /ööpäevas. Olenevalt kivimite lõhelisusest ja karstumusest on põhjaveekogumi poorsus keskmiselt 0,02–0,06. Põhjavee liikumise tegelik kiirus on väga varieeruv. Maapinnalähedase karstivee liikumise kiirus võib ulatuda kuni 5000 m/ööpäevas. Horisontaalse põhjaveevoolu kiirus jääb looduslikes tingimustes tavaliselt piiridesse 1 kuni 10 m/ööpäevas. Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on tunduvalt aeglasem ja seda hinnatakse enamasti vahemiku 0,001–1 m/ööpäevas.	1
	<i>Toitumine ja režiim</i>	Kuigi regionaalne põhjaveevool lähtub Harju lavamaalt, on soodsate toitumistingimustega ka õhukese pinnakattega kaetud kohalikud paekõrgendikud. Kohalikele paekõrgendikele on iseloomulikud suurimad veetasemete kõikumise amplituudid (kuni 3 m). Väiksemad on põhjaveetasemete amplituudid (0,5–1,0 m) survealade põhjavee väljumisaladel. Veevõttust põhjustatud veetaseme ulatuslikumat alanemist ei ole täheldatud.	2

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi idapoolses osas on looduslikes tingimustes formeerunud Ca-HCO₃-tüüpi vesi, mineraalainete sisaldusega 0,3–0,5 g/L. Väinamere rannikule lähenedes põhjavee naatriumi, kloriidi ja sulfaadi sisaldused suurenevad ning vee keemiline tüüp muutub. Valdavaks saab Ca-HCO₃-SO₄⁻, Na-HCO₃-Cl-või isegi Na-Cl-tüüpi põhjavesi. Joogiveena kasutamisel on rannikupiirkondades probleemiks suur kloriidi sisaldus, mis tihti ületab joogivee lubatud piirsisaldust – 250 mg/L. Joogiveele kehtestatud piirsisaldustest on kohati kõrgemad ka sulfaadi (2–320 mg/L), fluoriidi (0,3-5,7 mg/L; Karro & Uppin, 2013), ammoniumi (kuni 3 mg/L), raua (kuni 10 mg/L) ning ka mangaani, naatriumi ja boori sisaldused. Enamasti on nitraatide sisaldused väikesed (keskmise ~3 mg/L). Suuremad NO₃⁻ sisaldused on sagedasemad põhjaveekihi ülemises (ca 10 m) maapinnalähedases osas kust saavad oma vee ka allikad. Kui puurkaevu manteloru ulatub 10-15 m allapoole veekihi survepinda, on NO₃⁻ sisaldused põhjavees väikesed (Tamm ja Leisk, 2024). Riikliku põhjaveeseire käigus on kogumi põhjaveest tuvastatud suur KHT sisaldus (>10 mg/L), mis ületab joogivee piirsisaldust 5 mg/L ja võib olla tingitud suurest märgalade osakaalust kogumi territooriumil (Tamm & Leisk, 2024).</p>	3-6
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Põhjaveekogumist tehtud põhjavee isotoopkoostise määrangud näitavad, et kogumi põhjavesi on küll valdavalt pärit tänapäevastest sademetest, aga sügavamal ja eriti kogumi lääneosas leidub ka vanemat, külmematest kliimaperioodidest pärinevat põhjavett ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused vahemikus –11,7 kuni –16,5‰; Savitskaja jt., 1997; Pärn, 2018). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni mõõduka veevahetuse vöösse. $\delta^{18}\text{O}$ väärtused $\leq -14\text{‰}$ viitavad aeglasemale veevahetusele ja on omased põhjaveekihtide neile osadele, mis paiknevad kogumi toitealadest kaugemal või geoloogilises läbilõikes sügavamal (Pärn, 2018).</p> <p>Niiske ja suhteliselt jahe kliima on soodustanud paepinnase leostumist ja karbonaatsete mineraalide (kaltsiit ja dolomiit) lahustumist ning seetõttu levib kogumis valdavalt Ca-HCO₃-tüüpi põhjavesi. Rannikul suureneb kloriidi ja sulfaadi osakaal tulenevalt mere ja</p>	7

		<p>põhjavee segunemisest. Suuremad sulfaadi sisaldused sisemaal on tõenäoliselt seotud püriidi oksüdeerumisega. Fluoriidi suur sisaldus viitab vee paiknemisele mõõdukas kuni aeglates veevahetuse vööndis ning on seotud põhjavee ja savikamate kivimite vastastikmõjuga. Suuremad looduslikud raua ja ammoniumi kontsentratsioonid on tõenäoliselt kujunenud veekihi levivate redutseerivate tingimuste ning kohati ka soovete infiltreerumise tõttu. Lihula ja Koonga kaevude suuremad kloriidi sisaldused on põhjaveekogumi alumises sügavamas osas looduslikud ega tulene veevõtu tagajärjel tekkinud soolase merevee intrusioonist (Tamm ja Leisk, 2023). Taolist tõenäoliselt vanemat päritolu suure mineraalsusega põhjavett on leitud ka kogumi lääneosa sügavamatest kaevudest (nt Salajõe karstilala; Koit, 2022).</p>	
--	--	---	--

<p><u>Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega</u></p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1111500_1 Ahtama • 1107000_1 Kasari lähtest Vardi jõeni • 1107000_2 Kasari Vardi jõest Vigala jõeni • 1110600_1 Rõue • 1119200_1 Uustalu • 1107500_1 Vardi (Kasari) • 1110400_1 Vigala lähtest Kuusiku jõeni • 1105000_1 Võnnu 	
---	---	---	--

	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p><i>Seisuveeökosüsteemid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2063120 (Nehatu soo laugas) • VEE2063150 (Nehatu soo laugas) • VEE2063010 (Nehatu soo laugas) • VEE2038200 Diby järv / Dibyträske • VEE2018200 Hambäcken • VEE2018400 Hlantdappen • VEE2018500 Inahamne • VEE2054000 Kaisma järv • VEE2063000 Kangruaadu järv • VEE2018000 Kappolkärre • VEE2063600 Kiissa järv • VEE2063100 Lammastejärv • VEE2018100 Lihlhamne • VEE2018030 Lihlnäsdappen • VEE2038620 Nimi teadmata • VEE2063110 Panga järv • VEE2038610 Paslepa järv • VEE2045600 Prästvike • VEE2018040 Storengskärre • VEE2018060 Stornäskärre • VEE2073400 Töhela järv <p><i>Põhjaveekogumiga seotud olulised karstiobjektid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • LTA1002175 Alba karstijärvik 1 • Esimene järta • LTA1002165 Jõgisoo järvik • LTA1002180 Kaldasoo karstijärvik • Kaunismaa järta • Pikavere-Ura karstihäil • Tagumine ehk Tagajärta • Tammiäärne järta • Tulimurru abru
--	---	--

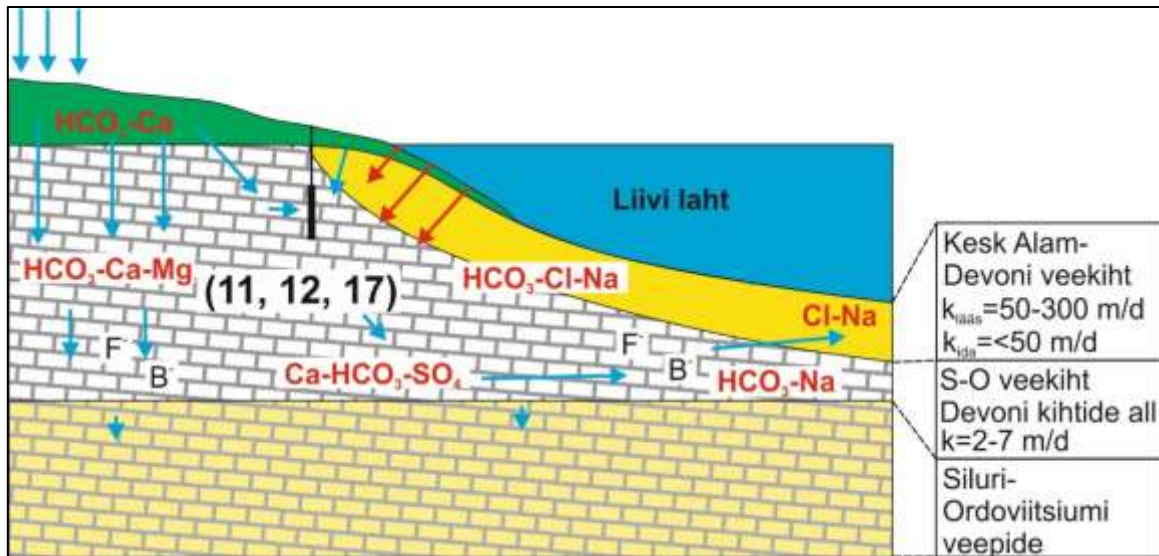
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_005 Saxby soomets • PSMÖS_006 Kersleti soo • PSMÖS_007 Mõisaholmi soomets • PSMÖS_008 Grogosholmeni soo • PSMÖS_009 Norrby soo • PSMÖS_010 Prästvike soomets • PSMÖS_041 Hosby Oboholmeni soomets • PSMÖS_042 Rälby lahe soo • PSMÖS_043 Borrby lahe soo • PSMÖS_147 Naissaare soo idaosa • PSMÖS_366 Männiku kraavi ümbritsevad soometsad • PSMÖS_367 Meelva-Matsalu soomets • PSMÖS_368 Matsalu mere soo • PSMÖS_369 Kiili soo • PSMÖS_370 Kirblast edelasse jääv sooniit • PSMÖS_371 Laiküla soo • PSMÖS_372 Käntu sood ümbritsev soomets • PSMÖS_373 Keskküla rabast ida poole jääv soomets • PSMÖS_374 Keskküla raba kirdeosa madal soo • PSMÖS_375 Õeruma oja äärde jääv soomets • PSMÖS_376 Teenuselt edelasse jääv soomets • PSMÖS_377 Äntse Torgu-Tassisti sookarjamaa • PSMÖS_378 Vätselt kagusse jääv sooniit • PSMÖS_379 Tabra oja sooniit • PSMÖS_380 Koidu-Saardu-Haeska soomets • PSMÖS_381 Võnnu soo • PSMÖS_382 Tuuru sooniit • PSMÖS_383 Puise soomets • PSMÖS_403 Diksbakssve niit • PSMÖS_404 Inahamnet ümbritsev soo • PSMÖS_410 Pöia-Riguldi sood • PSMÖS_412 Viiandi soo • PSMÖS_413 Klaanemaa läänepoolne madal soo • PSMÖS_414 Viluverest läände jääv soo • PSMÖS_416 Kudani sooniit • PSMÖS_417 Boledappeni sooniit • PSMÖS_418 Paslepa põhjapoolse järve äärne soo • PSMÖS_419 Einbi (Enby) loodepoolne rannasoo • PSMÖS_420 Saunjast kirdesse jääv soo • PSMÖS_421 Kadarpikust läände jääv sooniit • PSMÖS_422 Aamse-Õpsepa sood
--	---------------------------------------	--

		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_423 Laeva leke • PSMÖS_424 Rohense soo • PSMÖS_425 Haeskast itta jääv soomets • PSMÖS_426 Kirimäelt lõunasse jääv soomets • PSMÖS_427 Marimetsa raba ümbritsevad madalsood • PSMÖS_428 Marimetsa - Kaasiku vaheline allikasoo • PSMÖS_429 Turvalepa-Kingaste sood • PSMÖS_430 Paemurru sood • PSMÖS_431 Kahassoo • PSMÖS_432 Rõuma raba edelaserva madalsoo • PSMÖS_433 Vidrukalt kirdesse jääv soomets • PSMÖS_437 Kaopalu heinamaa lääneosa allikasoo • PSMÖS_438 Kroatstaindappeni sooniit • PSMÖS_440 Pikasilla (Pikase) soo põhjaosa • PSMÖS_441 Heinlahe ümbruse soometsad • PSMÖS_442 Nehatu soo • PSMÖS_443 Otimetsa soo • PSMÖS_444 Palatu soo • PSMÖS_451 Kalli kalmistu tagune soo • PSMÖS_452 Nätsi raba loodeserva madalsoo • PSMÖS_487 Nurtu soost läände jääv soomets • PSMÖS_488 Enge jõe lähtesoo ja Kaisma järve ümbritsevad sood • PSMÖS_489 Enge jõe soometsad • PSMÖS_490 Oese raba • PSMÖS_492 Ura soo • PSMÖS_493 Vakalepa-Pereküla madalsoo • PSMÖS_496 Soobametsa soo • PSMÖS_497 Karinõmme Männiko ja Suuringi sood • PSMÖS_498 Tuhu sood ümbritsevad soometsad • PSMÖS_499 Pajumaa Nahu sooheinamaa • PSMÖS_500 Lihula raba ümbritsevad madalsood ja soometsad • PSMÖS_501 Karinõmme Alaka madalsoo • PSMÖS_502 Avaste soo • PSMÖS_503 Emmu-Kurese vaheline soo • PSMÖS_504 Võhmast lõunasse jääv madalsoo • PSMÖS_505 Parasma põhjapoolne soopuisniit • PSMÖS_506 Kaelepa soo • PSMÖS_507 Parasma soo • PSMÖS_508 Vahenurme Põltsama sood
--	--	---

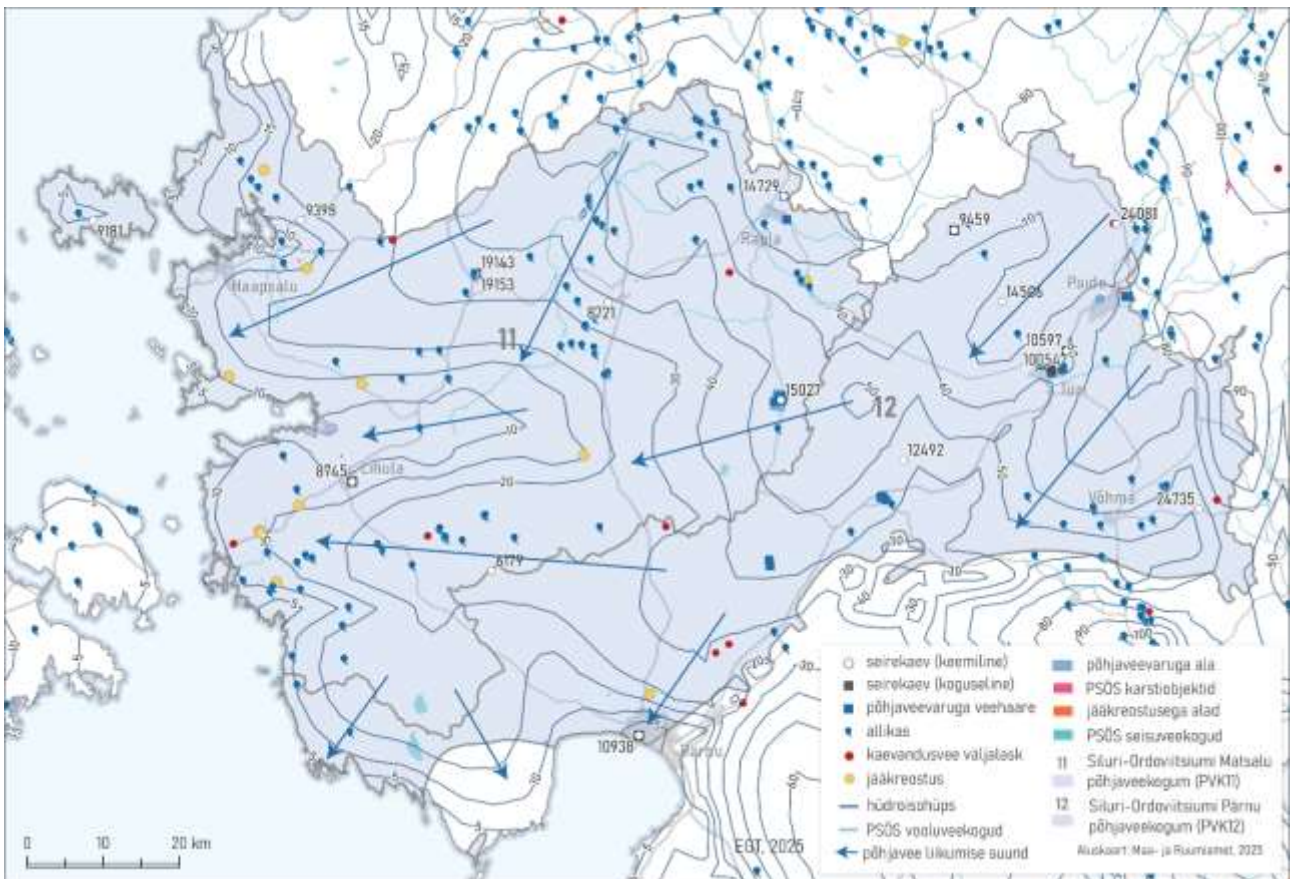
		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_535 Mäliste-Rogenese vaheline madal soo • PSMÖS_536 Mäliste-Kaelase vaheline madal soo • PSMÖS_537 Mäliste-Kaelase vaheline soomets • PSMÖS_538 Kose raba kaguserva madal soo • PSMÖS_539 Tõrassoo • PSMÖS_540 Palasi rabast põhja jäävad soometsad • PSMÖS_557 Pihali soo • PSMÖS_559 Kelbast läände jäävad Kasari jõe äärsed sood • PSMÖS_560 Kaevandi soo • PSMÖS_561 Adila Sõerumäe alune soo • PSMÖS_562 Kábiküla lammisoo • PSMÖS_563 Lestima Pruuli madal soo • PSMÖS_564 Rahula sood • PSMÖS_565 Elliste rabast lõunasse jäävad madal sood ja soometsad • PSMÖS_566 Kurikasoo • PSMÖS_567 Jätissoo • PSMÖS_568 Lõpi soo • PSMÖS_569 Pühatu soo • PSMÖS_570 Pühatu Veskealune soo • PSMÖS_571 Vaimõisa Metsanurga madal soo • PSMÖS_572 Kõrvetaguse raba • PSMÖS_573 Algitse soo ja Kodila-Linnuraba vahele jäävad soometsad ja madal sood • PSMÖS_574 Kõrvetaguse raba idakülje madal soo • PSMÖS_575 Hiitse ülejõe-madal soo • PSMÖS_576 Vadeva soo • PSMÖS_577 Rame Tamme madal soo ja sooniit • PSMÖS_578 Paslepa rannasoo • PSMÖS_579 Nedrema raba ümbritsevad madal sood ja soometsad • PSMÖS_582 Võlla raba edelaserva madal soo
--	--	--

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Halb Halb seisund testide 1 ja 5 tõttu – kõrge PHT seirekaevudes ning veehaardes.

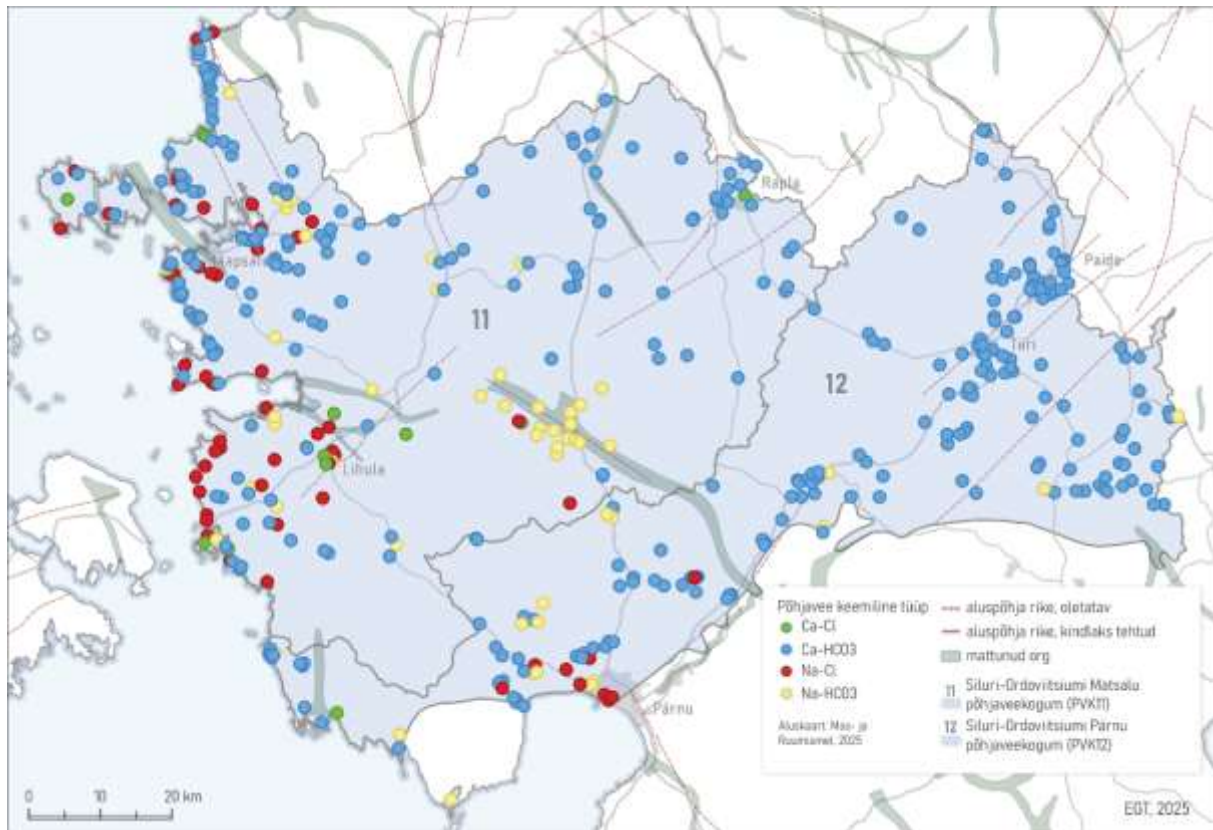
	Üldseisund	Halb
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	459699
	Põhjavee kinnitatud varu	4900
	Põhjaveevõtt 2023. a	5448
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-548
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	454799
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	454251



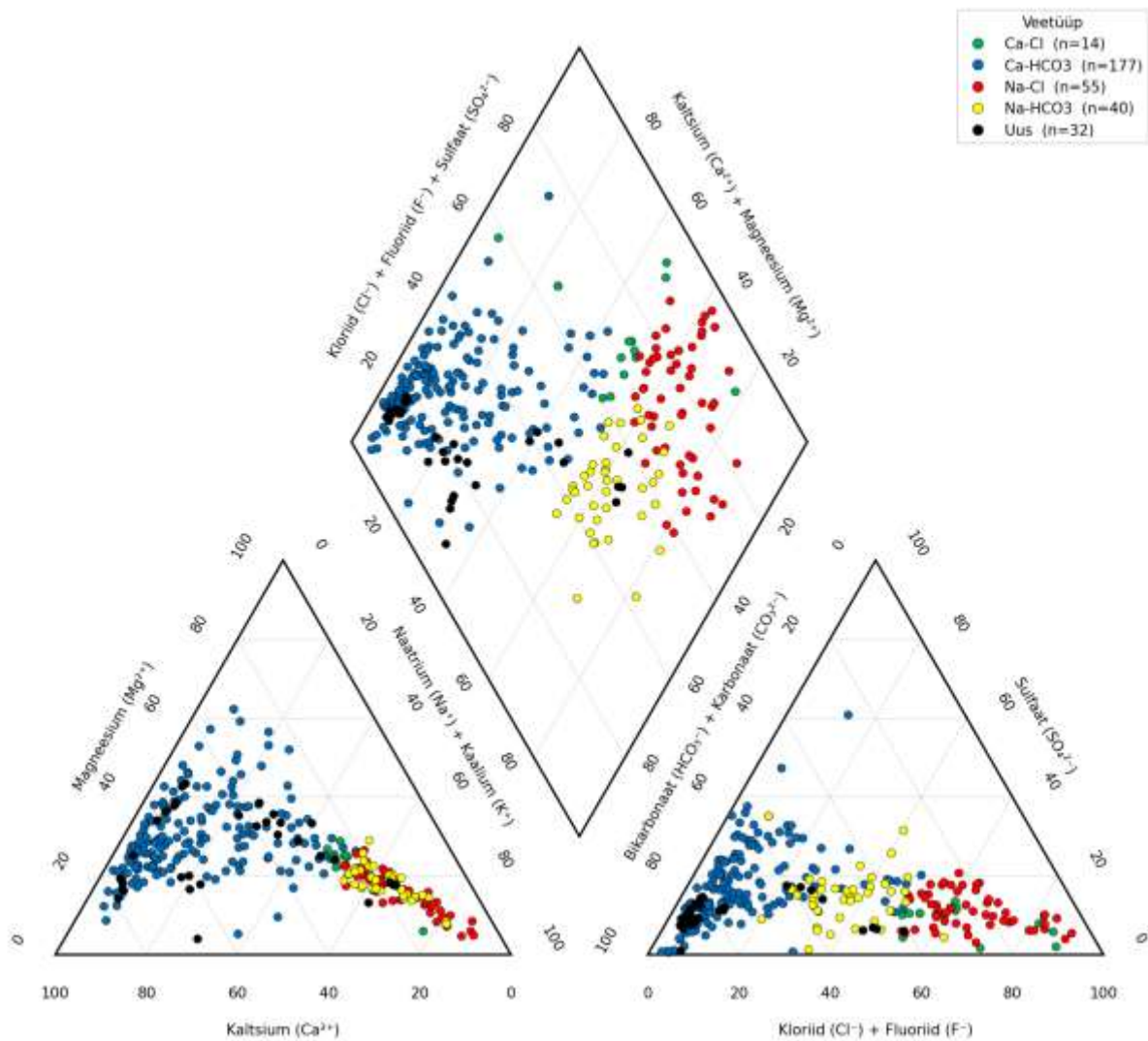
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu, Pärnu ja Devoni aluse Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 11, 12, 17) kontseptuaalse mudeli läbilõide.



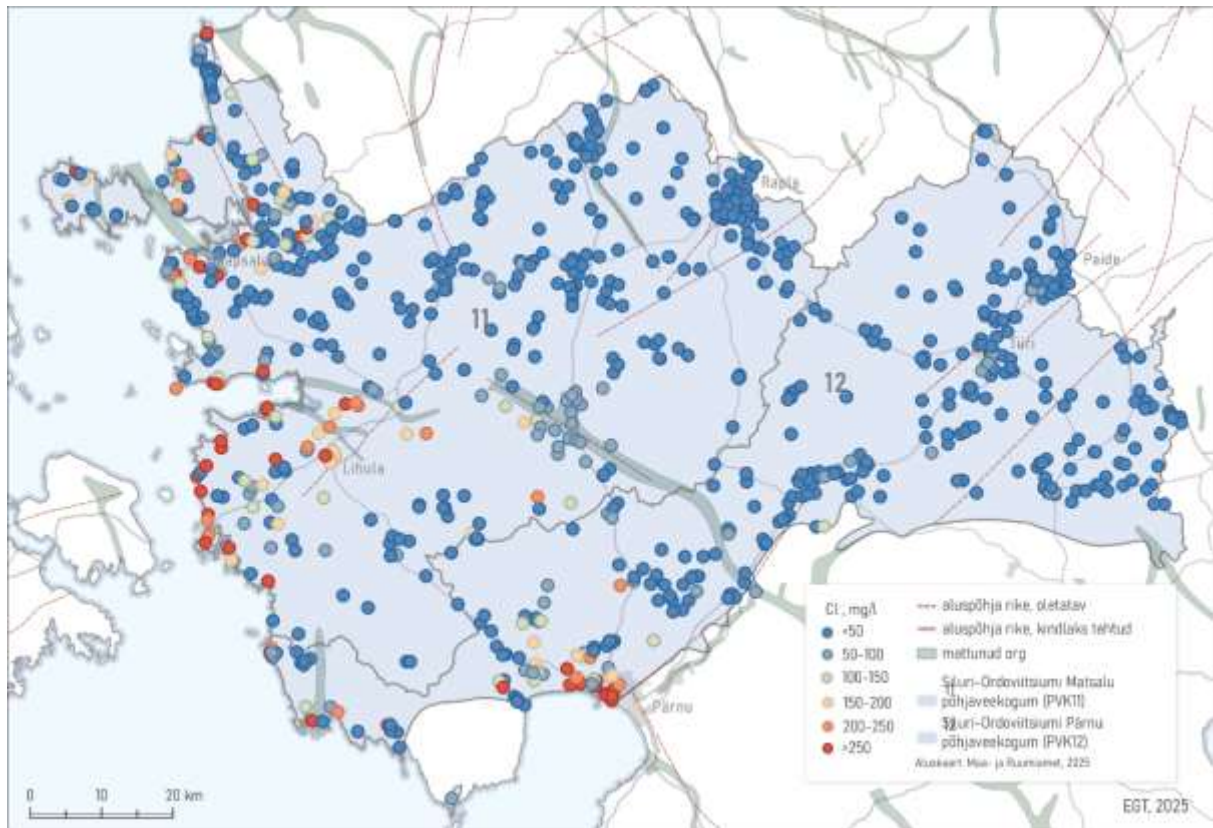
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumite (PVK nr. 11 ja 12) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



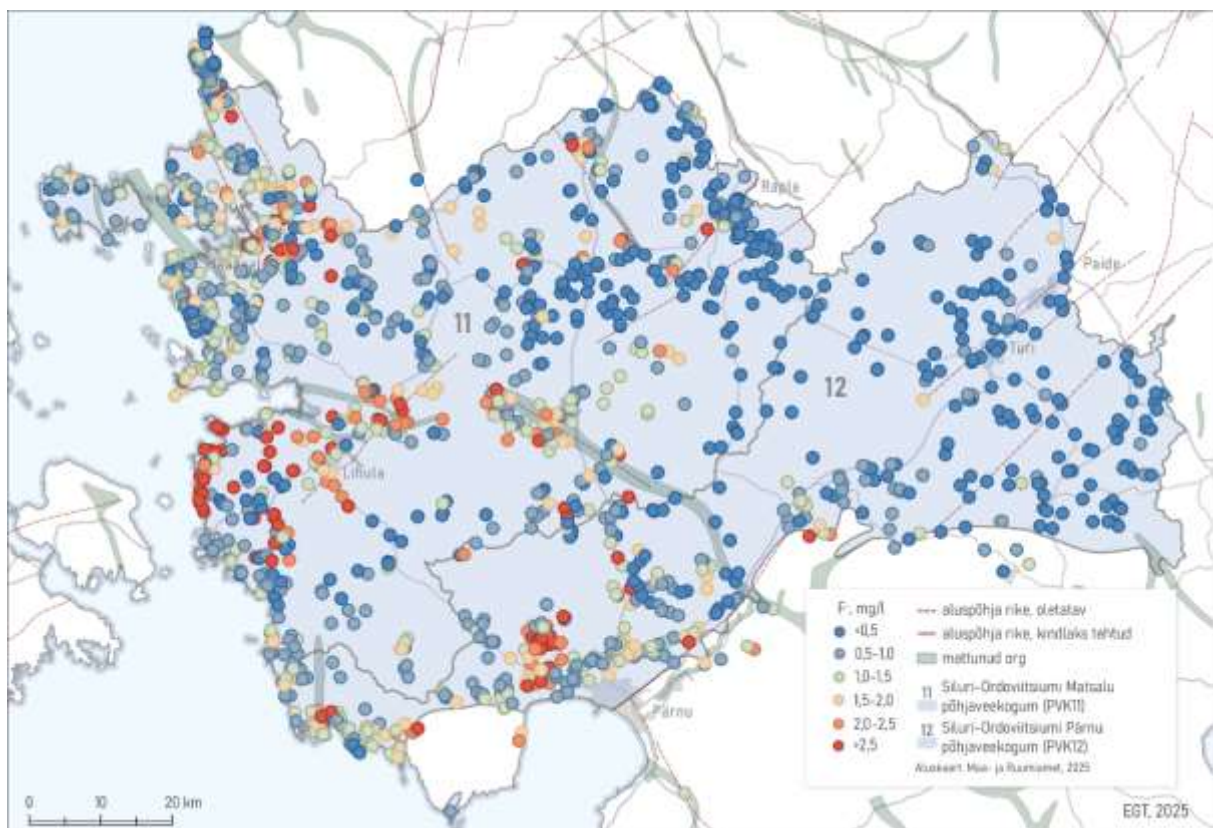
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



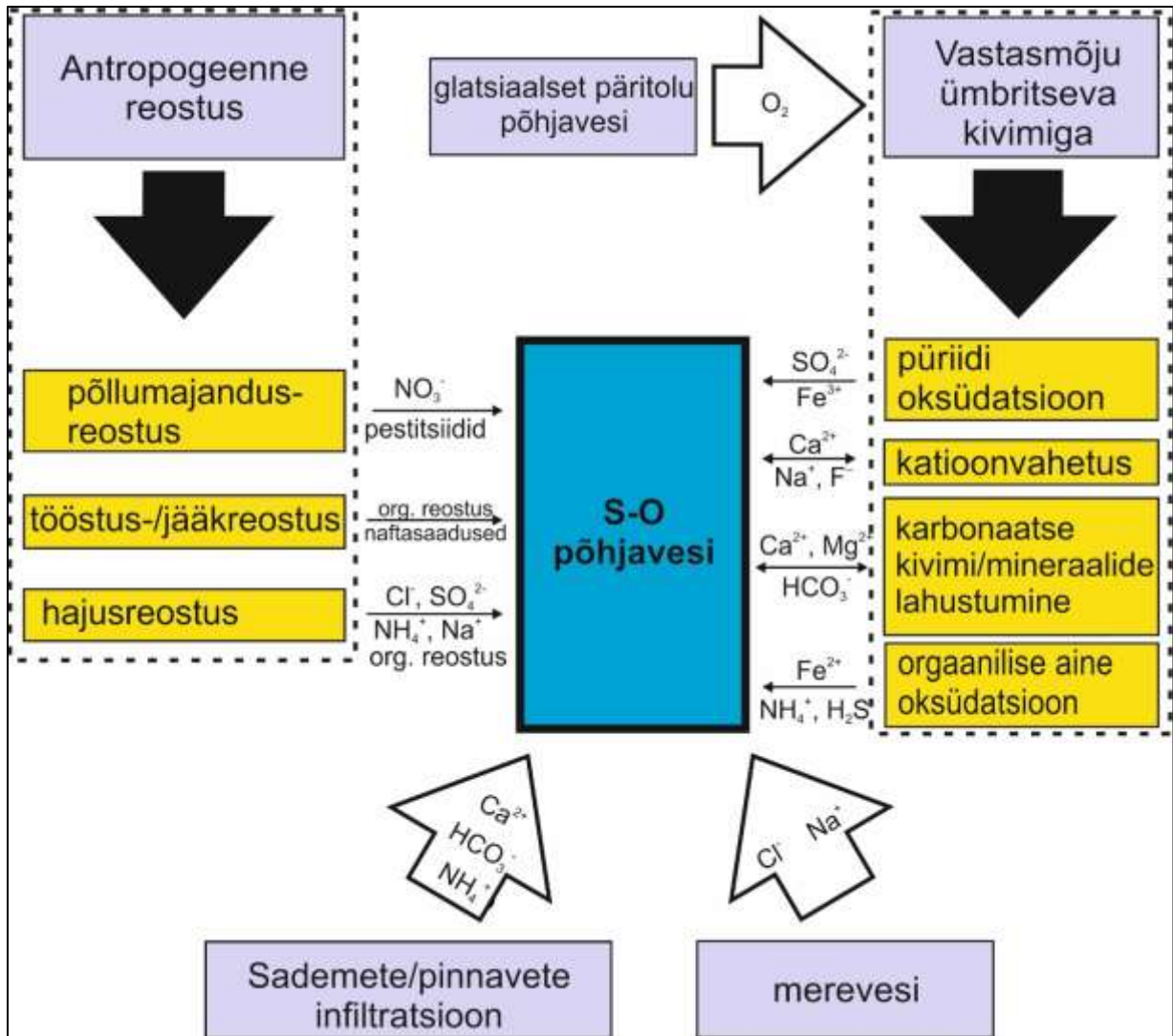
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumite põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumite põhjavee fluoriidi sisaldus.



Joonis 7. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa, Saaremaa, Matsalu, Pärnu, ja Devoni kihtide all paiknevate (S-O; PVK nr. 8-9; 11-12, 17-18) põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3735–3748.

Koit, O., 2022. Surface Water and Groundwater Interaction in Shallow Karst Aquifers of Lower Estonia. (Doktoritöö, Tallinna ülikool). Tallinna ülikool, Tallinn.

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

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

Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1997. Siluri-ordoviitsiumi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

PVK 12. Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
12	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus, saared ja rannik	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Pärnumaa, Läänemaa, Raplamaa, Järvamaa, Viljandimaa	4352

			JONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Põhjaveekihtide ümbriskivim koosneb valdavalt Siluri ladestu mitmesugustest lubjakivi ja dolomiidi erimitest, milles esinevad ka mergli vahekihid (Jaani ja Adavere lademe savikad dolomiidid, lubjakivid ja merglid) ning nendel lasuvatest Kvaternaari setetest. Savikate vahekihtide esinemise alusel võiks Siluri kompleksi jagada alumiseks ja ülemiseks Siluri põhjaveekihtiks, mis pole aga laiemat kasutust leidnud (Perens & Karro, 2008). Maapinna lähedal on kivimid sageli karstunud ja lõhelised. Sügavuse suurenedes kivimite lõhelisus väheneb. Suure lasumussügavusega Ordoviitsiumi ladestu kivimid on peaaegu veetud (Perens & Karro, 2008).	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Litoloogiliselt ulatub põhjaveekogumit moodustavate kivimite paksus paarisaja meetrini, kuid tulenevalt puudulikust veeandvusest piirdub vettandva osa ja seega ka põhjaveekogumi paksus enamasti ülemise 100–120 meetriga.	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Kohalikuks veepidemeks on paksem moreeni katend mille filtratsioonikoefitsient on enamasti 0,1–1,0 m/ööpäevas või laiguti esinev jääjärveline viirsavi filtratsioonikoefitsiendiga $\sim 10^{-4}$ m/ööpäevas.	1
	<i>Lamav veepide</i>	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide (Juuru lade), mille moodustavad monoliitsed karbonaatkivimid sügavamal kui 100–120 m. Veepideme	1

		filtratsioonikoefitsient on äärmiselt ebaühtlane: pikki kivimikihte võib filtratsioonikoefitsient olla 0,001 kuni 1 m/ööpäevas, kihtidega risti on filtratsioonikoefitsient enamasti 10^{-6} kuni 10^{-5} m/ööpäevas. Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient võib kohati olla suurem tektooniliste rikete ümbruses.	
	Põhjavee survepind	Suures osas kogumist on survealine või vabapinnaline põhjaveetas 3-8 m sügavusel maapinnast, aga madalama reljeefiga piirkondades (rannikupiirkonnad, jõeorud) ulatub survepind üle maapinna. Kohalikel paekõrgendikel võib põhjaveetaseme sügavus ulatuda 15 kuni 20 meetrini maapinnast. Sobivates hüdrogeoloogilistes tingimustes võib põhjavee survepind ulatuda ka üle maapinna ning esineb arteesiakaeve.	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Regionaalsetelt toitealadelt, Pandivere kõrgustiku edelaosast ja Kesk-Eesti lavamaalt, toimub põhjavee liikumine kagusse, Liivi lahe suunas. Lokaalselt liigub põhjavesi kohaliku hüdrograafilise võrgu – Pärnu jõe ja selle lisajõgede suunas.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Filtratsioonikoefitsienti iseloomustab suur horisontaalne ja vertikaalne muutlikkus (Perens & Vallner, 1997). Maapinna lähedal (kuni 20 m sügavuseni) ulatub lateraalne filtratsioonikoefitsient keskmiselt kuni 50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m jääb vahemikku 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m vahemikku 1–2 m/ööpäevas. Suur muutlikus iseloomustab ka põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivust. Valdavalt on põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus 30 kuni 300 m ² /ööpäevas, kuid kõrvuti võivad paikneda puurkaevud, mille veejuhtivus on üle 1000 m ² /ööpäevas, ja puurkaevud veejuhtivusega kuni 50 m ² /ööpäevas. Olenevalt kivimite lõhelisusest ja karstumusest on põhjaveekogumi poorsus keskmiselt 0,02–0,06. Põhjavee liikumise tegelik kiirus on väga erinev (Perens jt., 2012). Maapinnalähedase karstivee liikumise kiirus võib ulatuda kuni 5000 m/ööpäevas. Horisontaalse põhjaveevoolu kiirus jääb looduslikes tingimustes tavaliselt piiridesse 1 kuni 10	1

		m/ööpäevas. Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on tunduvalt aeglasem ja seda hinnatakse enamasti vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas.	
	Toitumine ja režiim	Kuigi regionaalne põhjaveevool algab Pandivere kõrgustikult, on soodsate toitumistingimustega ka õhukese pinnakattega kaetud kohalikud paekõrgendikud. Neile on iseloomulikud ka suurimad veetasemete kõikumise amplituudid (kuni 3 m). Väiksemad amplituudid (0,8–1,0 m) on iseloomulikud survealise põhjavee väljumisaladele rannikul. Veevõttust põhjustatud veetaseme ulatuslikumat alanemist ei ole täheldatud.	2

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi idaosas levib maapinna lähedal Ca-HCO₃-tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,3–0,5 g/L. Liivi lahe ja eriti Pärnu lahe ääres suureneb vee kloriidi sisaldus ja valdavaks muutub Na-HCO₃- või isegi Na-Cl-tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,5 kuni 1,7 g/L. Rannikupiirkondades esineb suuri kloriidi sisaldusi (kuni 700 mg/L), mis ületavad tihti joogivee lubatud piirsisaldust (250 mg/L). Hoolimata selgelt eristuvatest kloriidirikamatest aladest, suurema SO₄²⁻ sisaldusega piirkondi Pärnu lahe rannikul ei esine ning vaid üksikutes ranniku kaevudes ületab sulfaadi sisaldus joogiveele kehtestatud piirväärtust 250 mg/L. Probleme valmistavad kohati ka looduslikud suured naatriumi (2,5–300 mg/L), fluoriidi (0,2–7,2 mg/L), ammoniumi (kuni 3 mg/L), raua (kuni 5 mg/L) ja boori (0,02–2,1 mg/L) sisaldused põhjavees. Fluoriidi probleemiga seonduvad eelkõige sügavamad veehaarded, madalamates aktiivse veevahetuse vööndisse jäävates kaevudes (sügavus <30 m) suuri sisaldusi ei esine (Perens ja Karro, 2002).</p> <p>Kohati esineb kogumis joogivee piirsisaldusest suuremaid NH₄⁺ sisaldusi (Tamm & Leisk, 2024). Need ei ole tõenäoliselt seotud niivõrd inimtegevusega, kui tingitud looduslikest iseärasustest, eelkõige soode rohkusest ja NH₄⁺-rikka ja happelise soovee mõjust karbonaatsele pinnasele ja põhjaveele. Sellest annavad tunnistust ka riikliku põhjaveeseire käigus tuvastatud suuremad KHT sisaldused</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	---	-----

		<p>põhjaveekogumis (kuni 12 mg/L; Tamm & Leisk, 2024). Ka lokaalsed metaani ilmingud kaevudes võivad olla soovee mõju.</p> <p>Kuna kogumil levivad ulatuslikult viirsavid (eelkõige lääne-, vähem idaosas), ei ole riikliku põhjaveeseire käigus antropogeensele reostusele viitavaid aineid kuigivõrd leitud (nt orgaaniline reostus, nitraadid, pestitsiidid; Tamm ja Leisk, 2024). Siiski on nitraaditundliku ala seire käigus kogumist leitud nitraadisisaldusi, mis ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldust >50 mg/L (Tamm & Leisk, 2024).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Eesti niiske ja suhteliselt jahe kliima on soodustanud paepinnase leostumist ja karbonaatsete mineraalide (kaltsiit ja dolomiit) lahustumist ning seetõttu levib kogumis valdavalt Ca-HCO₃-tüüpi põhjavesi. Samas, kogumi põhjavee δ¹⁸O väärtused jäävad vahemikku -9 kuni -16‰ (Savitskaja jt., 1997; Pärn, 2018), mis näitab, et kogumi põhjavesi kuulub nii aktiivse kui aeglase veevahetuse vööndisse. Veevahetus aeglustub koos põhjaveekihtide lasumussügavuse kasvuga. Kogumi vee keemiline koostis on kujunenud varasematest kliimaperioodidest pärineva ja tänapäevaste sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee segunemisel. Rannikualal toimub ilmselt merevee intrusioon kogumisse, kuid sisemaal (kogumi lääneosas) võib esineda ka vanemat, Litoriinamerest pärinevat merelist päritolu põhjavett, mis tulenevalt tasasest reljeefist ja pinnase suhteliselt halvast veejuhtivusest (infiltreeruva vee maht on jäänud tagasihoidlikuks) on põhjaveekihtides osaliselt säilinud. Vanema Na-HCO₃-tüüpi põhjavee esinemine kogumi lääneosas peegeldab regionaalset põhjaveevoolu Harju lavamaalt Liivi lahe suunas ning Litoriinamere tekkelise põhjavee ja sademete tekkelise põhjavee segunemist.</p> <p>Sindist, Pärnu jõe lähedasest kaevust (PRK0006494), on leitud ka vett, mille isotoopkoostis on vähem negatiivne kui tänapäevaste sademete aastakeskmise (Vaikmäe jt., 2020), viidates võimalikule aurumisest mõjutatud jõevee valgumisele põhjavette. Võimalik on ka analoogne Sauga jõe vee neeldumine põhjavette (Raidla, 2024).</p>	<p>7</p>

		<p>Suurte fluoriidi sisalduste põhjuseks peetakse Adavere ja Raikküla lademetes esinevaid metabentoniidi kihte, mille läheduses on fluoriidi sisaldus vahemikus 1,8 kuni 7,2 mg/L (Perens ja Karro, 2008; Karro ja Uppin, 2013). Fluoriidi esinemine Siluri põhjaveekompleksis on väga selgelt seotud põhjavees lahustunud Ca^{2+} ja Na^+ suhtega, mille varieerumise põhjuseks on ilmselt katioonvahetusprotsessid (Raidla, 2024). Ca^{2+} sidumine savipindadel takistab fluoriidi settimist CaF_2-na, soodustades sellega fluoriidi püsimist põhjavees. Samas pole suuremad fluoriidisaldused Siluri põhjaveekompleksis üheselt seotud kaevu sügavusega, vaid hakkavad alates 50 m pigem vähenema (Raidla, 2024).</p> <p>Suuremad looduslikud raua ja ammooniumi kontsentratsioonid püsivad veekihis tõenäoliselt redutseerivate tingimuste tõttu ja on kujunenud muuhulgas vastastikmõjus soovetega (Nurme, Rääma).</p>	
--	--	--	--

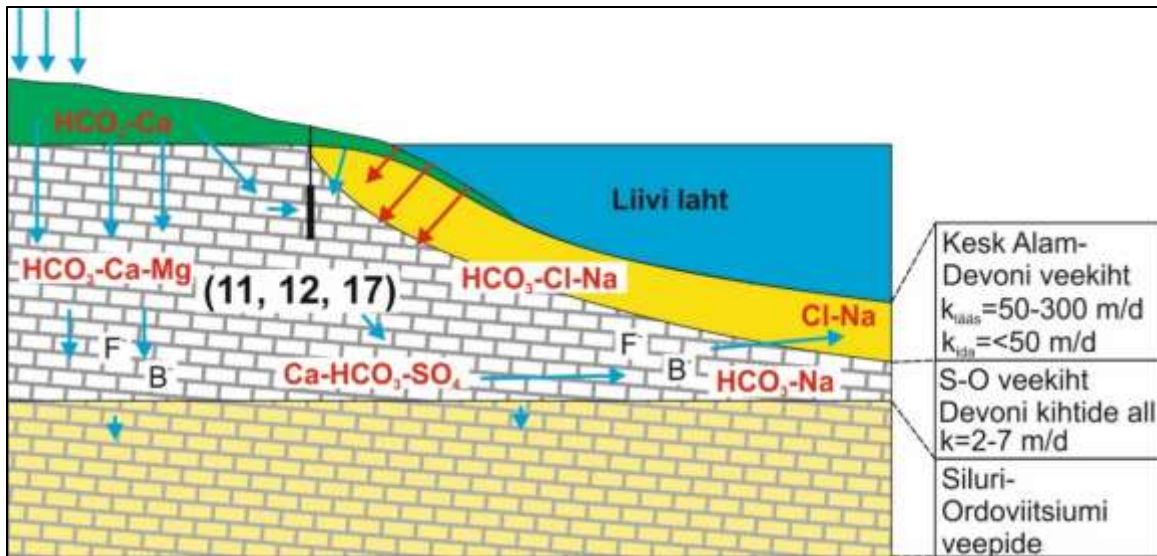
<p><u>Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1128600_1 Aruküla (Pärnu) hooldatav maaparanduslik eesvool • 1128600_2 Aruküla (Pärnu) suudmeni • 1125700_2 Prandi Neeva kanalist suudmeni • 1123500_2 Pärnu Tarbja paisust Käru jõeni • 1132500_1 Räpu
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • VEE2082300 Ermistu järv

	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_384 Varestesoo • PSMÖS_385 Rauassoo • PSMÖS_394 Kastna rabast ida poole jäävad soometsad • PSMÖS_402 Paluküla idapoolne soomets • PSMÖS_445 Varbla soomets • PSMÖS_446 Kadaka-Rannaküla soomets • PSMÖS_447 Kulli soomets • PSMÖS_448 Raespa soomets • PSMÖS_449 Tõhela raba madaloo-osa • PSMÖS_450 Loopre luhassoo • PSMÖS_453 Võlla raba idaserva madaloo • PSMÖS_456 Nurme veehoidlast lääände jääv sooniit • PSMÖS_457 Valgeranna luitenõod • PSMÖS_485 Mõrdama soost kirdesse jääv soomets • PSMÖS_486 Taarikõnnu rabast edelasse jääv soomets • PSMÖS_491 Elbu raba ümbritsevad soometsad • PSMÖS_494 Laisma raba ümbritsevad soometsad • PSMÖS_495 Kiisamaa madaloo • PSMÖS_529 Mädasoo • PSMÖS_530 Luharanna soo • PSMÖS_547 Laadepere soo • PSMÖS_548 Kuimetsa sood • PSMÖS_580 Ermistu järvest läände jääv soomets
--	-----------------------------------	---

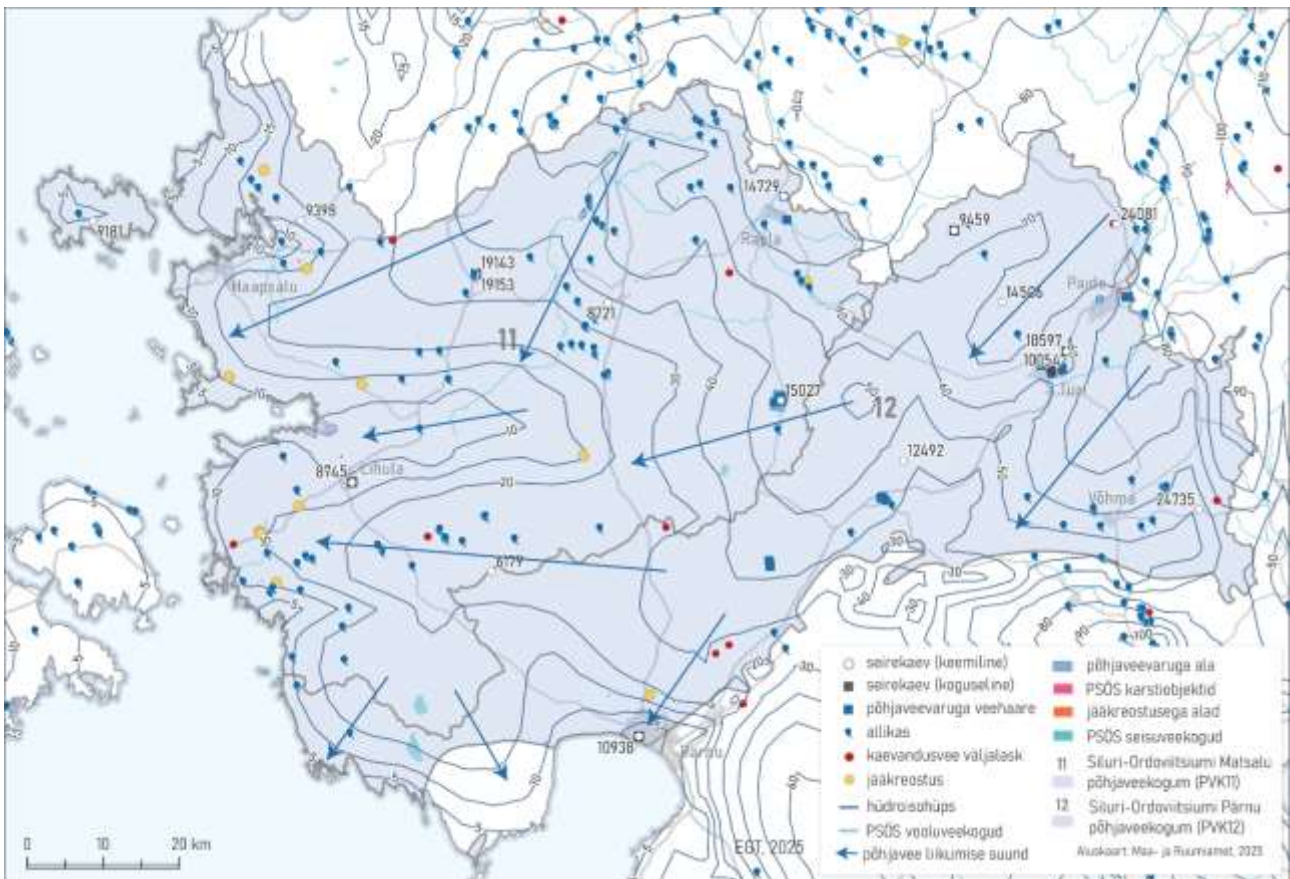
Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	471451
	Põhjavee kinnitatud varu	12400

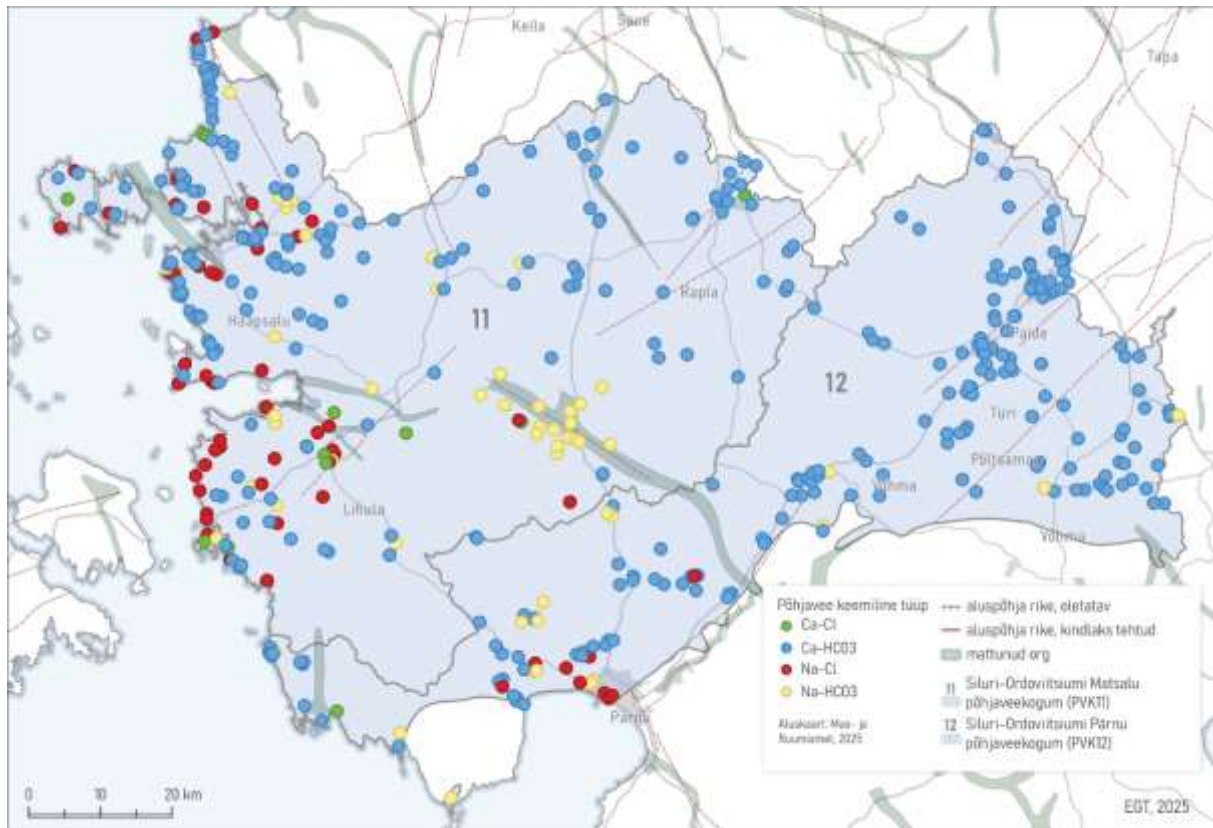
	Põhjaveevõtt 2023. a	8019
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	4381
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	459051
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	463431



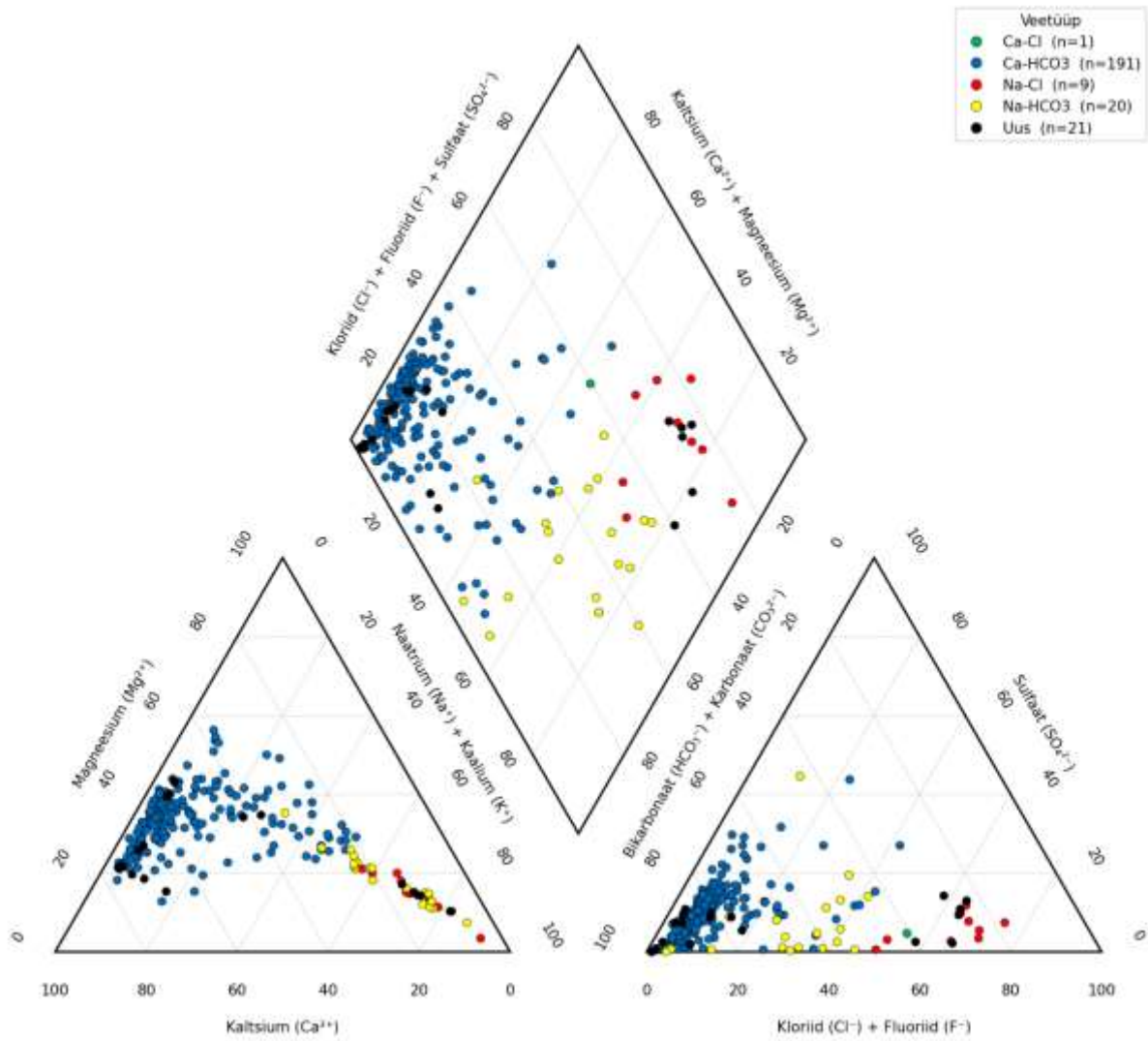
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu, Pärnu ja Devoni aluse Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 11, 12, 17) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



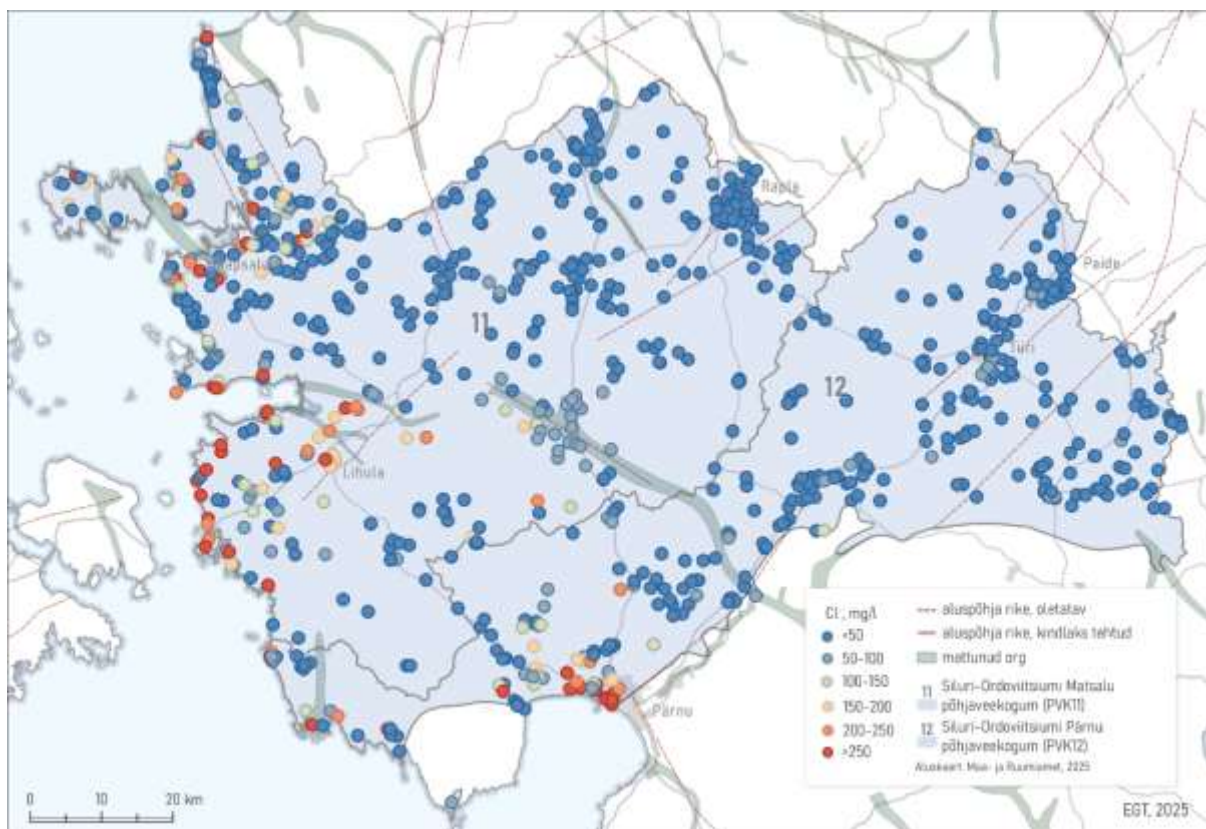
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumite (PVK nr. 11 ja 12) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



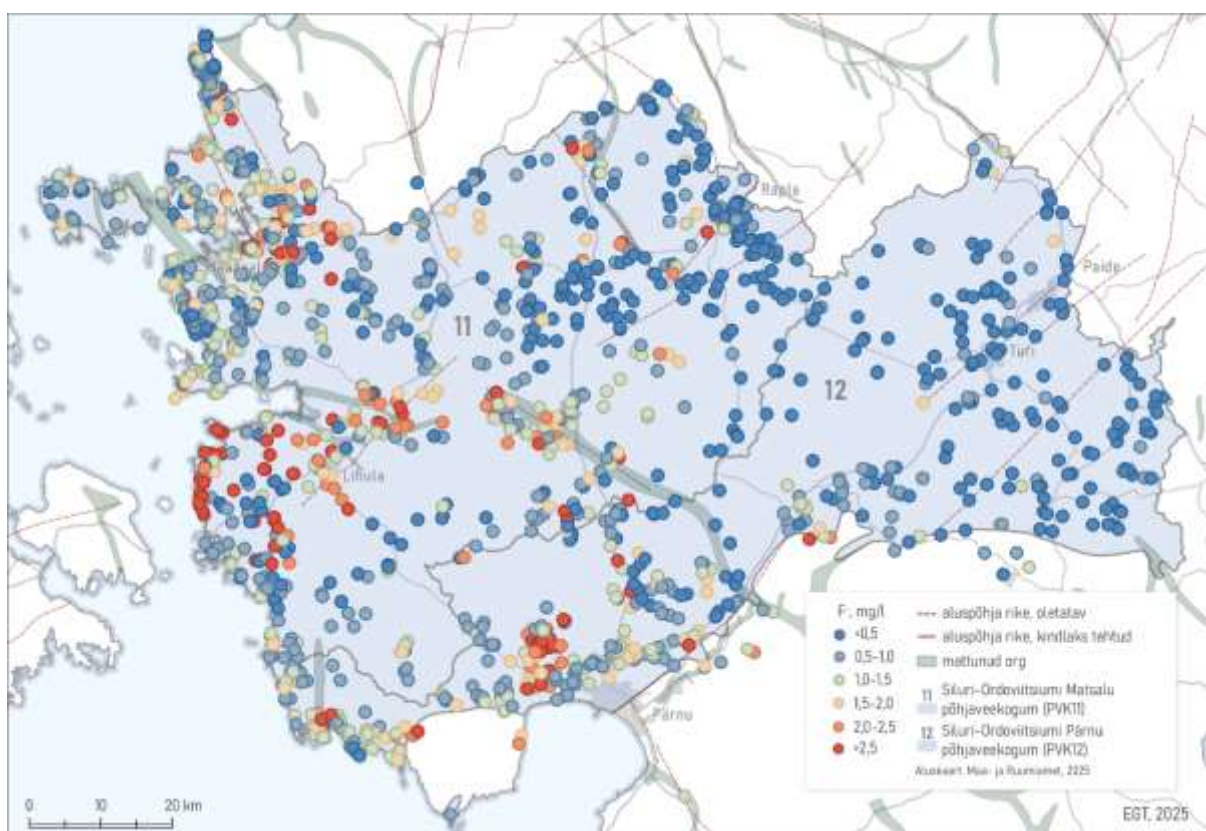
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



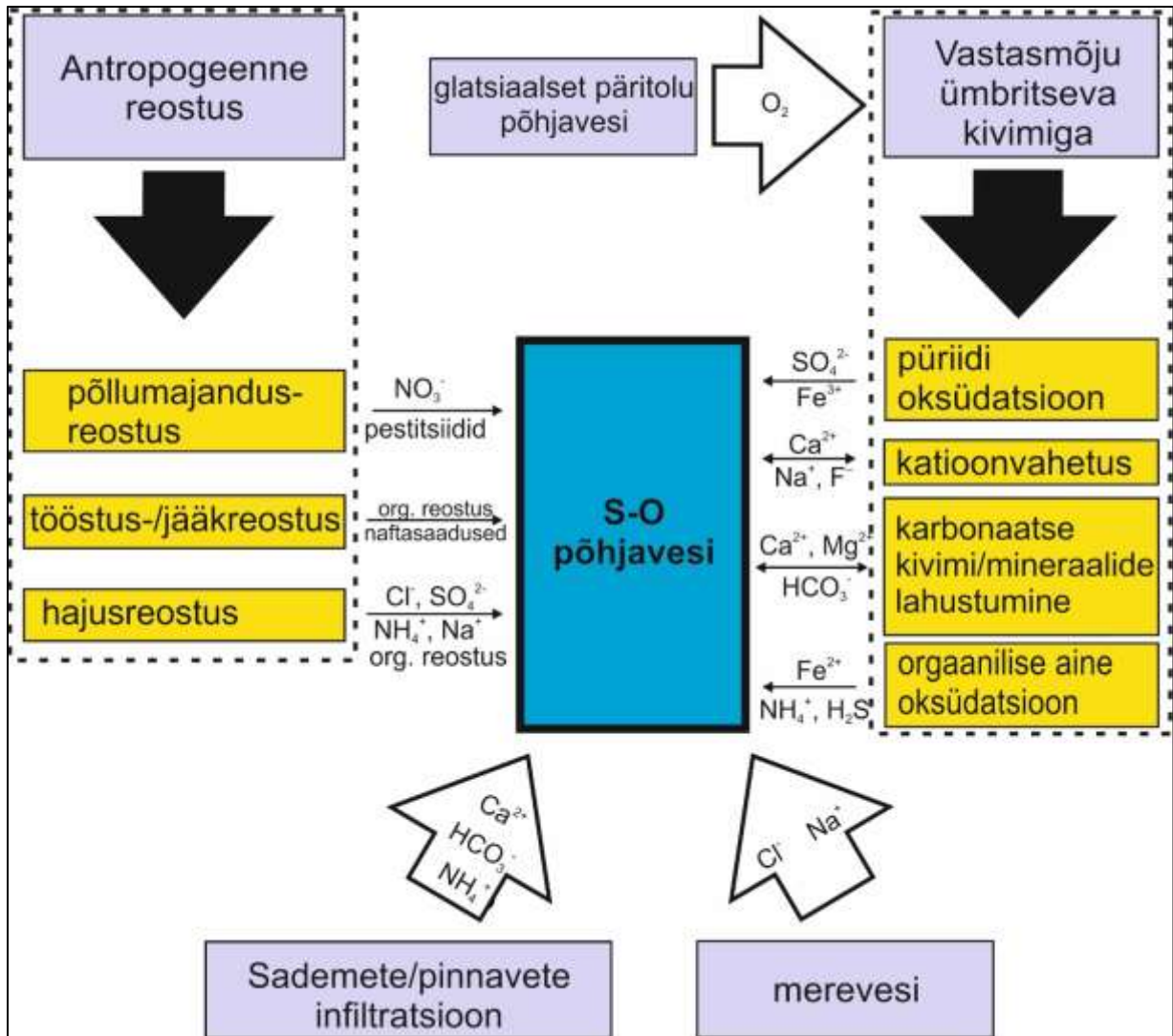
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu ja Pärnu põhjaveekogumi põhjavee fluoriidi sisaldus.



Joonis 7. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa, Saaremaa, Matsalu, Pärnu, ja Devoni kihtide all paiknevate (S-O; PVK nr. 8-9; 11-12, 17-18) põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 3735–3748.

Perens, R., Karro, E., 2008. Põhjavesi. Kogumikus: Pärnumaa: Loodus. Aeg. Inimene (peatoimetaja) Vunk, A. Eesti entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 51–63.

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

Raidla, V., 2024. Põhjavee keemiline koostis. Toim: Männik, M., Hunt, M., Raidla, V., Hints, L., Sarap, G.-S., Polikarpus, M., Habicht, H.-L. Seletuskiri Eesti geoloogilise baaskaardi Pärnu-Jaagupi (5334),

Pärnu (5332), Häädemeeste (5314) ja Ikla (5312) hüdrogeoloogilistele ja põhjavee kaitstuse kaartidele. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. 27-36.

Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1997. Siluri-ordoviitsiumi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>

PVK 13. Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
13	Ida-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Lääne-Virumaa, Jõgevamaa	3338

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Põhjaveekihtide ümbriskivim koosneb mitmesugustest lubjakivi, dolomiidistunud lubjakivi ja dolomiidi erimitest, milles esinevad mergli ja savika lubjakivi vahekihid. Viimased moodustavad erineva isolatsioonivõimega veepidemeid (nt Vormsi, Oandu, Keila, Juuru lademed). Maapinna lähedal on kivimid sageli karstunud ja lõhelised. Sügavuse suurenedes kivimite lõhelisus väheneb. Karbonaatkivimitel lasuvatest Kvaternaari põhjaveekihtidest on olulisimad fluvioglatsiaalsetes setetes paiknevad veekihtid (eriteraline kruus, liiv ja veerised) Jõgeva maakonna Torma ja Jõgeva valdades (endised Kvaternaari Sadala ja Laiuse põhjaveekogumid nr. 32 ja 33).		1
	<i>Kogumi paksus</i>	Muutub suurtes piirides. Litoloogiliselt ulatub põhjaveekogumit moodustavate kivimite paksus paarisaja meetrini, kuid tulenevalt sügaval paiknevate karbonaatkivimite puudulikust veendvusest piirdub vettandva osa ja seega ka põhjaveekogumi paksus enamasti ülemise 75 – 100 meetriga (Perens, 1989; Perens & Vallner, 1997).		1
	<i>Lasuv veepide</i>	Kuna pinnakatte paksus kogumi alal on valdavalt õhuke, puudub sellel väljapeetud lasuv veepide. Paksem pinnakate seisneb kogumi lõunaosas Vooremaal. Kohalikuks veepidemeks on liivsavimoreen või jääjärveline liivsavi, mille filtratsioonikoefitsient on enamasti 0,001–1,0 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).		1
	<i>Lamav veepide</i>	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad Põhja-Eestis Türisalu kihistu		1

		graptoliitargilliit, Leetse kihistu glaukoniitne liivakivi ja Toila kihistu savikate vahekihtidega glaukoniitlubjakivi. Kesk-Eestis on lamavaks veepidemeks monoliitsed karbonaatkivimid sügavamal kui 80–100 m nende pealispinnast. Siluri-Ordoviitsiumi regionaalse veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient enamasti 10^{-6} kuni 10^{-5} m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	
	Põhjavee survepind	Põhjavee survepind on otseses sõltuvuses reljeefist (Perens jt., 2012). Valdavalt on vesi vabapinnaline. Veetase paikneb enamasti 2–8 m sügavusel maapinnast. Vesikondade veelahkmejoone lähedal võib veetaseme sügavus ulatuda kuni 25–30 m maapinnast. Jõeorgudes (Kunda, Loobu jt) ja Pandivere kõrgustiku jalamil võib põhjavee survepind ulatuda üle maapinna ning esineb arteesiakaeve.	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Karstunud Pandivere kõrgustik on peamiseks kogumi toitealaks. Lumesula- ja vihmavesi valguvad kurisutesse ja karstijärvikutesse või imuvad läbi pinnase aluspõhja lõhedesse ning täiendavad põhjaveevarusid, mis radiaalse põhjaveevooluna suunduvad põhja, itta ja lõunasse suuremate maapinna nõgude ja kohaliku vooluveevõrgu suunas. Selles mõttes on põhjaveekogum omamoodi transiitvooluala, millest lähtuvad paljud jõed ja ojad.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Siluri–Ordoviitsiumi karbonaatkivimeis liigub põhjavesi mööda lõhesid ning karstitühemikke. Esineb nii kivimkihtide vahelisi kui ka vertikaalseid lõhesid. Põhjaveekihtide vett andvateks osadeks on kihipindadel paiknevad vett juhtivad tsoonid, mis koosnevad õhukestest lõhedest (2-3 mm, harvem kuni 30 mm laiad) ja paiknevad läbilõikes keskmiselt 1–1,5 m järel (Perens jt., 1977, 1978; Perens, 1989). Need moodustavad keskmiselt läbilõikest 3–15%. Vett juhtivaid tsoone eraldavad üksteisest vett halvasti juhtivad monoliitsed kivimikihid, mille paksus võib ulatuda 5-10 m ja mille vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-2} – 10^{-5} m/ööpäevas (Jõgar, 1983). Kivimis esinevad vertikaalsed lõhed on seotud tektooniliste rikkevöönditega, mille pindalaline paiknemine on ebaühtlane. Osa lõhesid	1

		<p>on täitunud savimaterjaliga ning vett läbi ei lase. Suurimad põhjaveekihtide veejuhtivuse väärtused 500–2000 m²/ööpäevas on seotud just rikkevöönditega (Perens jt., 2012).</p> <p>Lõhelisus ja karstumine on kõige levinumad maapinnalähedastes karbonaatkivimites. Kuna need kihid on lõuna poole kaldu, siis põhjaveekogumi põhjaosas avanevad lademed jäävad lõunaosas juba mitmesaja meetri sügavusele. Sügavuse suurenedes väheneb lõhelisus ja koos sellega põhjavee hulk. Sellest tulenebki, et Siluri–Ordoviitsiumi karbonaatkivimeis on nime poolest eristatud erinevate stratigraafiliste üksuste põhjaveekihte, kuid konkreetses paigas on neid kihte sageli ainult paar tükki. Valdav osa põhjaveest on kuni 75 meetri sügavusel (Perens, 1989; Perens & Vallner, 1997). Suur horisontaalne ja vertikaalne muutlikkus iseloomustab ka filtratsioonikoefitsienti, mille väärtused on enamasti 1–70 m/ööpäevas, keskmiselt 9 m/ööpäevas. Põhjaveevoolu kiirus karstilõhedes võib ulatuda kuni 5000 m/ööpäevas, enamasti siiski 1–10 m/ööpäevas ja transversaalses suunas 0,001–1 m/ööpäevas.</p>	
	Toitumine ja režiim	<p>Kogumi peamiseks toitealaks on tugevalt karstunud Pandivere kõrgustik, kus põhjavee netoinfiltratsioon on 100-300 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Enamikul kogumi territooriumist jääb põhjavee netoinfiltratsioon vahemikku 30-90 mm/aastas. Kõrgustikul leidub pindmisi, maapinnal nähtavaid karstivorme, nii mitmesuguse suuruse ja kujuga karstilohke ja kurisuid kui ka avalõhesid. Ka pinnakatte all on rohkesti mattunud karstivorme, mille tähtsus pinnavee kiires filtreerumises on väga suur. Ilmastikutingimuste mõju aktiivsesvöös täheldatakse kevadisele suurveejale iseloomulikku maksimumini, mida fikseeritakse tavaliselt aprilli lõpus, ja sujuvat langust kevadisest maksimumist suvisele miinimumile. Sügavamad põhjaveekihid kuuluvad pigem mõõduka veevahetuse vöösse ja seda eriti kogumi kesk- ja lõunaosas (Jõelett & Polikarpus, 2018).</p>	2

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi ülemises osas on looduslikes tingimustes formeerunud Ca-HCO₃-tüüpi vesi mineraalsusega 0,3–0,5 mg/L. Sügavamal muutub vesi Mg-Ca-HCO₃- või Mg-HCO₃-tüüpi veeks, aga selle mineraalsus oluliselt ei suurene (Iital jt., 2022).</p> <p>Kogum on maapinnalt lähtuva reostuse eest enamuses nõrgalt ja keskmiselt kaitstud. Kogumi põhjaveet iseloomustab nii suur looduslik raua sisaldus (kuni 3,4 mg/L, keskmine 0,7 mg/L), kui ka kohatine suur nitraadi sisaldus (kuni 80 mg/L; Iital et al., 2022; Tamm & Leisk, 2024), mis ületavad joogiveele kehtestatud piirsisaldusi (vastavalt 0,2 ja 50 mg/L). Koos suuremate rauasisaldustega esineb põhjavees ka joogivee piirsisaldusest suuremaid mangaani sisaldusi (kuni 300 µg/L; piirsisaldus 50 µg/L; Iital jt., 2022).</p> <p>Nitraadisisaldus on suurem valglates, mille põllumajandusmaa osakaal on suur (Iital jt., 2022), kogumi keskmine nitraadi sisaldus on ~12 mg/L (Tamm & Leisk, 2024). Sealjuures paiknevad suure nitraadi ja rauasisaldusega põhjavesi erineval sügavusel. Suuremad nitraadisisaldused esinevad enamasti maapinnalähedases põhjavees kuni 30 m sügavusel (Maastik 1993; Iital jt., 2022). Sügavamale võivad nitraadid levida rikkevööndite läheduses (Maastik jt., 1993). Rauasisaldus aga on suurem just sügavamates puurkaevudes. Olulist osa veekvaliteedi kujunemisel mängib kaevu manteloru ehk suletud osa pikkus. Kuni 15 m pikkuse manteloriga kaevudes on oht suuremate nitraadisisalduste esinemiseks vees, pikema manteloru korral on vee raua sisaldus suure tõenäosusega üle joogivee piirsisalduse (Maastik jt., 1993). NH₄⁺ sisaldus (keskmine 0,2 mg/L) enamasti kehtestatud piirsisaldust (0,5 mg/L) ei ületa.</p> <p>Ohtlikest ainetest on kogumist leitud nii suuremad pestitsiidijääkide kui ka ravimijääkide sisaldusi (Iital jt., 2022; Tamm & Leisk, 2024). Pestitsiididest on suurima sisaldusega olnud kloridasoon-desfenüül, mille näol on tegemist Eestis põhjaveest enamleitud pestitsiidijäägiga, mida laialdaselt on esinenud ka mujal NTA seirepunktide vees (Iital jt., 2022; Tamm & Leisk, 2022). Lisaks kogumi põhjaveest rohkem leitud pestitsiidijääke 1,2,4-triklorobenseen, 1,3,5-triklorobenseen, tsübutriin ja boskaliid.</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	---	-----

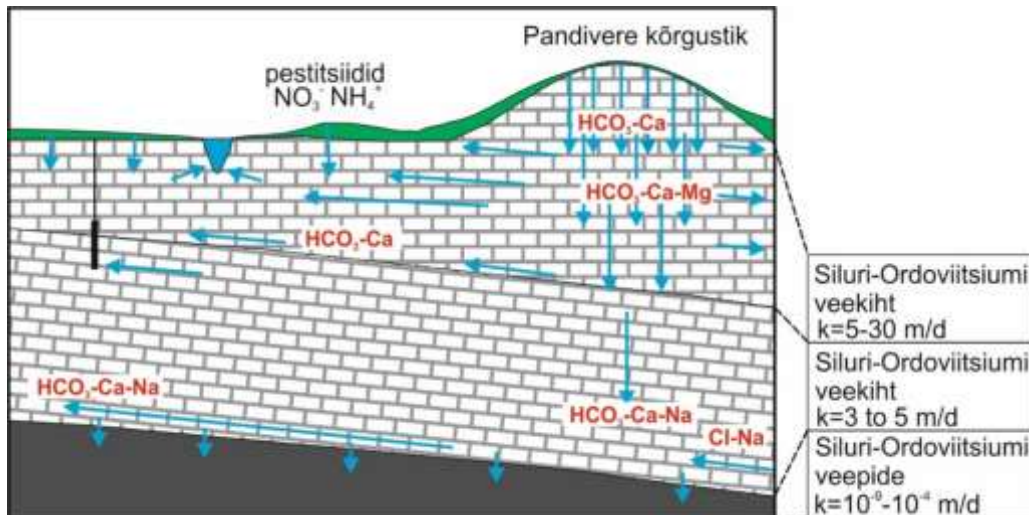
		<p>Ravimijääkidest on kogumist leitud ravimijääki imidaklopriid, veterinaarravimijääki 4-aminoantipüriini, antidepressandid toimeainet venlafaksiini ning antibiootikumi tsiprofloksatsiin (lital jt., 2022; Tamm & Leisk, 2024). Kohati on põhjaveekogumist leitud ka PAH-e, mille sisaldused jäävad aga alla kehtestatud läviväärtuse (Tamm & Leisk, 2024).</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Põhjaveekogumist tehtud põhjavee isotoopkoostise määrangud näitavad, et põhjaveekogumi vesi on valdavalt pärit tänapäevastest sademetest ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused vahemikus $-12,1$ kuni $-16,6\text{‰}$; Savitskaja jt., 1998; lital jt., 2022). Nende tulemuste järgi kuulub kogum suures osas aktiivse veevahetuse vöösse kuid Kadrina-Vinni joonest kuuluvad sügavamal lasuvad (>50 m) põhjaveekihud pigem aeglase veevahetuse vööndisse (lital jt., 2022).</p> <p>Eesti niiske ja suhteliselt jahe kliima soodustab paepinnase leostumist ning seetõttu on Mg^{2+} ja Ca^{2+} vabanemine karbonaatsete mineraalide lahustumisel põhjavette üldine. Kogumi ülemise osa keemiline koostis on valdavalt kujunenud kaltsiidi (CaCO_3) lahustumisel värskelt infiltreerunud vee toimetel. Sügavamates põhjaveekogumites lisandub sellele dolomiidi lahustumine, mis on põhjavee keemilisse koostisse lisanud Mg^{2+}. Põhjavees esinev sulfaat pärineb tõenäoliselt püriidi oksüdatsioonist ja looduslikud suured raua kontsentratsioonid on seotud kogumiga seotud põhjaveekihtides valitsevate redutseerivate tingimustega.</p>	7

<p><u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1040900_1 Amme lähtest Kaiavere järveni • 1056900_1 Avijõgi lähtest Sookraavini • 1052600_1 Kullavere lähtest Imukvere ojani • 1077900_2 Loobu Udriku ojust suudmeni • 1076000_1 Mustoja lähtest Vihula mõisa teeni L3 • 1076000_2 Mustoja Vihula mõisa teest L3 suudmeni • 1041500_1 Nava • 1071900_2 Pada livandojast suudmeni • 1023700_3 Pedja Puurmani paisust suudmeni • 1074600_1 Selja lähtest Veltsi ojani • 1074600_2 Selja Veltsi ojust Soolikaojani • 1053300_1 Tarakvere • 1074100_1 Toolse • 1078200_1 Udriku • 1032500_1 Völlinge • 1077100_2 Võsu Laviku paisust suudmeni
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p><i>Seisuveeökosüsteemid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2024100 Aravuse järv • VEE2057000 Ilmjärv • VEE2055200 Kivijärv (Laiuse Kivijärv) • VEE2055400 Kuremaa järv • VEE2052600 Männikjärv • VEE2004000 Nabudi järv • VEE2003900 Pikkjärv (Viitna Pikkjärv) • VEE2056800 Prossa järv • VEE2052500 Suur Linajärv (Tooma Suur Linajärv) • VEE2050600 Väike-Tammiku järv • VEE2052510 Väike Linajärv (Tooma Väike Linajärv)

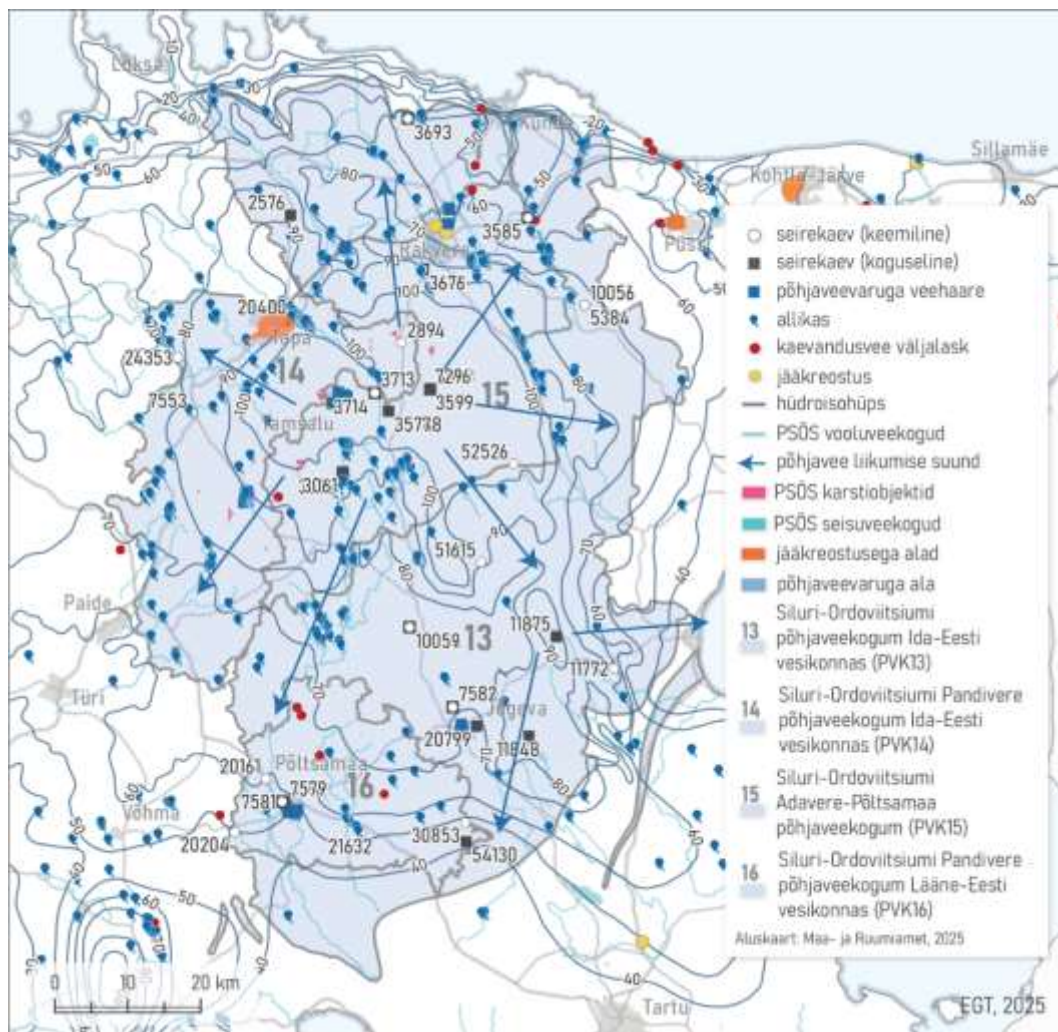
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_113 Näduvere Kaasiku (Umbsoo) heinamaa • PSMÖS_114 Umbsoo • PSMÖS_115 Palgissaare luhasoo • PSMÖS_116 Mustallika soo • PSMÖS_117 Ilmjärve soo ja Liiva luhasoo • PSMÖS_118 Tõivere Saunassaare mets • PSMÖS_120 Umbusi rabast kagusse jääb soomets • PSMÖS_121 Jaanihansult läände jääv soomets • PSMÖS_152 Võsupere Vähiselja karjamaa madalsood • PSMÖS_153 Tuksmanni soost edelasse jäävad soometsad • PSMÖS_154 Kaerasaarest kagusse jääv soomets • PSMÖS_155 Suurejärve soost põhja poole jäävad soometsad • PSMÖS_162 Edru-Koluvvere vaheline soomets • PSMÖS_163 Paasvere Kõrve põhjapoolne soomets • PSMÖS_164 Suigu soomets • PSMÖS_239 Kakuvälja sooniit • PSMÖS_240 Adaka sooniit • PSMÖS_243 Selja sooniit • PSMÖS_244 Malla sooniit • PSMÖS_245 lila sooniit • PSMÖS_246 Vasta sooniit • PSMÖS_252 Aadomäe soometsad • PSMÖS_387 Silmsi soo • PSMÖS_388 Põltsamaa jõe ja Räägu kanali vahele jäävad madalsood ja soometsad • PSMÖS_389 Haava lammisoo • PSMÖS_390 Nahkanuialt kagusse jääv soomets • PSMÖS_527 Taressaare soovikumets • PSMÖS_528 Umbusi raba ümbritsevad madalsood ja soometsad
--	--	--

<p>Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)</p>	<p>Koguseline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Keemiline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Üldseisund</p>	<p>Hea</p>

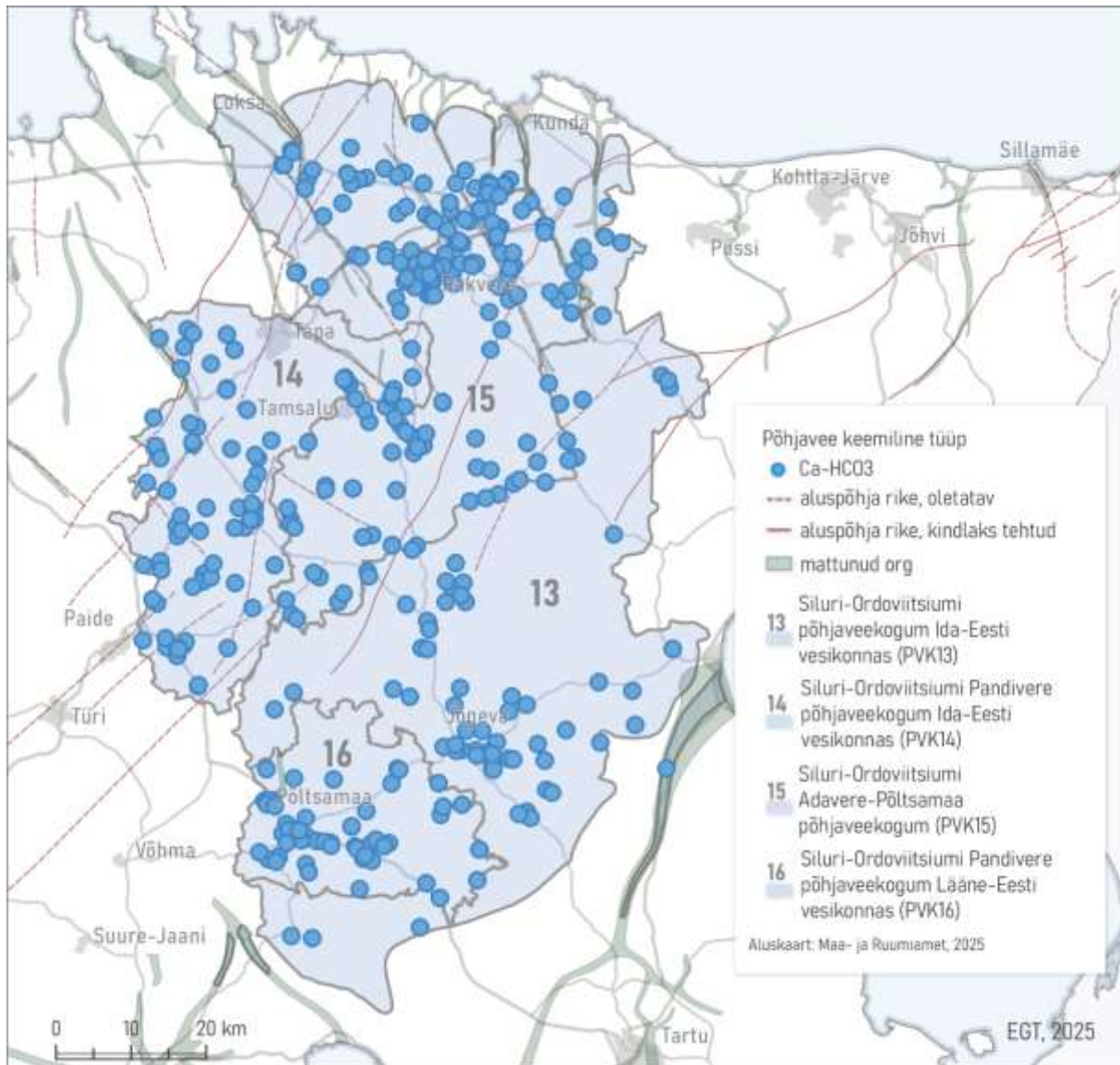
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	741250
	Põhjavee kinnitatud varu	2880
	Põhjaveevõtt 2023. a	27153
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-24273
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	738370
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	714097



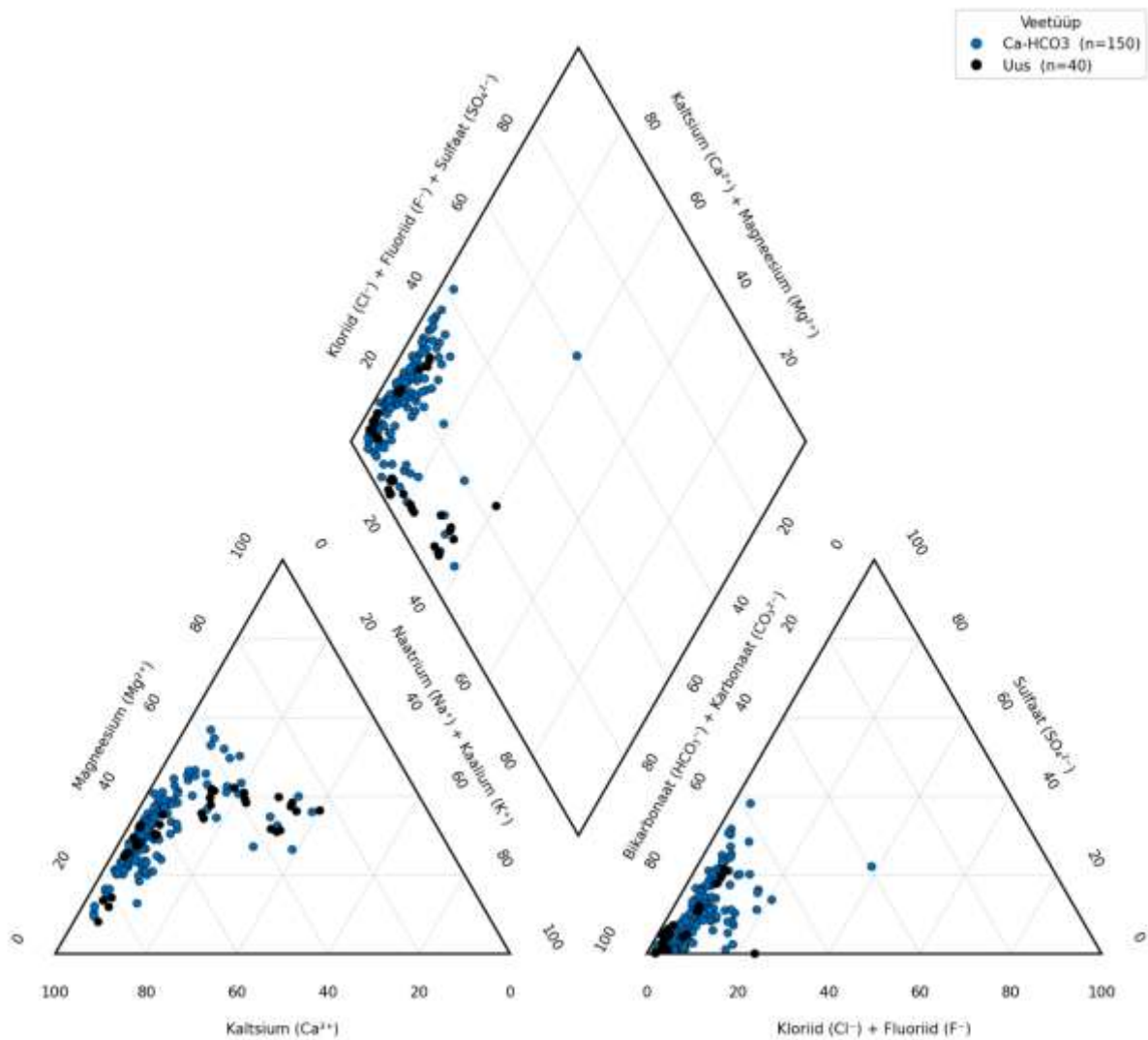
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 6, 13-16) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



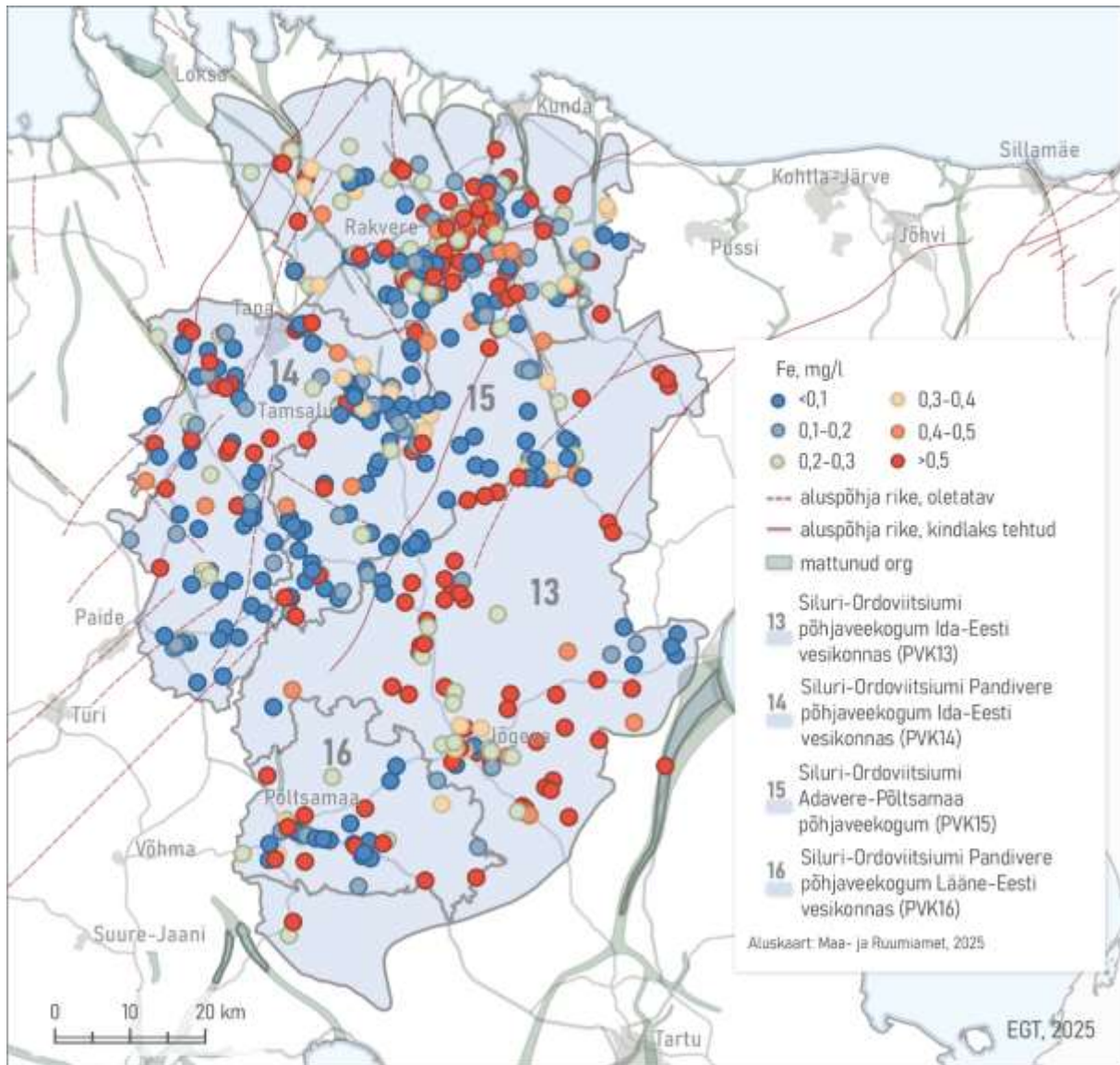
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 13-16) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



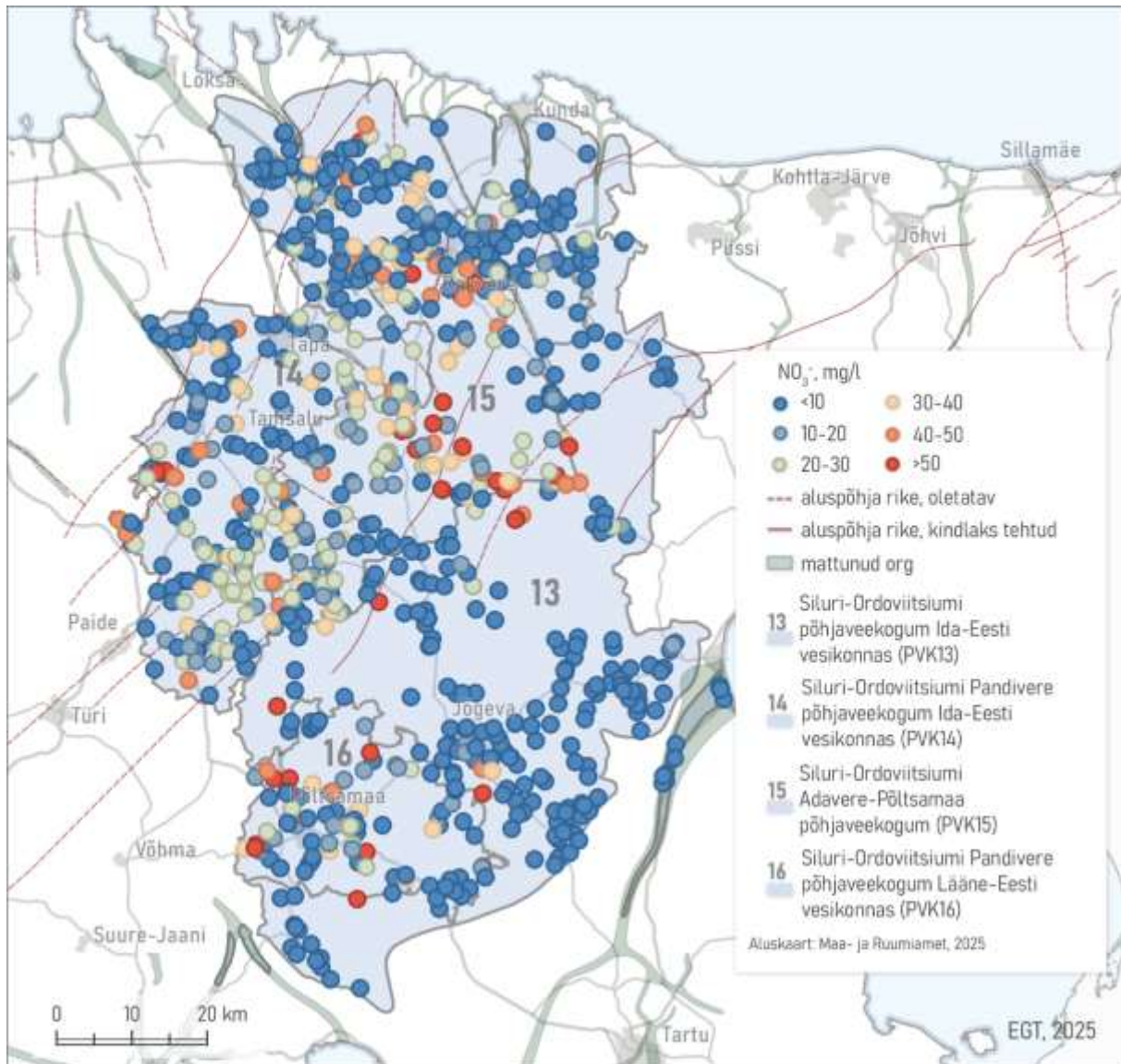
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



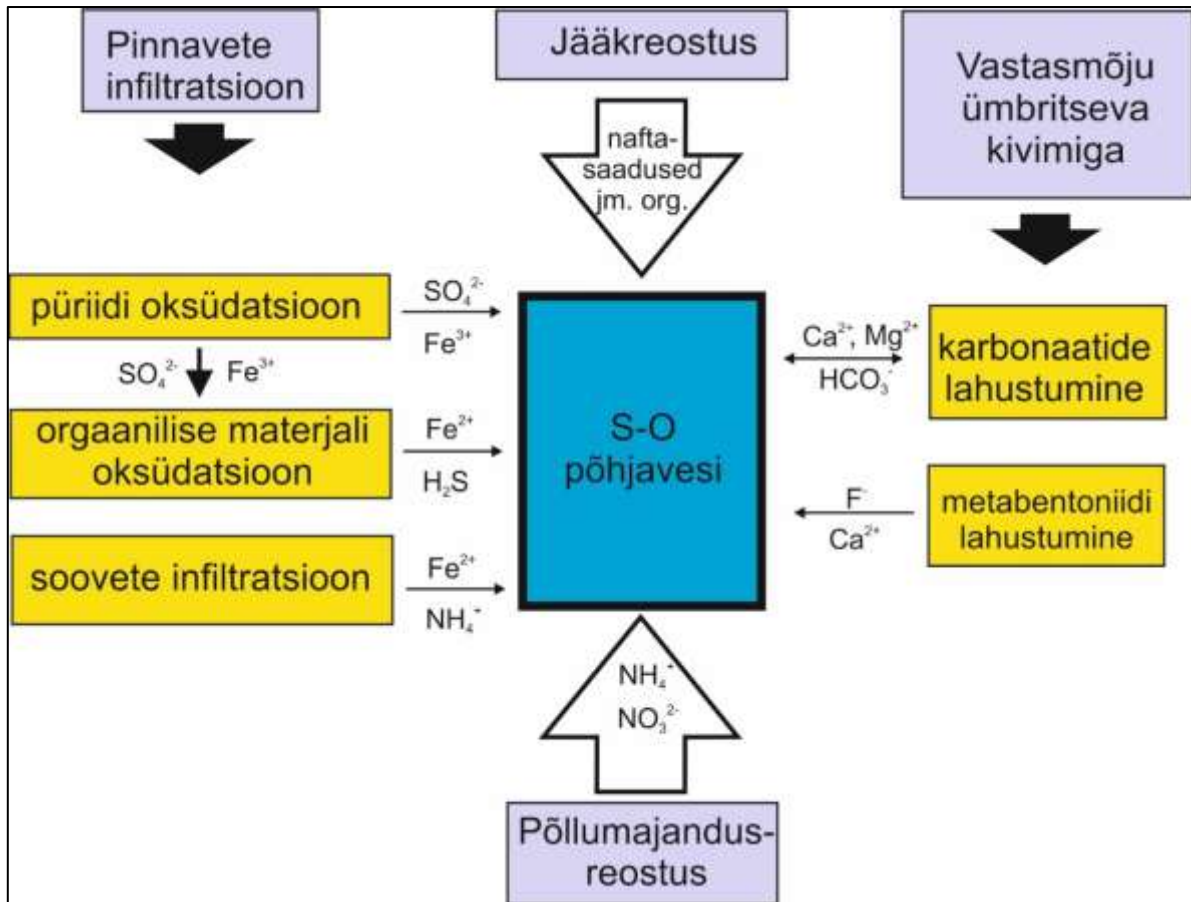
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee nitraatide sisaldus.



Joonis 7. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Iital, A., Kõrgmaa, V., Pachel, K., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü., Pärn, J., Hunt, M., Osjamets, M., Koit, O., 2022. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud 2019-2022 a. Seiretulemuste kokkuvõte. LIFE IP CleanEst Projekt, Tallinn. https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/202210/LIFE_IP_CleanEst_tegevus_C10_l%C3%B5pparuanne%2027.09.2022.docx.pdf
- Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdrogeoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu. <https://virumudel.ut.ee/materjalid/>
- Jõgar, P., 1983. Ground-water flow models of Pandivere Upland (North-East Estonia) (vene keeles). Proc. Acad. Sci. Est. SSR. Geol. 32, 69–78.
- Maastik, A., Oraspõld, A., Raukas, A., Kaljumäe, H., Karukäpp, R., Tavast, E., Teedumäe, A., Heinsalu, Ü., Metslang, T., Tamm, I., Metsur, M., Kink, H., 1993. Pandivere Riiklik Veekaitseala. Kogumikus: Pandivere Riiklik Veekaitseala (lk. 1–69). AS Maves, Jyväskylä.
- Perens, R., 1989. Pandivere veerikkus hüdrogeoloogi pilguga. Eesti Loodus 8, 482–487.
- Perens, R., Eltermann, G., Lang, T., Laas, L., Noppel, M., Norman, A., Solovjova, S., 1977. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil (Väike-Maarja objekt). Geoloogia Valitsus, Tallinn. EGF 3464
- Perens, R., Kajak, K., Kajak, K., Lang, T., Laas, L., Norman, A., Solovjova, S., Mardla, A., 1978. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil 1976.-1978.a (Tapa-Viru-Roela objekt). Geoloogia Valitsus, Tallinn. EGF 3508
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. Journal of Hydrology 542: 254–267.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jastšuk, 1998. Siluri-ordoviitsiumi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. VI etapp. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. Hydrol. Res. 47, 814–834.

PVK 14. Pandivere Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
14	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Lääne-Virumaa, Järvamaa	1095

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	<p>Kogum paikneb Siluri ja Ordoviitsiumi karbonaatkivimites ja neid katvates Kvaternaari setetes nitraaditundlikul alal.</p> <p>Põhjaveekihte moodustavate kivimite litoloogiline koostis on suhteliselt homogeenne, koosnedes mitmesugustest lubjakivi, ja dolomiidi erimitest, milles esinevad mergli ja savika lubjakivi vahekihid. Viimased moodustavad erineva isolatsioonivõimega veepidemeid (nt Vormsi, Oandu, Keila, Juuru lademed). Maapinna lähedal on kivimid sageli karstunud ja lõhelised. Sügavuse suurenedes lõhelisus väheneb.</p>	1	
	<i>Kogumi paksus</i>	Litoloogiliselt ulatub põhjaveekogumit moodustavate kivimite paksus ~200 meetrini, kuid tulenevalt sügaval paiknevate karbonaatkivimite puudulikkusest veeandvusest piirdub põhjaveekogumi paksus enamasti ülemise 75–100 meetriga (Perens, 1989; Perens & Vallner, 1997).	1	
	<i>Lasuv veepide</i>	Praktiliselt puudub, mistõttu põhjavesi on sageli kaitsmata või nõrgalt kaitstud (Perens jt., 2012). Paksema pinnakattega on lokaalselt kõrgustikul esinevad oosid ja mõhnastikud.	1	
	<i>Lamav veepide</i>	Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad väikese lõhelisusega karbonaatkivimid sügavamal kui ~100 meetrit (Perens jt., 2012). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on ~10 ⁻⁶ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	1	

	Põhjavee survepind	<p>Sõltub reljeefist ja põhjaveekihtide paiknemise sügavusest. Maapinnalähedane põhjavesi on surveta, aga sügavamal vettandvate ja vett halvasti juhtivate kivimite vaheldumisel kujuneb survepind põhjavesi.</p> <p>Põhjaveetasemete absoluutkõrgus langeb kõrgustikul koos põhjaveekihi sügavusega. Ülemistes, tugevalt karstunud kivimitega seotud maapinnalähedastes veekihtides on põhjaveetase valdavalt 5–15 m sügavusel maapinnast. Sügavamates põhjaveekihtides on põhjavee survepind valdavalt 15–35 m sügavusel maapinnast (Perens jt., 2012). Pärnu ja Jägala jõe ülemjooksudel ja kõrgustiku jalamil on põhjavee survepind üle maapinna ja esineb rohkesti allikaid.</p>	2
--	---------------------------	---	---

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee liikumise suuna määrab Pandivere kõrgustik kui peamine toiteala. Sealt liigub põhjavesi kagusse, Liivi lahe suunas. Soodsate toitumistingimustega paekõrgendikelt, oosidelt ja mõhnastikelt liigub põhjavesi kohaliku hüdrograafilise võrgu suunas.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Siluri–Ordoviitsiumi karbonaatkivimeis liigub põhjavesi mööda lõhesid ning karstitühemikke. Esineb nii kivimikihtide vahelisi kui ka vertikaalseid lõhesid. Põhjaveekihtide vett andvateks osadeks on kihipindadel paiknevad vett juhtivad tsoonid, mis koosnevad õhukestest lõhedest (2-3 mm, harvem kuni 30 mm laiad) ja paiknevad läbilõikes keskmiselt 1–1,5 m järel (Perens jt., 1977, 1978; Perens, 1989). Need moodustavad keskmiselt kogu veekihi läbilõikest 3–15%. Vett juhtivaid tsoone eraldavad üksteisest vett halvasti juhtivad monoliitsed kivimikihid, mille paksus võib ulatuda 5-10 m ja mille vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-2} – 10^{-5} m/ööpäevas (Jõgar, 1983). Kivimis esinevad vertikaalsed lõhed on seotud tektooniliste rikkevöönditega, mille pindalaline paiknemine on ebaühtlane. Osa lõhesid on täitunud savimaterjaliga ning vett läbi ei lase. Suurimad põhjaveekihtide veejuhtivuse väärtused 500–2000 m ² /ööpäevas on seotud just rikkevöönditega (Perens jt., 2012).	1

		<p>Sügavuse suurenedes väheneb lõhelisus ja koos sellega põhjavee hulk. Sellest tulenebki, et Pandivere kõrgustiku Siluri–Ordoviitsiumi karbonaatkivimeis on nime poolest eristatud erinevate stratigraafiliste üksuste põhjaveekihte (nt Perens jt., 1978), kuid konkreetsetes paigas on neid kihte sageli ainult paar tükki. Valdav osa põhjaveest on kuni 75 meetri sügavusel (Perens, 1989; Perens & Vallner, 1997).</p> <p>Maapinna lähedal (kuni 20 m sügavuseni) on lateraalne filtratsioonikoefitsient 10–50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m vahemikus 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m vahemikku 1–2 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Kogumit moodustavate kivimite veejuhtivus varieerub vahemikus 50 kuni >1000 m²/ööpäevas, olles valdavalt 30 kuni 300 m²/ööpäevas (Perens jt., 2012) Olenevalt kivimite lõhelisusest ja karstumusest on põhjaveekogumi poorsus keskmiselt 0,02–0,06 (Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjavee tegelik liikumiskiirus on väga erinev olles valdavalt 1 kuni 10 m/ööpäevas (kohati kuni 5000 m/ööpäevas; Perens jt., 2012). Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on tunduvalt aeglasem ja seda hinnatakse enamasti vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p>	
	<p>Toitumine ja režiim</p>	<p>Regionaalne põhjaveevool lähtub Pandivere kõrgustikult, lokaalselt on toitealadeks ka soodsate toitumistingimustega ja õhukese pinnakattega kaetud paekõrgendikud. Savika pinnakattega liigniisketel aladel on põhjavee toitumine vähene. Pandivere kõrgustikul on põhjavee neto-infiltratsiooniks hinnatud 100-300 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Kõrgustiku nõlvadel väheneb see 60-90 mm/aastas.</p> <p>Pandivere kõrgustikul võib eristada aktiivse veevahetuse vööd, mis haarab veekompleksi ülemise osa kuni 30–50 m sügavuseni, ja alumist mõõduka kuni aeglase veevahetuse vööd 50–100 m sügavusel (Jõelet & Polikarpus, 2018).</p> <p>Maapinnalähedased veekihid kuni sügavuseni 30 m, on tugevalt karstunud ja toituvad enamasti kurisute</p>	<p>2</p>

		<p>ja karstilõhede kaudu infiltreeruvast veest. See vesi väljub allikatena Pandivere kõrgustiku nõlvadel erinevatel absoluutkõrgustel (Maves, 2002). Maapinnalähedaste põhjaveekihtide tase paikneb valdavalt 5–15 m sügavusel maapinnast (Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjavee toitumine ja looduslik režiim sõltuvad eelkõige sademete hulgast ja õhutemperatuurist. Üldiselt saab põhjaveetasemete aastases kõikumises täheldada kahte maksimumi (kevadine lumesulamise ja sügisene sademete rohke periood) ja kahte miinimumi (suvine suurenenud evapotranspiratsiooniga periood ja talvine madalate veetasemete periood). Talvist madalveeperioodi ei esine soojadel talvedel, mil ei kujune paksu püsivat lumikatet. Sellises olukorras kujuneb üks sügistalvine veetasemete maksimumperiood (Iital jt., 2022; Pärn jt., 2024).</p> <p>Veetasemete kõikumise suurimad amplituudid, 5 kuni 10 m, iseloomustavad Pandivere kõrgustiku lage (Perens jt., 1978; Tamm & Leisk, 2024). Väikseks jäävad kõikumisamplituudid (0,8–1,0 m) survealade põhjavee väljumisaladel. Veevõtust põhjustatud veetaseme ulatuslikumat alanemist ei ole täheldatud.</p> <p>Põhjaveerežiimi kujunemisel on oluline osa piirkonnas esinevatel karstinähtustel. Enim karstunud on Pirgu, Rakvere, Porkuni, Juuru ja Raikküla lademe kivimite avamusalad (Perens jt., 2012). Põhjavee kiiret filtreerumist ei soodusta mitte ainult maapinnal avanevad karstivormid (kurisud, karstilõhed, avalõhed), vaid isegi suurem mõju põhjavee liikumisele on pinnakatte all esinevatel rohkemal mattunud karstivormidel. Kurisute väikese valgla ja lühiajalise vee neeldumise perioodi tõttu varakevadel, on kurisute kaudu neeldunud vee hulk suhteliselt väike ja osa põhjavee infiltreerumises oluline vaid seal, kus nende valgla on suur (Perens jt., 2012).</p>	
--	--	--	--

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi ülemises osas on looduslikes tingimustes formeerunud Ca-HCO₃-tüüpi vesi mineraalsusega 0,3–0,5 mg/L. Sügavamal muutub vesi Mg-Ca-HCO₃- või Mg-HCO₃-tüüpi veeks, aga selle mineraalsus oluliselt ei suurene (Iital jt., 2022).</p> <p>Kogum on maapinnalt lähtuva reostuse eest enamasti nõrgalt kaitstud ja kaitsmata alade levik on suur. Lisaks paikneb kogum suure põllumajandusmaa osakaaluga nitraaditundlikul alal ja NO₃⁻ kontsentratsioonid maapinnalähedal paiknevates madalates kaevudes (sügavus kuni 30 m) ületavad kohati joogiveele kehtestatud piirsaldust 50 mg/L. 2023. aastal oli kogumi seirekaevudes NO₃⁻ sisaldus 8,5-90 mg/L (põhjaveekogumi seirejaamade keskmine 28,1 mg/L; Tamm ja Leisk, 2024). Sügavamale võivad nitraadid levida tektooniliste rikkevööndite ümbruses (Maastik jt., 1993). Nitraatide sisaldused on viimasel 10 aastal näidanud nitraaditundliku ala seirekaevudes ja allikates kasvutrendi (Leisk, 2022; Tamm ja Leisk, 2024). Koos nitraadiga esinevad kogumis kohati ka fosforiühendite suuremad sisaldused (P_{üld} ja PO₄³⁻ sisaldused vastavalt 0,06-0,34 mg/l ja sisaldused 0,002-0,13 mgP/L; Tamm & Leisk, 2024). Kogumi sügavamates põhjaveekihtides esinevad looduslikult joogivee piirsaldusest suuremad raua (kuni 6,5 mg/L, keskmine 0,4 mg/L) ja mangaani (kuni 180 µg/L) kontsentratsioonid.</p> <p>Rauasisaldus aga on suurem just sügavamates suurkaevudes. Olulist osa veekvaliteedi kujunemisel mängib kaevu manteloru ehk suletud osa pikkus. Kuni 15 m pikkuse manteloriga kaevudes on oht suuremate nitraadisisalduste esinemiseks vees, pikema manteloriga korral on vee raua sisaldus suure tõenäosusega üle joogivee piirsalduse (Maastik jt., 1993). NH₄⁺ sisaldus (keskmine 0,2 mg/L) enamasti kehtestatud piirsaldust (0,5 mg/L) ei ületa.</p> <p>Lisaks nitraadile on kogumi põhjaveest leitud ka pestitsiidijääke (Leisk & Tamm, 2024). Pestitsiididest on kogumi põhjaveest kõige rohkem leitud kloridasoon-desfenüüli, teiste pestitsiidijääkide sisaldused on perioodil 2020-2023 olnud väikesed.</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	---	-----

		<p>Põhjavee ohtlike ainete sisaldused on põhjavee seirekaevudes olnud valdavalt alla määramispiiri (Tamm & Leisk, 2024). Aastatel 2018-2022 on üksikute seirejaamade vees leitud PAH ühendite väikesi koguseid (nt naftaleeni), mis ei ületa läviväärtust PAH ühendite summale 0,1 µg/L. Samuti on seirekaevudest leitud labori määramispiiri ületavaid 4-nonüülfenooli (0,16 µg/L) ja 4-tert-oktüülfenooli (0,004µg/L) sisaldusi, mis on aga väiksemad pinnavee aastakeskmise piirväärtuse (AA-EQS) on 0.3 µg/L.</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostise määrangud puurkaevudest ja allikatest näitavad, et põhjaveekogumi vesi on valdavalt pärit tänapäevastest sademetest ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused vahemikus $-11,7$ kuni $-12,3\text{‰}$; Savitskaja jt., 1998; Vaikmäe jt., 2001; Raidla jt., 2016). Nende tulemuste järgi kuulub kogum suures osas aktiivse veevahetuse võosse, kuid sügavamad põhjaveekihtid jäävad tõenäoliselt mõõduka või aeglase veevahetuse võondisse (Jõeleht & Polikarpus, 2018; Iital jt., 2022).</p> <p>Põhjavee looduslikku keemilist koostist on mõjutanud karbonaatsete mineraalide lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon ja orgaanilise aine oksüdeerumine. Põllumajanduses kasutatavate mineraalväetiste ja sõnniku toimel on suurenenud põhjavee nitraatide kontsentratsioon looduslikult tasemelt 0-5 mg/L väärtusteni kuni ~90 mg/L. Sügavamates põhjaveekihtides, kus valitsevad anoksilised tingimused, nitraadid lagunevad denitrifikatsioonil, aga suureneb kivimis esinevate raua sisaldavate mineraalide (nt püriit) lagunemisel põhjavee rauasisaldus. Koos nitraatidega on viimastel aastatel põhjaveest tuvastatud ka pestitsiidijääke ja ravimijääke. Need orgaanilised ühendid võivad põhjaveekihtides levida infiltratsioonialadelt oluliselt kaugemale, sest on lagunemisprotsessidele vastupidavamad kui anorgaanilised lämmastikuühendid (Iital jt., 2022).</p>	7

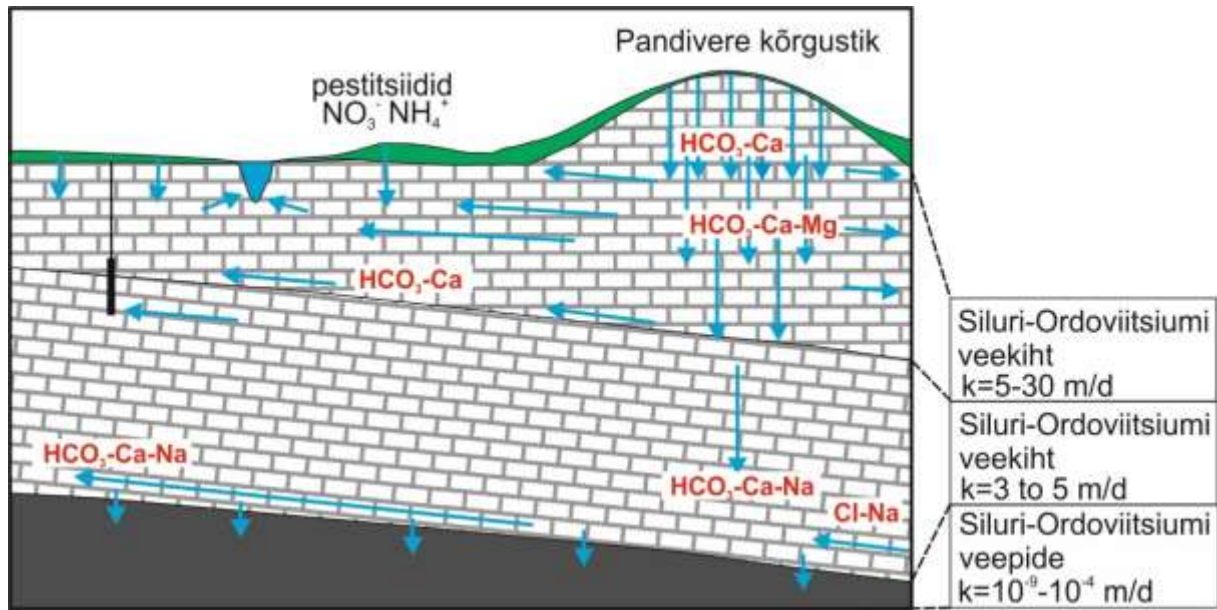
<p style="text-align: center;"><u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p style="text-align: center;">Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1084200_1 Ambla • 1124100_1 Esna lähtest Suurpalu peakraavini • 1124100_2 Esna Suurpalu peakraavist suudmeni • 1085000_1 Jänijõgi lähtest Jäneda Veskijärve paisuni • 1085700_1 Mustjõgi (Jägala) • 1125700_1 Prandi lähtest Neeva kanalini • 1123500_1 Pärnu lähtest Tarbja paisuni • 1087000_2 Soodla jõgi: Soodla Veehoidla • 1087000_1 Soodla lähtest Soodla veehoidlani • 1084400_1 Tammiku • 1079200_1 Valgejõgi lähtest Niinemäe kraavini • 1123800_2 Vodja Anna-Petri-Huuksi maantee sillast suudmeni • 1123800_1 Vodja lähtest Anna-Petri-Huuksi maantee sillani
---	---	--

	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p><i>Seisuveeökosüsteemid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2043200 Allikajärv (Roosna-Alliku Allikajärv) • VEE2033500 Porkuni järv • VEE2033400 Vanaveski paisjärv <p><i>Põhjaveekogumist sõltuvad olulised karstiobjektid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • LTA1001051 Aniste karstijärvik • LTA1001110 Assamalla luht • LTA1000656 Einjärve karstijärvik • LTA1000986 Jalgsema karstijärvik 1 • LTA1000770 Jalgsema karstijärvik 3 • LTA1001221 Jalgsema karstijärvik 4 • LTA1000671 Kuksema karstijärvik • LTA1000717 Lüsingu karstijärvik • LTA1001199 Saksi karstijärvik 1 • LTA1001020 Tudre karstijärvik 1 • LTA1000903 Valasti karstijärvik • LTA1000918 Võhmetu-Lemmküla karstijärvikud (Lemmküla järv) • LTA1000994 Võhmetu-Lemmküla karstijärvikud (Mardihansu järv) • LTA1001273 Võhmetu-Lemmküla karstijärvikud (Piisupi järv) • LTA1001246 Võhmetu-Lemmküla karstijärvikud (Süsijärv) • LTA1000820 Võhmetu-Lemmküla karstijärvikud (Võhmetu ja Laksi järv)
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_158 Järvajõe soo • PSMÖS_211 Vahakulmu allikasoo • PSMÖS_386 Prandi jõe ülemjooksu soomets • PSMÖS_395 Ämmavõhma soo • PSMÖS_396 Esna jõe ülemjooksu sood • PSMÖS_397 Tännapere soo • PSMÖS_399 Kiigumõisa allikasood ja soometsad • PSMÖS_400 Roosna-Alliku allikasoo

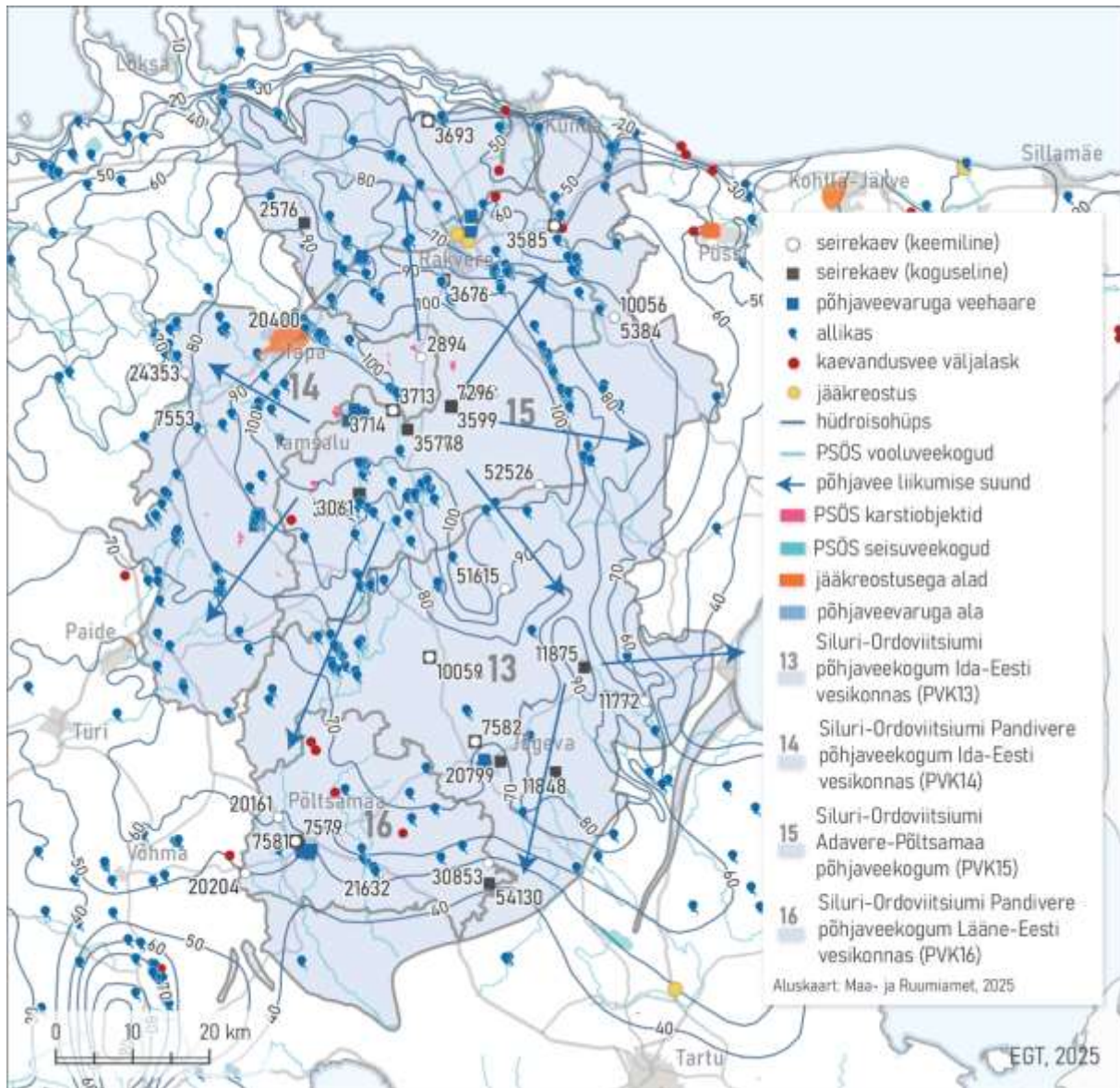
<p>Seisundi hinna</p>	<p>Koguseline seisund</p>	<p>Hea</p>
------------------------------	----------------------------------	------------

	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

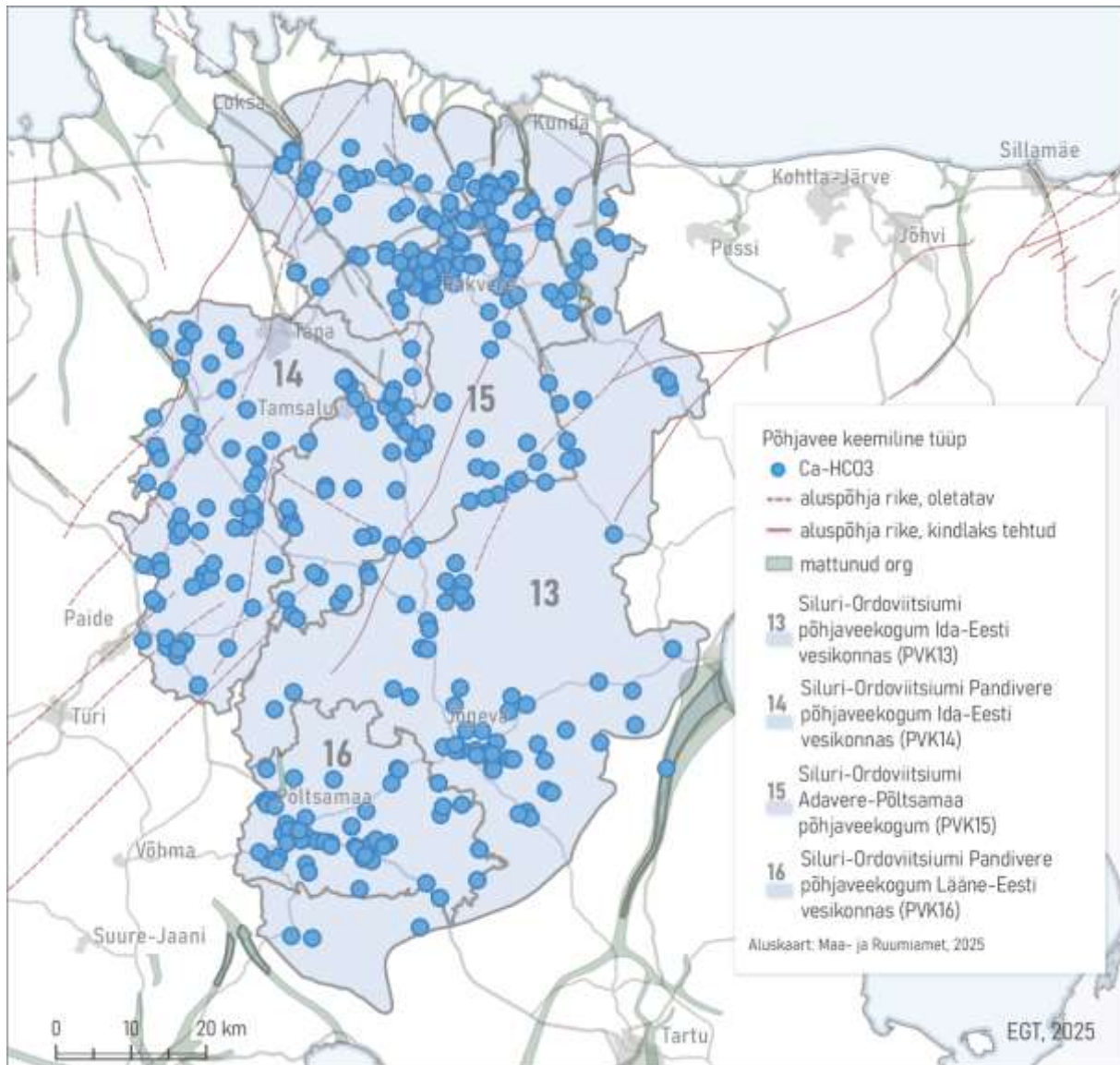
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	303295
	Põhjavee kinnitatud varu	3200
	Põhjaveevõtt 2023. a	2792
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	408
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	300095
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	300503



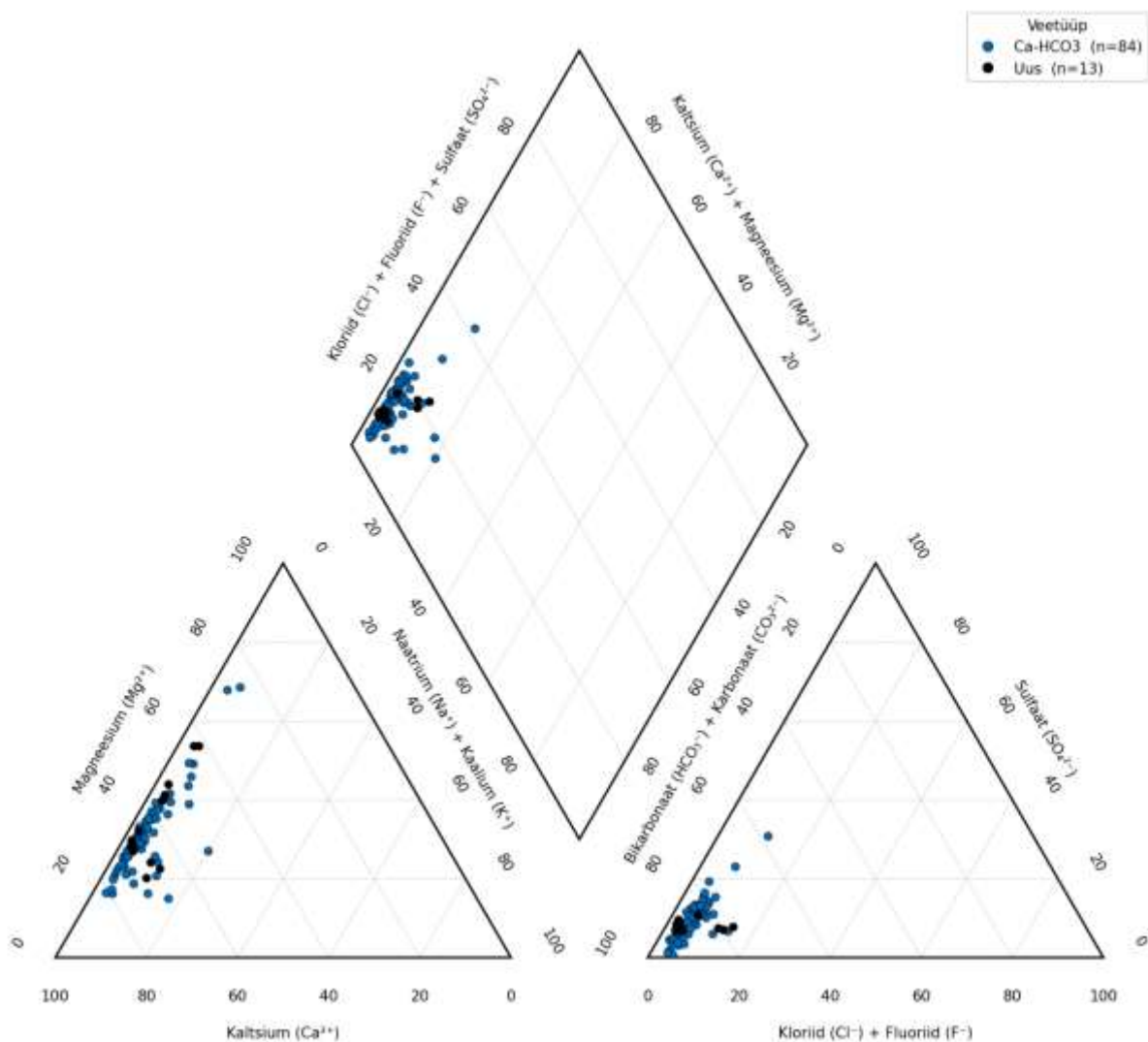
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 6, 13-16) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



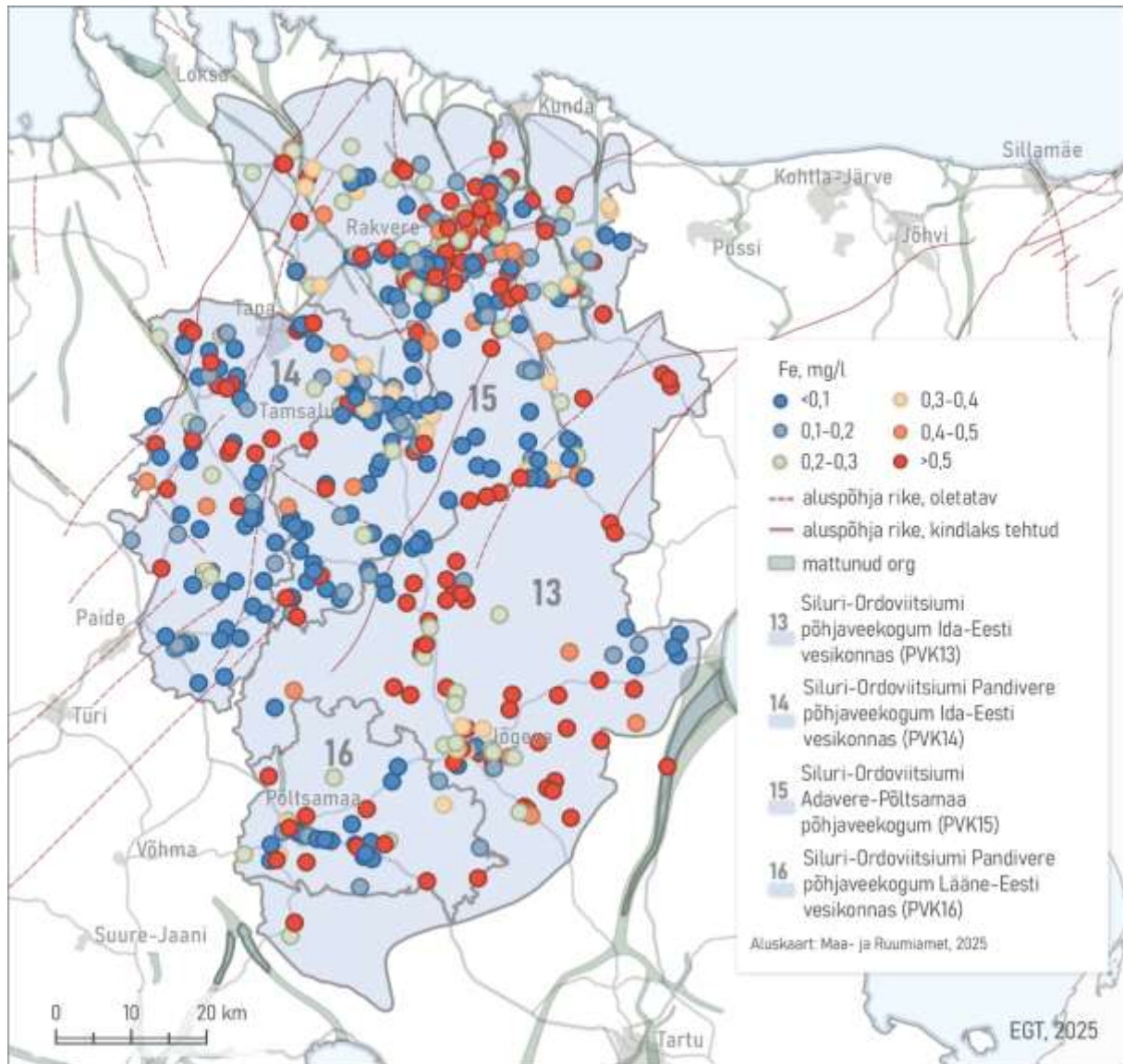
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 13-16) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



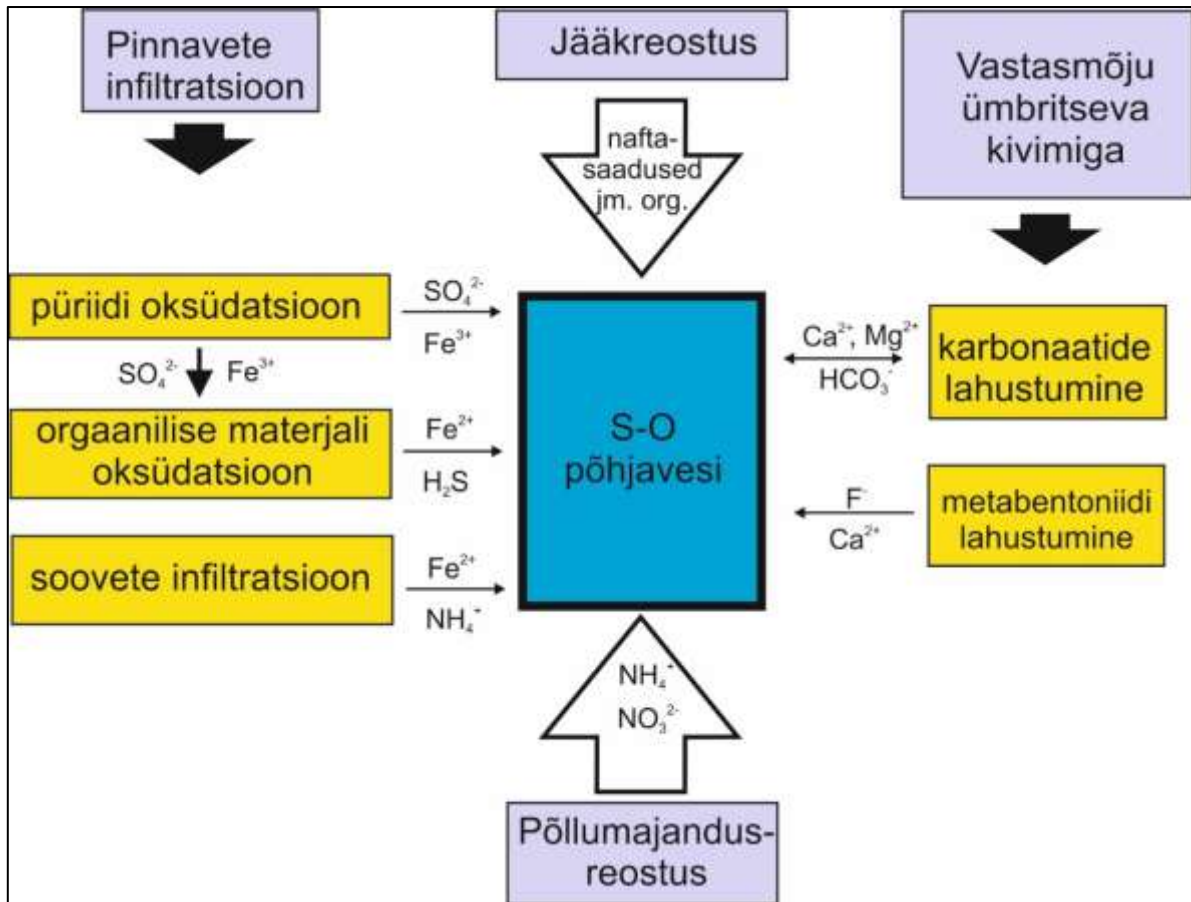
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4 Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee raua sisaldus.



Joonis 7. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Iital, A., Kõrgmaa, V., Pachel, K., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü., Pärn, J., Hunt, M., Osjamets, M., Koit, O., 2022. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud 2019-2022 a. Seiretulemuste kokkuvõte. LIFE IP CleanEst Projekt, Tallinn. https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/202210/LIFE_IP_CleanEst_tegevus_C10_l%C3%B5pparuanne%2027.09.2022.docx.pdf
- Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdrogeoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu. <https://virumudel.ut.ee/materjalid/>
- Jõgar, P., 1983. Ground-water flow models of Pandivere Upland (North-East Estonia) (vene keeles). Proc. Acad. Sci. Est. SSR. Geol. 32, 69–78.
- Leisk, Ü., 2022. Nitraaditundliku ala põhjavee seire 2021. Lõpparuanne. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Maastik, A., Oraspõld, A., Raukas, A., Kaljumäe, H., Karukäpp, R., Tavast, E., Teedumäe, A., Heinsalu, Ü., Metslang, T., Tamm, I., Metsur, M., Kink, H., 1993. Pandivere Riiklik Veekaitseala. Kogumikus: Pandivere Riiklik Veekaitseala (lk. 1–69). AS Maves, Jyväskylä.
- Maves, 2002. Pandivere karst ja allikad. 1994.a koostatud kataloogi "Pandivere Riikliku Veekaitseala karst ja allikad" täiendatud väljaanne. AS Maves, Tallinn.
- Perens, R., 1989. Pandivere veerikkus hüdrogeoloogi pilguga. Eesti Loodus 8, 482–487.
- Perens, R., Eltermann, G., Lang, T., Laas, L., Noppel, M., Norman, A., Solovjova, S., 1977. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil (Väike-Maarja objekt). Geoloogia Valitsus, Tallinn. EGF 3464
- Perens, R., Kajak, K., Kajak, K., Lang, T., Laas, L., Norman, A., Solovjova, S., Mardla, A., 1978. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil 1976.-1978.a (Tapa-Viru-Roela objekt). Geoloogia Valitsus, Tallinn. EGF 3508
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., Walraevens, K., Hunt, M., Koit, O., van Camp, M., Ivask, J., Raidla, V., Iital, A., Kõrgmaa, V., Osjamets, M., Babre, A., van Reybrouck, J., Vaikmäe, R., 2024. Unveiling the hydrological response of NO₃-rich springs to seasonal snowmelt in a karstic carbonate upland. Journal of Hydrology, 131724. 10.1016/j.jhydrol.2024.131724
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A δ¹⁸O isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. Journal of Hydrology 542: 254–267.

Savitskaja, L, Viigand, A., Jastšuk, 1998. Siluri-ordoviitsiumi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. VI etapp. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrol. Res.* 47, 814–834.

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

PVK 15. Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
15	Ida-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Lääne-Virumaa, Jõgevamaa	1288

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Kogum paikneb Siluri ja Ordoviitsiumi karbonaatkivimites ja neid katvates Kvaternaari setetes nitraaditundlikul alal. Põhjaveekihte moodustavate kivimite litoloogiline koostis on suhteliselt homogeenne, koosnedes mitmesugustest lubjakivi, ja dolomiidi erimitest, milles esinevad mergli ja savika lubjakivi vahelihid. Viimased moodustavad erineva isolatsioonivõimega veepidemeid (nt Vormsi, Oandu, Keila, Juuru lademed). Maapinna lähedal on kivimid sageli karstunud ja lõhelised. Sügavuse suurenedes lõhelisus väheneb.	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Litoloogiliselt ulatub põhjaveekogumit moodustavate kivimite paksus ~200 meetrini, kuid tulenevalt sügaval paiknevate karbonaatkivimite puudulikkusest veandvusest piirdub põhjaveekogumi paksus enamasti ülemise 75–100 meetriga (Perens, 1989; Perens & Vallner, 1997).	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Praktiliselt puudub, mistõttu põhjavesi on sageli kaitsmata või nõrgalt kaitstud (Perens jt., 2012). Paksema pinnakattega on lokaalselt kõrgustikul esinevad oosid ja mõhnastikud.	1
	<i>Lamav veepide</i>	Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad väikese lõhelisusega karbonaatkivimid sügavamal kui ~100 meetrit (Perens jt., 2012). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on ~10 ⁻⁶ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Sõltub reljeefist ja põhjaveekihtide paiknemise sügavusest. Maapinnalähedane põhjavesi on surveta,	2

		<p>aga sügavamal vettandvate ja vett halvasti juhtivate kivimite vaheldumisel kujuneb survealine põhjavesi.</p> <p>Põhjaveetasemete absoluutkõrgus langeb kõrgustikul koos põhjaveekihi sügavusega. Ülemistes, tugevalt karstunud kivimitega seotud maapinnalähedastes veekihtides on põhjaveetase valdavalt 5–15 m sügavusel maapinnast. Sügavamates põhjaveekihtides on põhjavee survepind valdavalt 15–35 m sügavusel maapinnast (Perens jt., 2012). Pedja ja Põltsamaa jõe ülemjooksudel ja kõrgustiku jalamil on survepind üle maapinna.</p>	
--	--	---	--

Hüdrodünaamika	<i>Voolusuunad</i>	<p>Põhjavee liikumise suuna määrab Pandivere kõrgustik kui peamine toiteala ja regionaalne veelahkmeala. Sealt liigub põhjavesi põhja, itta ja lõunasse. Soodsate toitumistingimustega paekõrgendikelt liigub põhjavesi kohaliku hüdrograafilise võrgu suunas. Kõrgustiku jalamit (80–90 m kõrgusel) tähistab tiheda sõõrina allikatevöönd (Norra, Oostriku, Völingi, Varangu, Lavi, Kulina, Simuna, Mõdriku, Vetiku jt.), mis on paljude vooluveekogude läteteks.</p>	2
	<i>Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus</i>	<p>Siluri–Ordoviitsiumi karbonaatkivimeis liigub põhjavesi mööda lõhesid ning karstitühemikke. Esineb nii kivimkihtide vahelisi kui ka vertikaalseid lõhesid. Põhjaveekihtide vett andvateks osadeks on valdavalt kihipindadel paiknevad vett juhtivad tsoonid, mis koosnevad õhukestest lõhedest (2-3 mm, harvem kuni 30 mm laiad) ja paiknevad läbilõikes keskmiselt 1–1,5 m järel (Perens jt., 1977, 1978; Perens, 1989). Need moodustavad keskmiselt kogu veekihi läbilõikest 3–15%. Vett juhtivaid tsoone eraldavad üksteisest vett halvasti juhtivad monoliitsed kivimikihid, mille paksus võib ulatuda 5-10 m ja mille vertikaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-2}–10^{-5} m/ööpäevas (Jõgar, 1983). Kivimis esinevad vertikaalsed lõhed on seotud tektooniliste rikkevöönditega, mille pindalaline paiknemine on ebaühtlane. Osa lõhesid on täitunud savimaterjaliga ning vett läbi ei lase. Suurimad põhjaveekihtide veejuhtivuse väärtused 500–2000</p>	1

		<p>m²/ööpäevas on seotud just rikkevöönditega (Perens jt., 2012).</p> <p>Sügavuse suurenedes väheneb lõhelisus ja koos sellega põhjavee hulk. Sellest tulenebki, et Pandivere kõrgustiku Siluri–Ordoviitsiumi karbonaatkivimeis on nime poolest eristatud erinevate stratigraafiliste üksuste põhjaveekihte (nt Perens jt., 1978), kuid konkreetses paigas on neid kihte sageli ainult paar tükki. Valdav osa põhjaveest on kuni 75 meetri sügavusel (Perens, 1989; Perens & Vallner, 1997).</p> <p>Maapinna lähedal (kuni 20 m sügavuseni) on lateraalne filtratsioonikoefitsient 10–50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m vahemikus 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m vahemikku 1–2 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Kogumit moodustavate kivimite veejuhtivus varieerub vahemikus <100 kuni 2000 m²/ööpäevas (Perens jt., 2012). Suurem kihi veejuhtivus iseloomustab Pandivere kõrgustiku nõlval paiknevaid rikkevööndeid, aga valdav osa puurkaevudest jäävad oma veejuhtivuselt selle vahemiku alumisse ossa. Kogumiga seotud põhjaveekihtide filtratsioonikoefitsient varieerub vahemikus 1-70 m/ööpäevas, olles keskmise väärtusega 9 m/ööpäevas. Erinevad põhjaveekihid on omavahel ühendatud rikkevöönditega seotud vertikaalsete lõhede, ürgorgude ja arvukate alal paiknevate puurkaevude kaudu (Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjavee tegelik liikumiskiirus on väga erinev olles valdavalt 1 kuni 10 m/ööpäevas (kohati kuni 5000 m/ööpäevas; Perens jt., 2012). Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on tunduvalt aeglasem ja seda hinnatakse enamasti vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p>	
	Toitumine ja režiim	<p>Regionaalne põhjaveevool lähtub Pandivere kõrgustikult. Lokaalselt on toitealadeks ka soodsate toitumistingimustega ja õhukese pinnakattega kaetud paekõrgendikud. Savika pinnakattega liigniisketel aladel on põhjavee toitumine vähene. Pandivere kõrgustikul on põhjavee netoinfiltratsiooniks hinnatud 100-300 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Kõrgustiku nõlvadel väheneb see 60-90 mm/aastas. Kõrgustiku harjal paikneb põhjaveetase 13-16 m</p>	2

		<p>sügavusel maapinnast ning nõlvadel 0,5-6 m sügavusel maapinnast (Perens jt., 2012).</p> <p>Pandivere kõrgustikul võib eristada aktiivse veevahetuse võõd, mis haarab veekompleksi ülemise osa kuni 30–50 m sügavuseni, ja alumist mõõduka kuni aeglase veevahetuse võõd 50–100 m sügavusel (Perens jt., 2012; Jõelet & Polikarpus, 2018).</p> <p>Põhjavee toitumine ja looduslik režiim sõltuvad eelkõige sademete hulgast ja õhutemperatuurist. Üldiselt saab põhjaveetasemete aastases kõikumises täheldada kahte maksimumi (kevadine lumesulamise ja sügisene sademete rohke periood) ja kahte miinimumi (suvine suurenenud evapotranspiratsiooniga periood ja talvine madalate veetasemete periood). Talvist madalveeperioodi ei esine soojadel talvedel, mil ei kujune paksu püsivat lumikatet. Sellises olukorras kujuneb üks sügistalvine veetasemete maksimumperiood (Iital jt., 2022; Pärn jt., 2024).</p> <p>Põhjaveerežiimi kujunemisel on oluline osa piirkonnas esinevatel karstinähtustel. Enim karstunud on Pirgu, Rakvere, Porkuni, Juuru ja Raikküla lademe kivimite avamusalad (Perens jt., 2012). Põhjavee kiiret filtreerumist ei soodusta mitte ainult maapinnal avanevad karstivormid (kurisud, karstilohud, avalõhed), vaid isegi suurem mõju põhjavee liikumisele on pinnakatte all esinevatel rohketele mattunud karstivormidel. Kurisute väikese valgla ja lühiajalise vee neeldumise perioodi tõttu varakevadel, on kurisute kaudu neeldunud vee hulk suhteliselt väike ja osa põhjavee infiltreerumises oluline vaid seal, kus nende valgla on suur (Perens jt., 2012).</p>	
--	--	--	--

põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi ülemises osas on looduslikes tingimustes formeerunud Ca-HCO₃-tüüpi vesi mineraalsusega 0,3–0,5 mg/L. Sügavamal muutub vesi Mg-Ca-HCO₃- või Mg-HCO₃-tüüpi veeks, aga selle mineraalsus oluliselt ei suurene (Iital jt., 2022; Pärn jt., 2024).</p> <p>Kogum on maapinnalt lähtuva reostuse eest enamasti nõrgalt kaitstud ja kaitsmata alade levik on suur. Lisaks paikneb kogum suure põllumajandusmaa osakaaluga</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	--	-----

		<p>nitraaditundlikul alal ja NO_3^- kontsentratsioonid maapinnalähedal paiknevates madalates kaevudes (sügavus kuni 30 m) ületavad kohati joogiveele kehtestatud piirsisaldust 50 mg/L. 2023. aastal oli kogumi seirekaevudes NO_3^- sisaldus 0,5-80 mg/L (põhjaveekogumi seirejaamade keskmine 23 mg/L; lital jt., 2022; Tamm ja Leisk, 2024). Sügavamale võivad nitraadid levida tektooniliste rikkevööndite ümbruses (Maastik jt., 1993). Nitraatide sisaldused on viimasel 10 aastal näidanud nitraaditundliku ala seirekaevudes ja allikates kasvutrendi (Leisk, 2022; Tamm ja Leisk, 2024). Koos nitraadiga esinevad kogumis kohati ka fosforiühendite suuremad sisaldused ($\text{P}_{\text{üld}}$ ja PO_4^{3-} sisaldused vastavalt 0,06-0,34 mg/L ja sisaldused 0,002-0,13 mgP/L; Tamm & Leisk, 2024). Kogumi sügavamates põhjaveekihtides esinevad looduslikult joogivee piirsisaldusest suuremad raua (kuni 4,4 mg/L, keskmine 0,5 mg/L, piirsisaldus 0,2 mg/L) ja mangaani (kuni 200 $\mu\text{g/L}$, piirsisaldus 50 $\mu\text{g/L}$) kontsentratsioonid.</p> <p>Rauasisaldus aga on suurem just sügavamates puurkaevudes. Olulist osa veekvaliteedi kujunemisel mängib kaevu manteloru ehk suletud osa pikkus. Kuni 15 m pikkuse manteloriga kaevudes on oht suuremate nitraadisisalduste esinemiseks vees, pikema manteloru korral on vee raua sisaldus suure tõenäosusega üle joogivee piirsisalduse (Maastik jt., 1993). NH_4^+ sisaldus (keskmine 0,2 mg/L) enamasti kehtestatud piirsisaldust (0,5 mg/L) ei ületa.</p> <p>Lisaks nitraadile on kogumi põhjaveest leitud ka pestitsiidi ja ravimijääke (lital jt., 2022; Leisk & Tamm, 2024). Pestitsiididest on kogumi põhjaveest leitud kloridasoon-desfenüüli, 1,2,4-triklorobenseeni, 1,3,5-triklorobenseeni, tebukonasooli, bentasooni, pentaklorobenseeni, metasakloori, tsübutriini ja boskaliidi. Ravimijääkidest on kogumist leitud kofeiini, jopamidooli (röntgenkontrastaine), karbamasepiini (epilepsia ravim) ja veterinaarravimijääki 4-aminoantipüriini (lital jt., 2022).</p> <p>Põhjavee ohtlike ainete sisaldused on põhjavee seirekaevudes olnud valdavalt alla määramispiiri (Tamm & Leisk, 2024). Aastatel 2018-2022 on üksikute seirejaamade vees leitud PAH ühendite väikesi</p>	
--	--	--	--

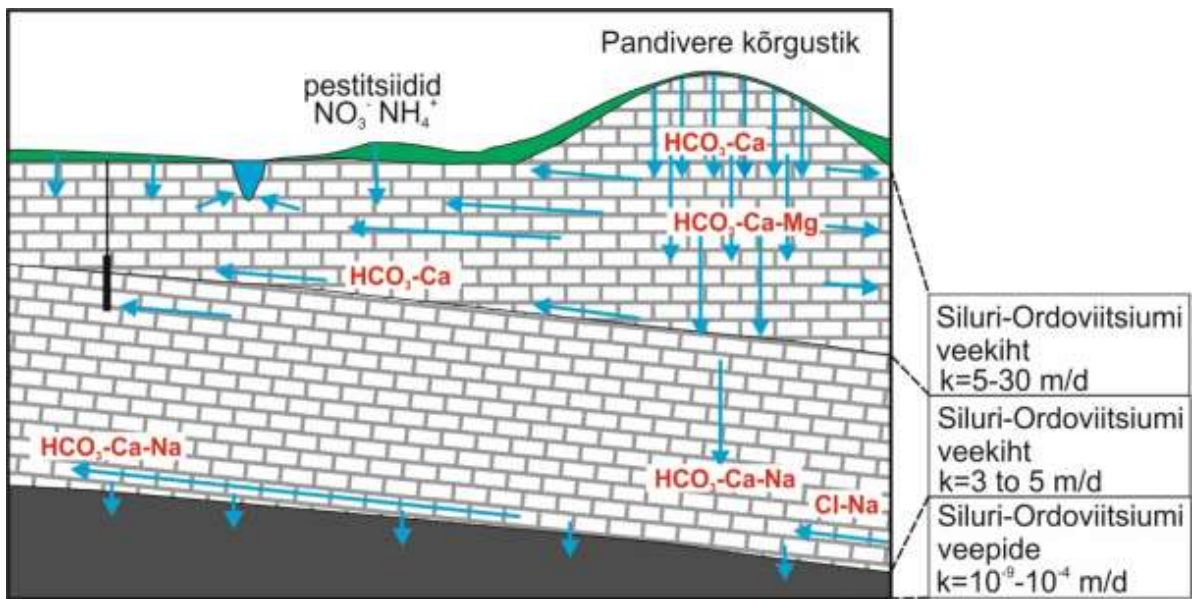
		koguseid (nt naftaleeni), mis ei ületa läviväärtust PAH ühendite summale 0.1 µg/L.	
	<i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i>	<p>Põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostise määranud suurkaevudest ja allikatest näitavad, et põhjaveekogumi vesi on valdavalt pärit tänapäevastest sademetest, kuid esineb ka vanemat liustikutekkelise põhjaveega segunenud vett ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused vahemikus $-11,5$ kuni $-15,3\text{‰}$; Savitskaja jt., 1998; Raidla jt., 2016; Iital jt., 2022). Nende tulemuste järgi kuulub kogum suures osas aktiivse veevahetuse vööndisse, kuid sügavamad põhjaveekihi jäävad tõenäoliselt mõõduka või aeglase veevahetuse vööndisse (Jõelet & Polikarpus, 2018; Iital jt., 2022).</p> <p>Põhjavee looduslikku keemilist koostist on mõjutanud karbonaatsete mineraalide lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon ja orgaanilise aine oksüdeerumine. Põllumajanduses kasutatavate mineraalväetiste ja sõnniku toimel on suurenenud põhjavee nitraatide kontsentratsioon looduslikult tasemelt 0-5 mg/L väärtusteni kuni ~80 mg/L. Sügavamates põhjaveekihtides, kus valitsevad anoksilised tingimused, nitraadid lagunevad denitrifikatsioonil, aga suureneb kivimis esinevate raua sisaldavate mineraalide (nt püriit) lagunemisel põhjavee rauasisaldus. Koos nitraatidega on viimastel aastatel põhjaveest tuvastatud ka pestitsiidijääke ja ravimijääke. Need orgaanilised ühendid võivad põhjaveekihtides levida infiltratsioonialadelt oluliselt kaugemale, sest on lagunemisprotsessidele vastupidavamad kui anorgaanilised lämmastikuühendid (Iital jt., 2022).</p>	7

<p>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1072900_2 Kunda Anguse jõest Kunda Jaama tn sillani • 1072900_3 Kunda Jaama tn sillast suudmeni • 1072900_1 Kunda lähtest Anguse jõeni • 1077900_1 Loobu lähtest Udriku ojani • 1032100_1 Norra-Oostriku • 1030200_1 Nõmme lähtest Nõmme Veski järve paisuni • 1030200_2 Nõmme Nõmme veski järve paisust suudmeni • 1023700_1 Pedja lähtest Karaski ojani • 1031500_1 Preedi lähtest Vahujõeni • 1031500_2 Preedi Vahujõest suudmeni • 1030000_2 Põltsamaa Ilmandu jõest Päinurme jõeni • 1030000_1 Põltsamaa lähtest Ilmandu jõeni • 1030000_3 Põltsamaa Päinurme jõest suudmeni • 1074600_3 Selja Soolikaojast Varangu maantee sillani • 1074600_4 Selja Varangu mnt sillast suudmeni • 1075300_1 Soolikaoja • 1075600_1 Sõmeru • 1073700_1 Vaeküla
--	--	--

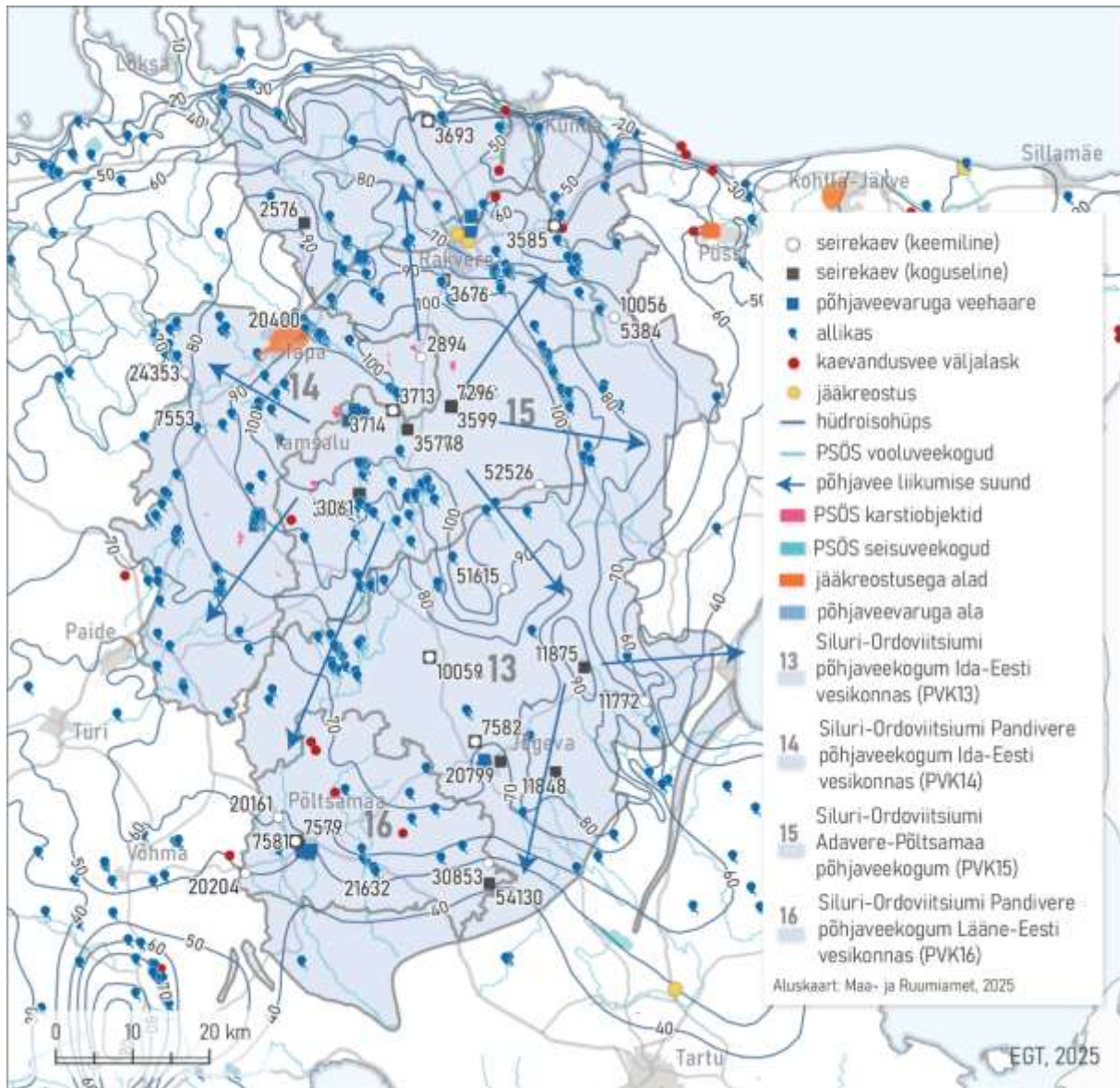
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Seotud seisuveeökosüsteemid: <ul style="list-style-type: none"> • VEE2012300 Eesjärv (Neeruti Eesjärv) • VEE2043820 Mäeotsa järv • VEE2012200 Orajärv (Neeruti Orajärv) • VEE2043600 Sinijärv (Äntu Sinijärv) • VEE2012400 Tagajärv (Neeruti Tagajärv) • VEE2043700 Vahejärv (Äntu Vahejärv) • VEE2043800 Valgejärv (Äntu Valgejärv) • VEE2050300 Väinjärv Seotud karstiobjektid: <ul style="list-style-type: none"> • LTA1001280 Aavere karstijärvik 2 • LTA1000734 Järsi karstijärvik 1 • LTA1001048 Järsi karstijärvik 2 • LTA1002166 Kuie karstijärvik • LTA1001182 Kursi karstijärvik • LTA1002172 Lillemaa järv (Taaveti järv) • LTA1000680 Mängupealse karstijärvik • LTA1000708 Oruluht (Varangu Oruluht) • LTA1002171 Varangu karstijärvik • LTA1000792 Veadla meri
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_159 Ilmandu jõe ülemjooksu sood • PSMÖS_160 Varangu allikate äärne soo • PSMÖS_161 Nõmme Kaanjärve soo • PSMÖS_165 Kulina-Võhu lammisood

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Halb <i>Keemilise seisund halb pinnavee test 3 tõttu: Selja_3 ja Põltsamaa_1 vooluveekogumitele lähimates põhjavee seirekaevudes nitraatide sisaldus kasvusuundumuses ning põhjavee toitest pärinev lämmastik võib põhjustada nimetatud vooluveekogumite mitte head seisundit.</i>
	Üldseisund	Halb

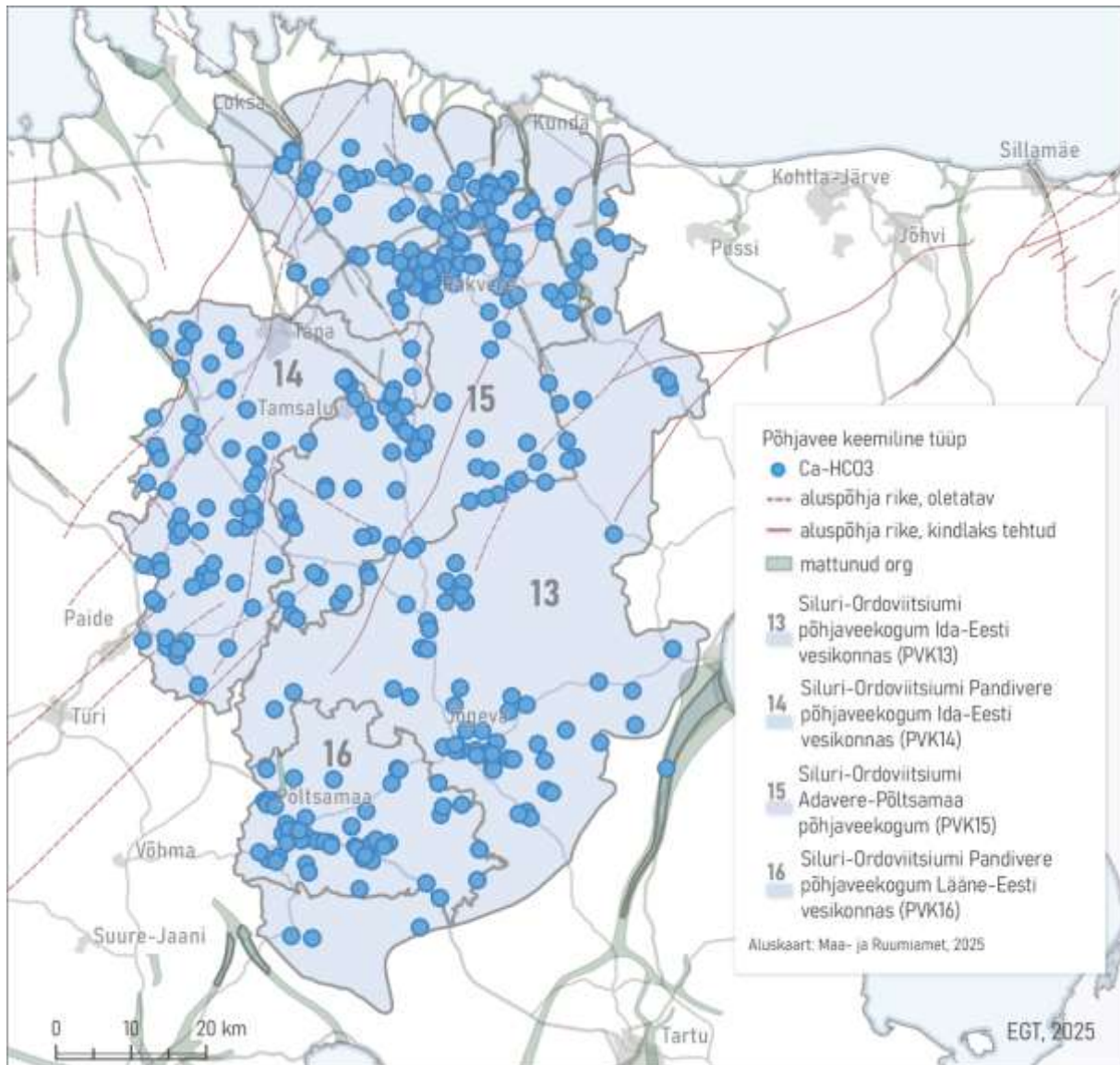
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	483213
	Põhjavee kinnitatud varu	6910
	Põhjaveevõtt 2023. a	16198
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-9288
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	476303
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	467015



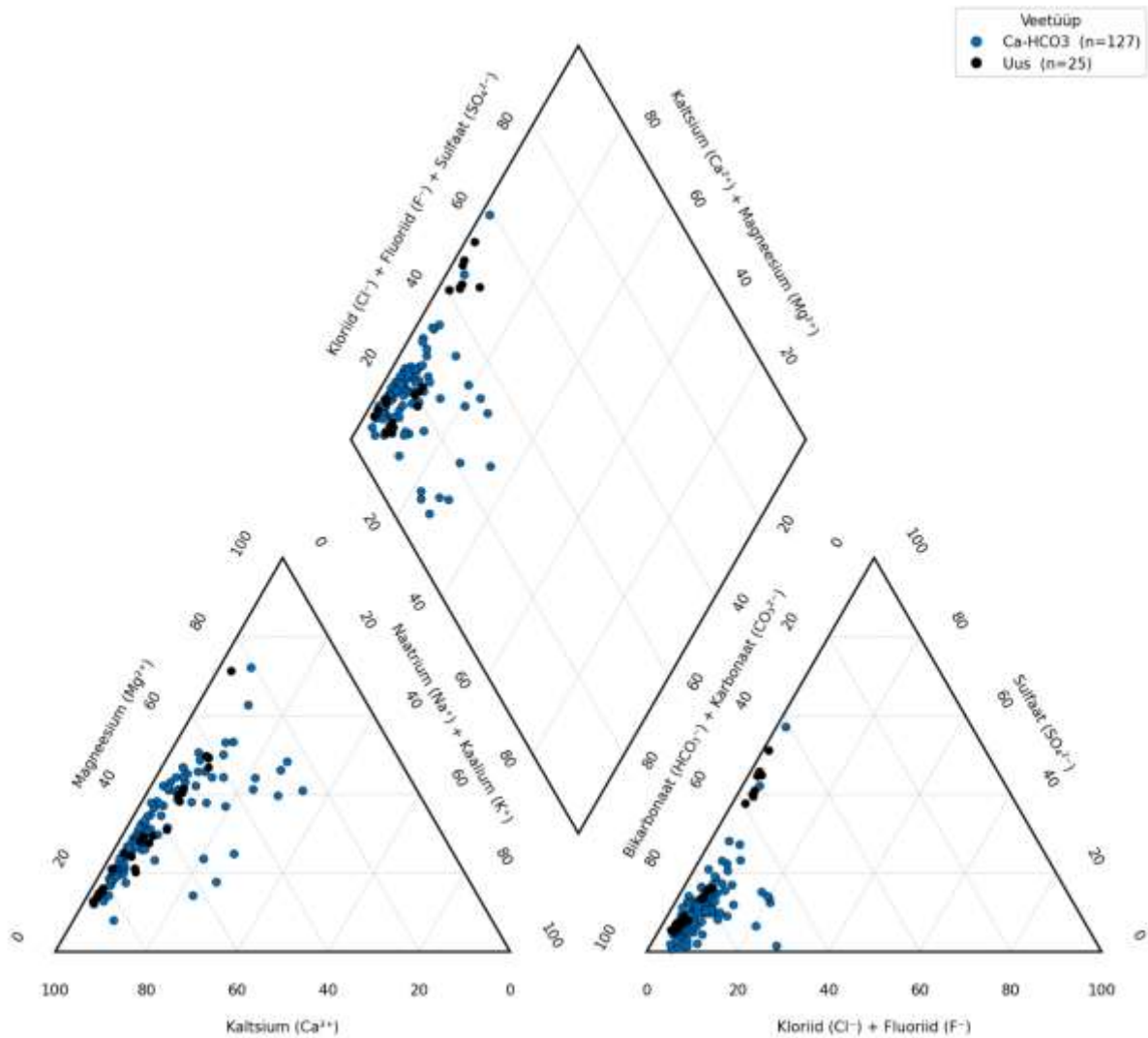
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 6, 13-16) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



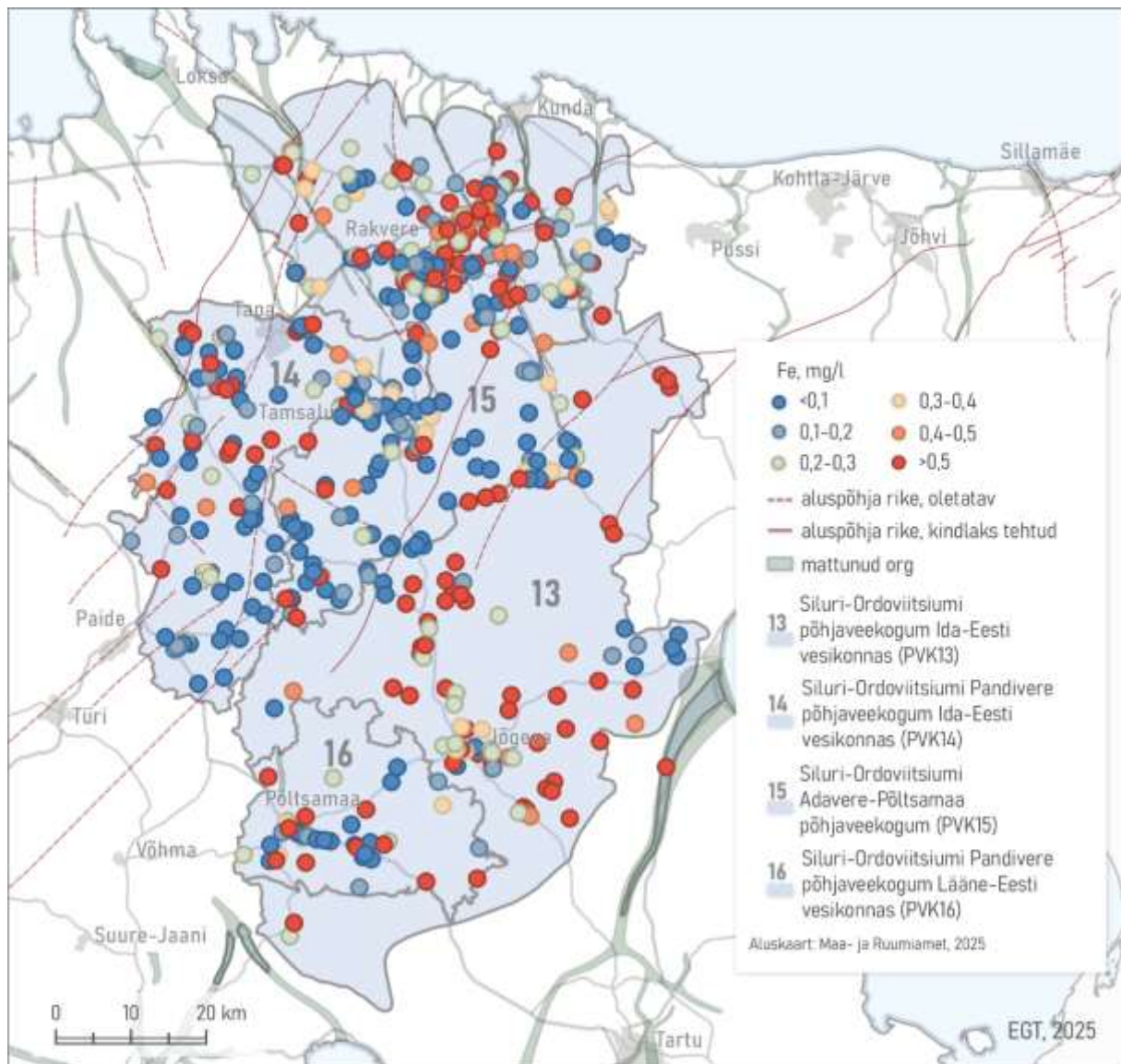
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 13-16) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



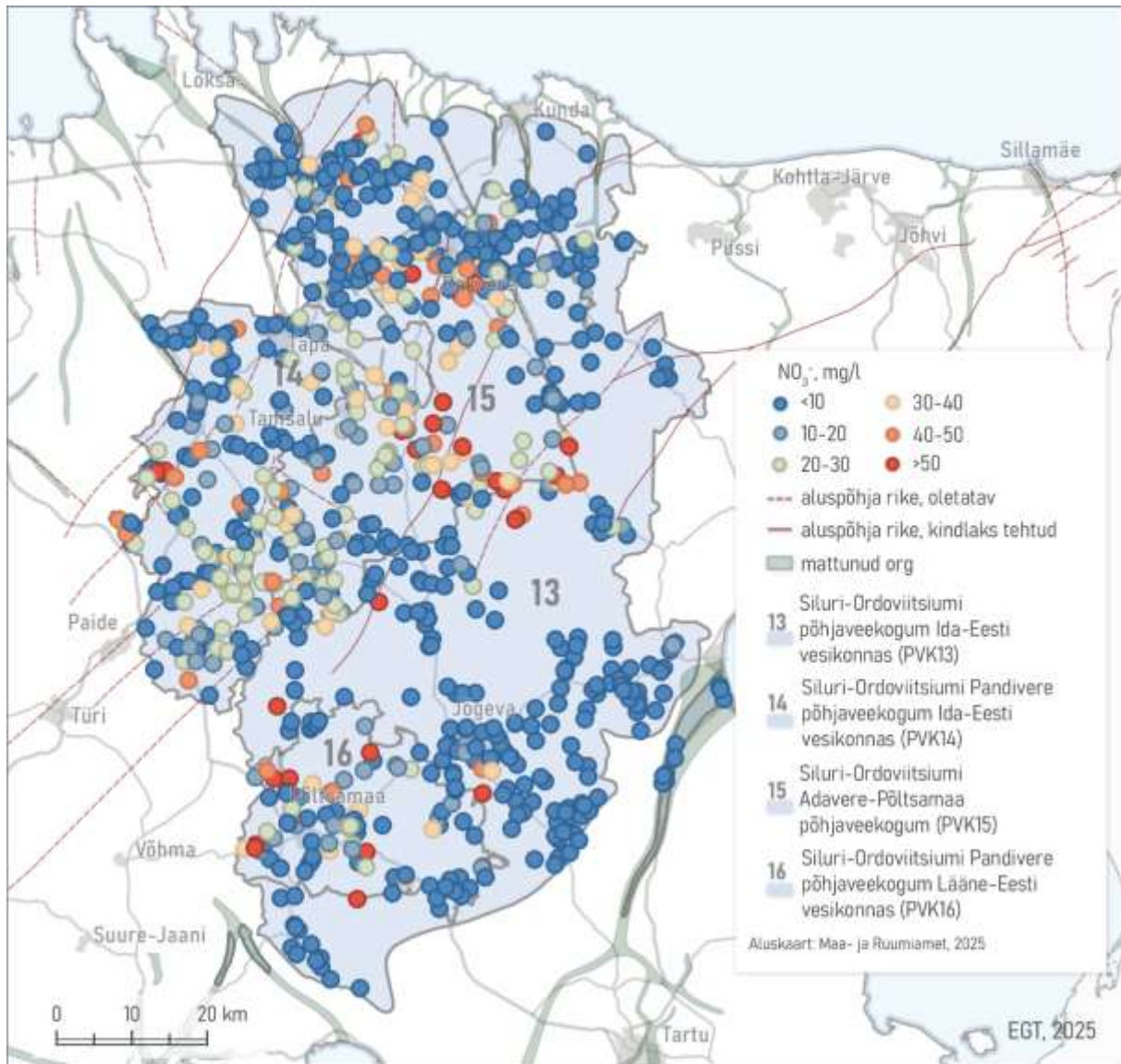
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



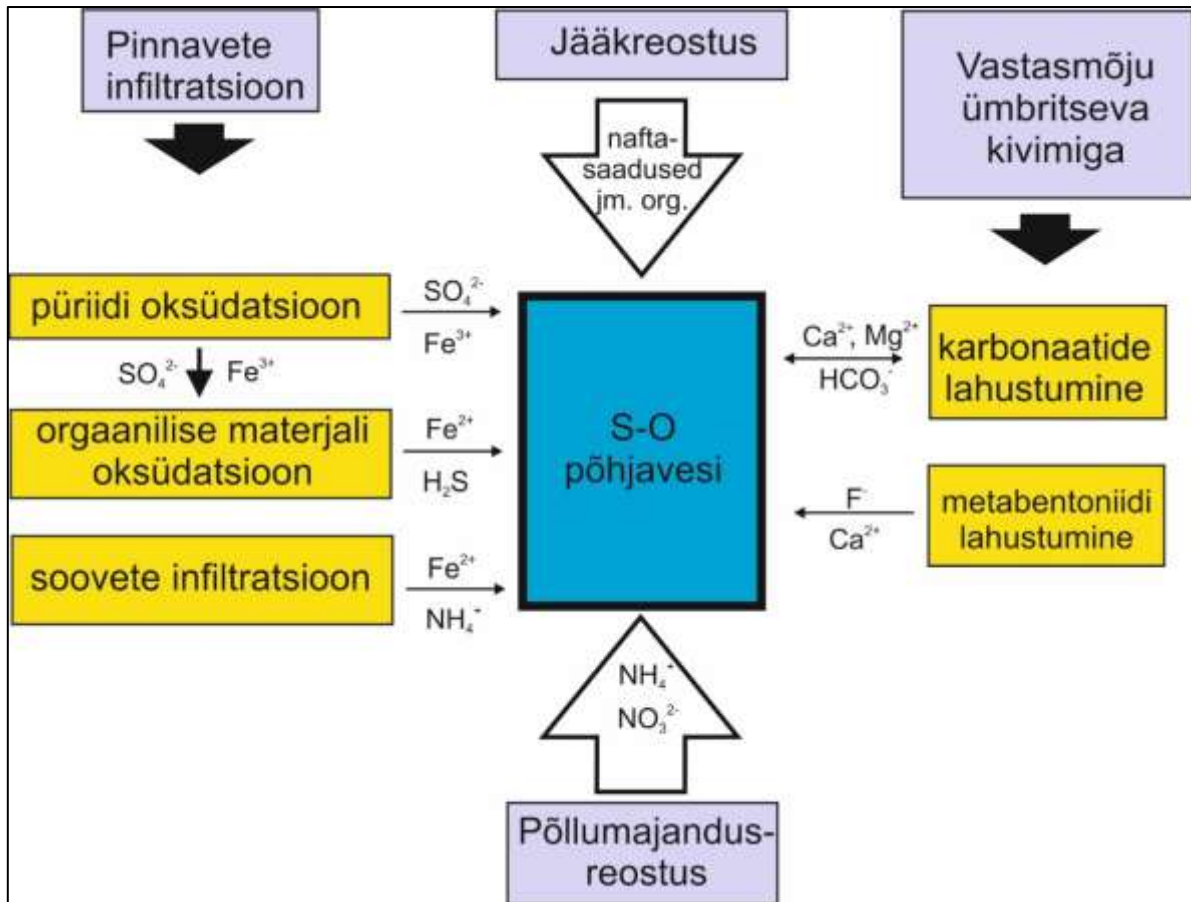
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee nitraatide sisaldus.



Joonis 7. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Iital, A., Kõrgmaa, V., Pachel, K., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü., Pärn, J., Hunt, M., Osjamets, M., Koit, O., 2022. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud 2019-2022 a. Seiretulemuste kokkuvõte. LIFE IP CleanEst Projekt, Tallinn. https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/202210/LIFE_IP_CleanEst_tegevus_C10_l%C3%B5pparuanne%2027.09.2022.docx.pdf
- Jõelet, A., Polikarpus, M., 2018. Hüdrogeoloogiline modelleerimine. Aruandes: Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. KIK projekt nr. 11808 aruanne. Tartu Ülikool, Tartu. <https://virumudel.ut.ee/materjalid/>
- Jõgar, P., 1983. Ground-water flow models of Pandivere Upland (North-East Estonia) (vene keeles). Proc. Acad. Sci. Est. SSR. Geol. 32, 69–78.
- Leisk, Ü., 2022. Nitraaditundliku ala põhjavee seire 2021. Lõpparuanne. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Maastik, A., Oraspõld, A., Raukas, A., Kaljumäe, H., Karukäpp, R., Tavast, E., Teedumäe, A., Heinsalu, Ü., Metslang, T., Tamm, I., Metsur, M., Kink, H., 1993. Pandivere Riiklik Veekaitseala. Kogumikus: Pandivere Riiklik Veekaitseala (lk. 1–69). AS Maves, Jyväskylä.
- Maves, 2002. Pandivere karst ja allikad. 1994.a koostatud kataloogi “Pandivere Riikliku Veekaitseala karst ja allikad” täiendatud väljaanne. AS Maves, Tallinn.
- Perens, R., 1989. Pandivere veerikkus hüdrogeoloogi pilguga. Eesti Loodus 8, 482–487.
- Perens, R., Eltermann, G., Lang, T., Laas, L., Noppel, M., Norman, A., Solovjova, S., 1977. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil (Väike-Maarja objekt). Geoloogia Valitsus, Tallinn. EGF 3464
- Perens, R., Kajak, K., Kajak, K., Lang, T., Laas, L., Norman, A., Solovjova, S., Mardla, A., 1978. Aruanne hüdrogeoloogilisest ja ehitusgeoloogilisest kaardistamisest mõõtkavas 1:50 000 maaparanduse eesmärgil 1976.-1978.a (Tapa-Viru-Roela objekt). Geoloogia Valitsus, Tallinn. EGF 3508
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., Walraevens, K., Hunt, M., Koit, O., van Camp, M., Ivask, J., Raidla, V., Iital, A., Kõrgmaa, V., Osjamets, M., Babre, A., van Reybrouck, J., Vaikmäe, R., 2024. Unveiling the hydrological response of NO₃-rich springs to seasonal snowmelt in a karstic carbonate upland. Journal of Hydrology, 131724. 10.1016/j.jhydrol.2024.131724
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A δ¹⁸O isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. Journal of Hydrology 542: 254–267.

Savitskaja, L, Viigand, A., Jastšuk, 1998. Siluri-ordoviitsiumi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistö. VI etapp. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. Hydrol. Res. 47, 814–834.

PVK 16. Siluri-Ordoviitsiumi Adavere-Põltsamaa põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
16	Ida-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari, Siluri-Ordoviitsiumi	Jõgevamaa	622,6

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Kogum paikneb Siluri ja Ordoviitsiumi karbonaatkivimites ja neid katvates Kvaternaari setetes nitraaditundlikul alal. Põhjaveekihte moodustavate kivimite litoloogiline koostis on suhteliselt homogeenne, koosnedes mitmesugustest lubjakivi ja dolomiidi erimitest, milles esinevad mergli vahekihid. Maapinna lähedal on kivimid sageli karstunud ja lõhelised. Sügavuse suurenedes lõhelisus väheneb.	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Litoloogiliselt ulatub põhjaveekogumit moodustavate kivimite paksus ~200 meetrini, kuid tulenevalt sügavamal paiknevate karbonaatkivimite puudulikkusest veeandvusest piirdub vettandva osa ehk põhjaveekogumi paksus enamasti ülemise 100-120 meetriga (Perens jt., 2012).	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Praktiliselt puudub, mistõttu põhjavesi on sageli kaitsmata või nõrgalt kaitstud (Perens jt., 2012).	1
	<i>Lamav veepide</i>	Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad väikese lõhelisusega karbonaatkivimid sügavamal kui ~120 meetrit (Perens jt., 2012). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Sõltub reljeefist ja avatud põhjaveekihtide sügavusest. Maapinnalähedane põhjavesi on surveta, aga sügavamal vettandvate ja vett halvasti juhtivate kivimite vaheldumisel kujuneb survepind põhjavesi. Põhjaveetase paikneb 2-6 meetri sügavusel maapinnast (Perens jt., 2012). Erinevalt Pandivere	2

		kõrgustiku piirkonnast ei ole aeratsioonivöö enamasti paksem kui 10 m (Perens jt., 2012). Põltsamaa jõe ümbruses on põhjavee survepind kohati üle maapinna. (Perens jt., 2012).	
--	--	---	--

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee liikumise suuna määrab Pandivere kõrgustik ja kohalik vooluveevõrk. Sealt liigub põhjavesi lõuna suunas. Reljeefi nõgudes moodustuvad kohalikud väljavoolualad ja esineb allikaid.	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Põhjaveekihtide veejuhtivus väheneb kiiresti kihtide lasumussügavuse kasvuga. Enam esineb vett juhtivaid tsoone kivimkehade vahelistel kontaktpindadel. Maapinna lähedal (kuni 20 m sügavuseni) on põhjaveekihtide filtratsioonikoefitsient 10–50 m/ööpäevas, sügavusel 20–50 m 5–8 m/ööpäevas ja sügavusel 50–100 m 1–2 m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Kogumit moodustavate kivimite veejuhtivus varieerub vahemikus 50 kuni >1000 m ² /ööpäevas. (Perens jt., 2012). Valdavalt on põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide veejuhtivus 50-300 m ² /ööpäevas. Põhjavee tegelik liikumiskiirus on väga erinev olles valdavalt 1 kuni 10 m/ööpäevas (kohati kuni 5000 m/ööpäevas; Perens jt., 2012). Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on tunduvalt aeglasem ja seda hinnatakse enamasti vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	1
	Toitumine ja režiim	Regionaalne põhjaveevool lähtub Pandivere kõrgustikult. Lokaalselt on toitealadeks ka soodsate toitumistingimustega ja õhukese pinnakattega kaetud paekõrgendikud. Savika pinnakattega liigniisketel aladel on põhjavee toitumine vähene. Põhjavee netoinfiltratsioon jääb vahemikku 90-200 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Põhjavee toitumine ja looduslik režiim sõltuvad eelkõige sademete hulgast ja õhutemperatuurist. Üldiselt saab põhjaveetasemete aastases kõikumises täheldada kahte maksimumi (kevadine lumesulamise	2

		<p>ja sügisene sademete rohke periood) ja kahte miinimumi (suvine suurenenud evapotranspiratsiooniga periood ja talvine madalate veetasemete periood). Talvist madalveeperioodi ei esine soojadel talvedel, mil ei kujune paksu püsivat lumikatet. Sellises olukorras kujuneb üks sügistalvine veetasemete maksimumperiood (Iital jt., 2022; Pärn jt., 2024). Põhjaveetaseme kõikumise amplituudid on suurimad kohaliku toitumisega paekõrgendikel, jäädes vahemikku 2-4 m (Perens jt., 2012). Väiksemad aastased põhjaveetaseme kõikumised (0,5-1,5 m) iseloomustavad survealuse põhjavee väljavoolualasid. Põhjaveekogumis ei ole täheldatud veetaseme langust ega veevõtu olulist mõju põhjavee kogusele seisundile ja kvaliteedile.</p>	
--	--	---	--

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumis levib valdavalt Ca-Mg-HCO₃ tüüpi vesi mineraalsusega 0,3–0,5 g/L. Põhjavee mineraalsus suureneb sügavusega.</p> <p>Kogum on maapinnalt lähtuva reostuse eest enamuses nõrgalt kaitstud. Põllumajandusmaa suure osakaalu tõttu kogumi maakattes, on seal täheldatud põllumajandustegevusest tingitud suuremaid NO₃⁻ sisaldusi. NO₃⁻ kontsentratsioonid maapinnalähedal paiknevates madalates kaevudes (sügavus kuni 30 m) ületavad kohati joogiveele kehtestatud piirsisaldust 50 mg/L. 2023. aastal oli kogumi seirekaevudes NO₃⁻ sisaldus 2–110 mg/L (põhjaveekogumi seirejaamade keskmine oli 32 mg/L; Tamm ja Leisk, 2024). Nitraatide sisaldused on viimasel 10 aastal näidanud nitraaditundliku ala seirekaevudes ja allikates kasvutrendi (Leisk, 2022; Tamm ja Leisk, 2024). Koos nitraadiga esinevad kogumis kohati ka fosforiühendite suuremad sisaldused (PO₄³⁻ sisaldused 0,03–1,2 mg/L; Tamm & Leisk, 2024). Kogumi sügavamates põhjaveekihtides esinevad looduslikult joogivee piirsisaldusest suuremad raua (kuni 5,8 mg/L; piirsisaldus 0,2 mg/L) kontsentratsioonid.</p> <p>Nitraatide kontsentratsioon põhjavees muutub koos puurkaevu sügavusega. Adavere-Põltsamaa piirkonnas on alates 2006. aastast kõige kõrgemad nitraadikontsentratsioonid (keskmine 30-70 mg/L)</p>	3-6
-------------------------	--------------------------	--	-----

		<p>tuvastatud sügavamates üle 30 m sügavusega kaevudes. Riiklikud põhjaveeseire andmed näitavad, et sügavusel 40-60 m langeb nitraadi kontsentratsioon tasemele <10 mg/L. Kõrgeimad nitraatiooni kontsentratsioonid esinevad seirekaevudes kevadel (aprillis, mais) ja madalaimad sügisel (septembris-oktoobris) ning nitraatiooni sisaldused on suuremad sademerohketel aastatel.</p> <p>Lisaks nitraadile on kogumi põhjaveest leitud ka pestitsiidi jääke (Leisk & Tamm, 2024). Pestitsiidi jääkidest on kogumi põhjaveest leitud 1,2,3-triklorobenseeni, 1,2,4-triklorobenseeni, kloridasoon-desfenüüli ja kloridasooni.</p> <p>Põhjavee ohtlike ainete sisaldused on põhjavee seirekaevudes olnud valdavalt alla määramispiiri (Tamm & Leisk, 2024). Aastatel 2018-2022 on üksikute seirejaamade vees leitud PAH ühendite väikesi koguseid, mis peaaegu ei ületa läviväärtust PAH ühendite summale 0.1 µg/L.</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostise määrangud puurkaevudest ja allikatest näitavad, et põhjaveekogumi vesi on valdavalt pärit tänapäevastest sademetest ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused vahemikus -11,6 kuni -11,9‰; Savitskaja jt., 1998; Raidla jt., 2016). Nende tulemuste järgi kuulub kogum suures osas aktiivse veevahetuse vööndisse.</p> <p>Põhjavee looduslikku keemilist koostist on mõjutanud karbonaatsete mineraalide lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon ja orgaanilise aine oksüdeerumine. Põllumajanduses kasutatavate mineraalväetiste ja sõnniku toimel on suurenenud põhjavee nitraatide kontsentratsioon looduslikult tasemelt 0-5 mg/L väärtusteni kuni ~100 mg/L. Sügavamates põhjaveekihtides, kus valitsevad anoksilised tingimused, nitraadid lagunevad denitrifikatsioonil, aga suureneb kivimis esinevate rauda sisaldavate mineraalide (nt püriit) lagunemisel põhjavee rauasisaldus. Koos nitraatidega on viimastel aastatel põhjaveest tuvastatud ka pestitsiidijääke. Need orgaanilised ühendid võivad põhjaveekihtides levida infiltratsioonialadelt oluliselt kaugemale, sest on</p>	<p>7</p>

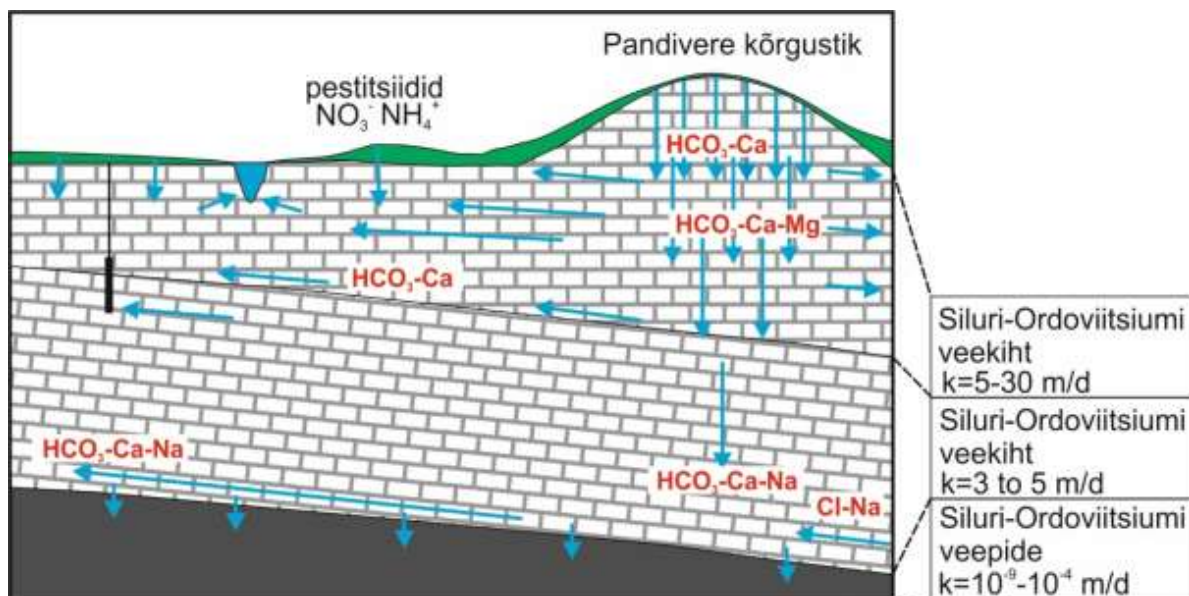
		lagunemisprotsessidele vastupidavamad kui anorgaanilised lämmastikuühendid (Iital jt., 2022).	
--	--	---	--

Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • 1027200_1 Kaave • 1034600_1 Nõmavere • 1029200_2 Umbusi Jõgeva-Põltsamaa maantee sillast suudmeni • 1029200_1 Umbusi lähtest Jõgeva-Põltsamaa maantee sillani
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	<p>Põhjaveekogumiga ei ole loetud seotuks ühtegi seisuveeökosüsteemi.</p> <p><i>Olulised karstiobjektid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • LTA1001366 Lahavere karstijärvik • LTA1002108 Pühajärve karstijärvik 1 • LTA1002109 Pühajärve karstijärvik 2 • LTA1001161 Pühajärve karstijärvik 3
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_119 Vitsjärve Hundirähm

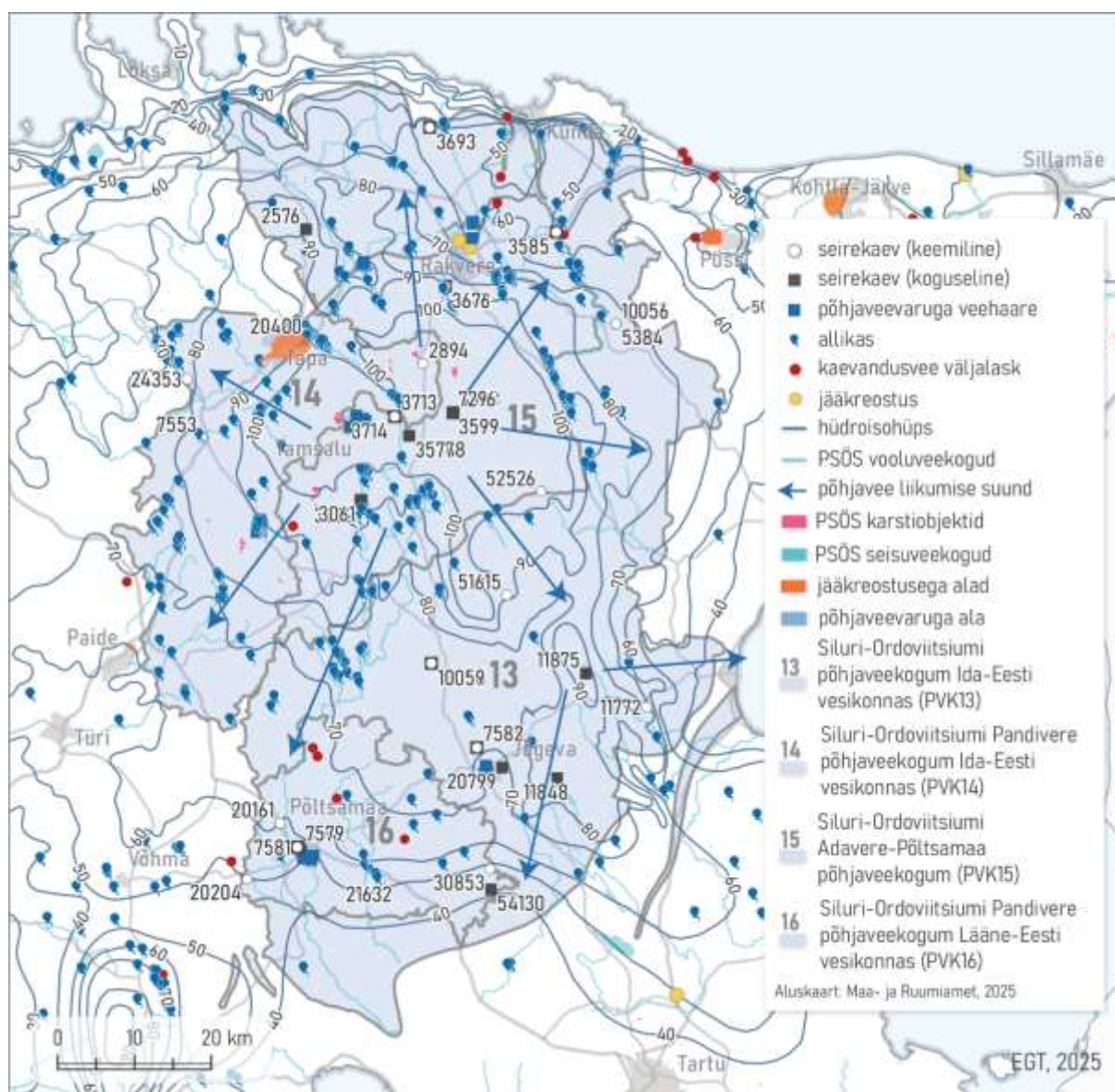
Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurs	198805
	Põhjavee kinnitatud varu	2700
	Põhjaveevõtt 2023. a	7928

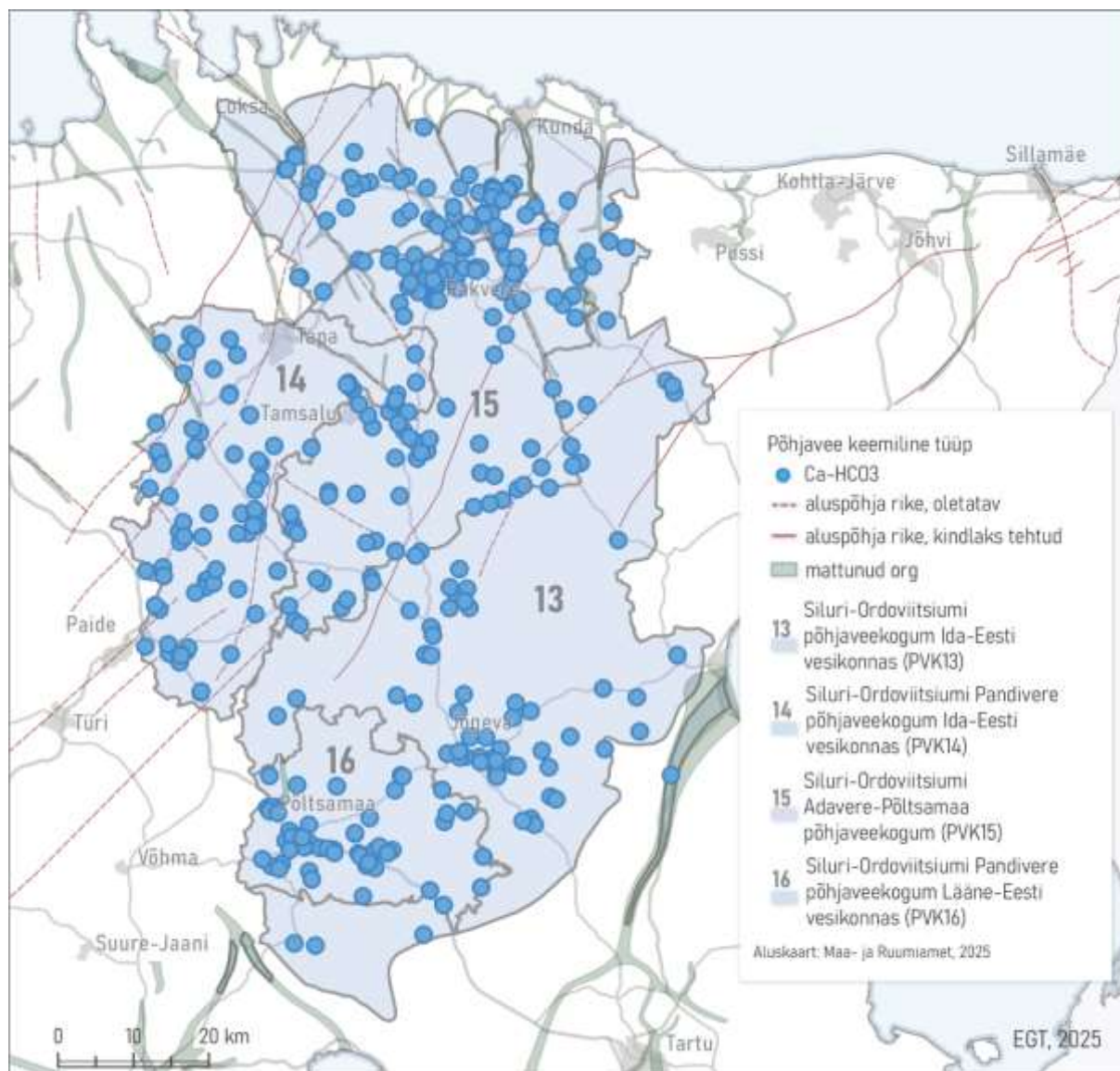
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-5228
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	196105
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	190877



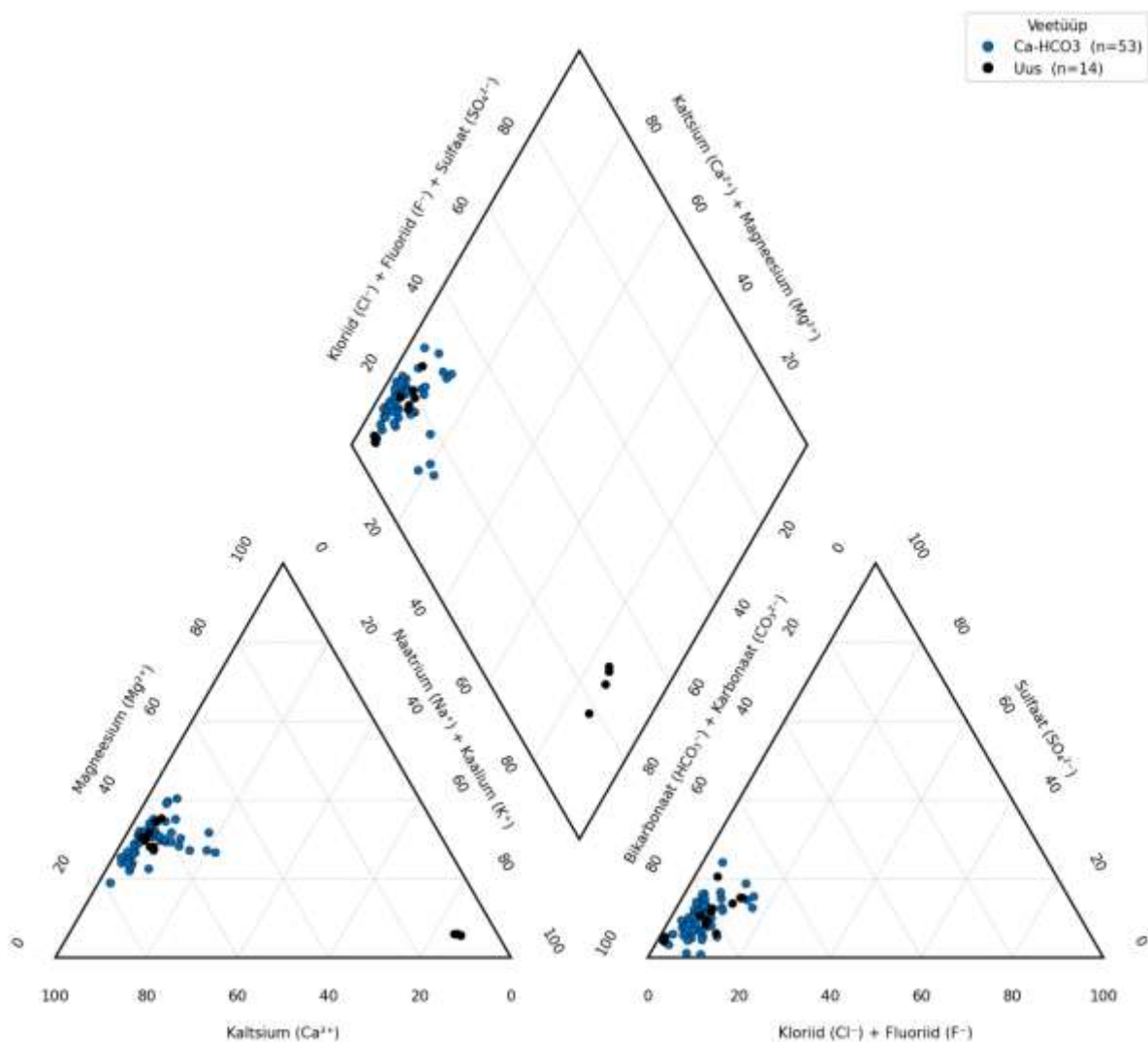
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 6, 13-16) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



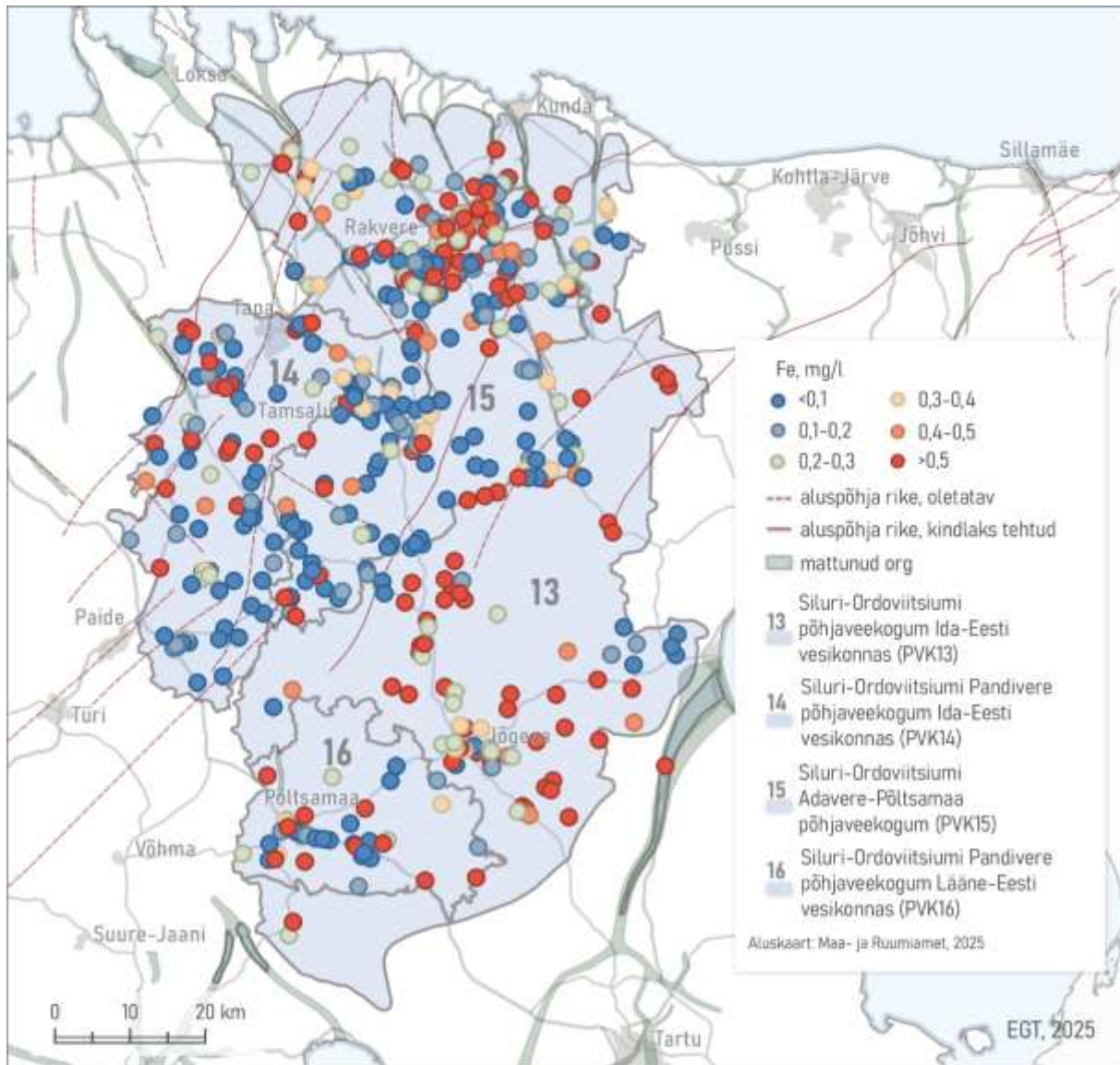
Joonis 2. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite (PVK nr. 13-16) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



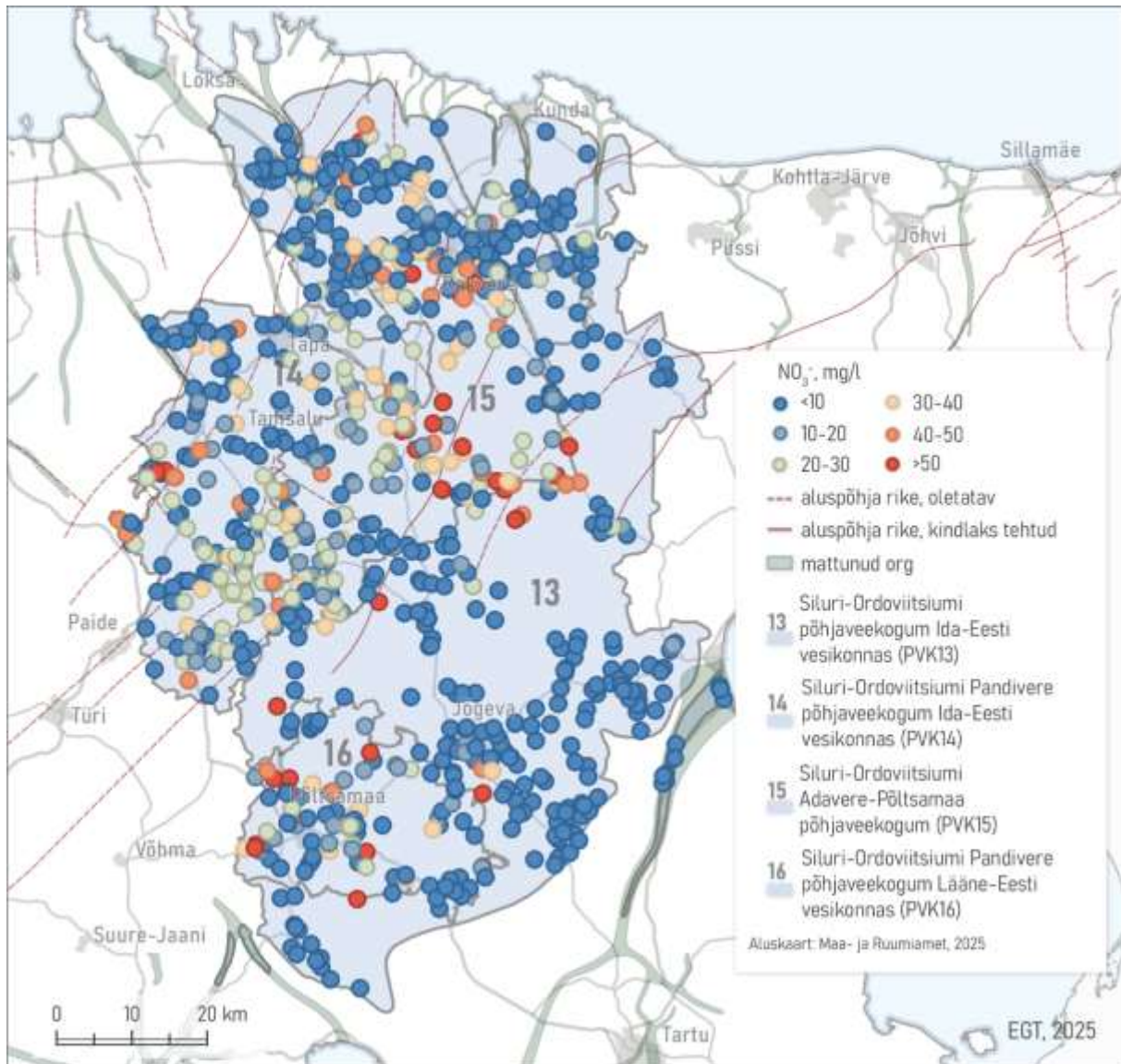
Joonis 3. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



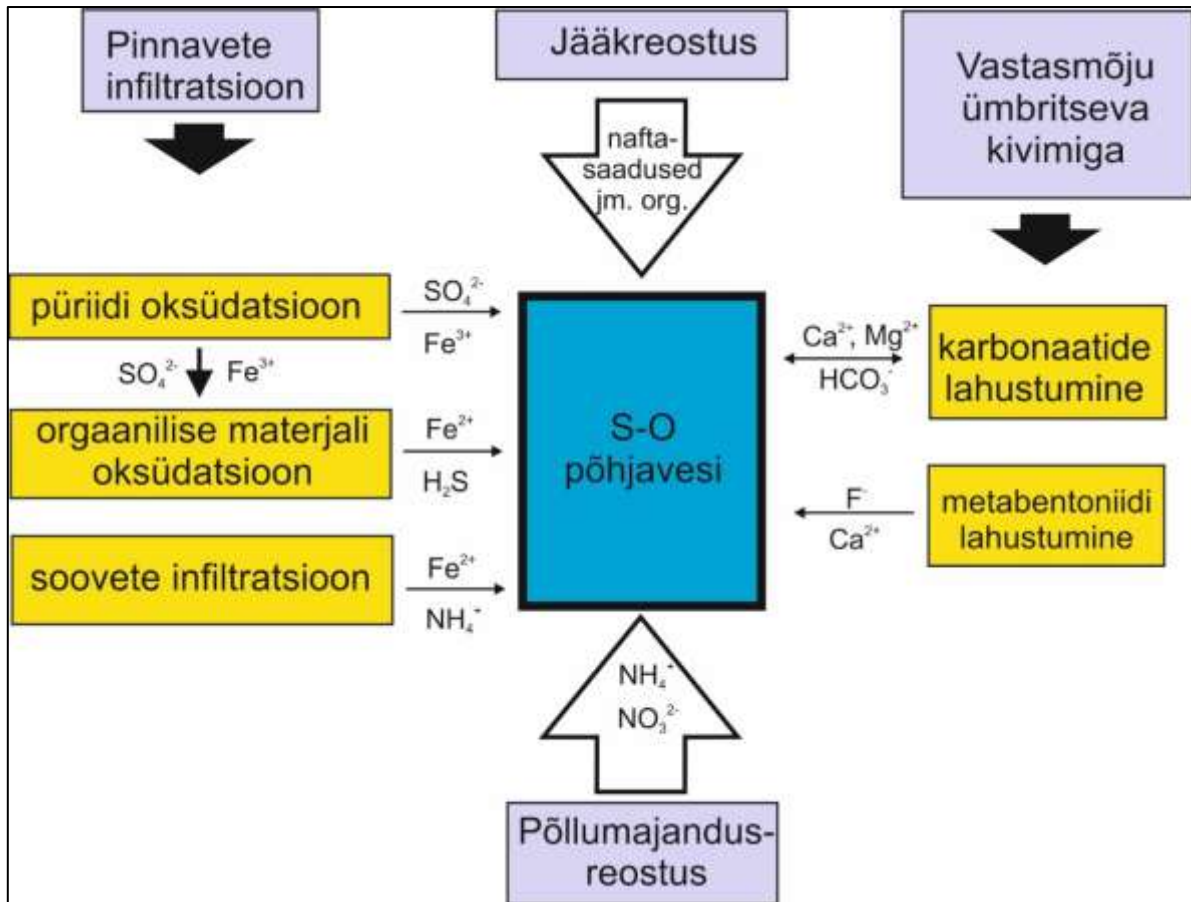
Joonis 4. Siluri-Ordoviitsiumi Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti, Pandivere Lääne-Eesti, Pandivere Ida-Eesti ja Adavere-Põltsamaa põhjaveekogumite põhjavee nitraatide sisaldus.



Joonis 7. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Iital, A., Kõrgmaa, V., Pachel, K., Roosalu, K., Jaaku, J., Leisk, Ü., Pärn, J., Hunt, M., Osjamets, M., Koit, O., 2022. LIFE IP CleanEST projekti tegevus C10.1 veeuuringud 2019-2022 a. Seiretulemuste kokkuvõte. LIFE IP CleanEst Projekt, Tallinn. https://lifecleanest.ee/sites/cleanest/files/202210/LIFE_IP_CleanEst_tegevus_C10_l%C3%B5pparuanne%2027.09.2022.docx.pdf
- Leisk, Ü., 2022. Nitraaditundliku ala põhjavee seire 2021. Lõpparuanne. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., Walraevens, K., Hunt, M., Koit, O., van Camp, M., Ivask, J., Raidla, V., Iital, A., Kõrgmaa, V., Osjamets, M., Babre, A., van Reybrouck, J., Vaikmäe, R., 2024. Unveiling the hydrological response of NO₃-rich springs to seasonal snowmelt in a karstic carbonate upland. *Journal of Hydrology*, 131724. 10.1016/j.jhydrol.2024.131724
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jastšuk, 1998. Siluri-ordoviitsiumi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. VI etapp. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrol. Res.* 47, 814–834.

PVK 17. Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all Lääne-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
17	Lääne-Eesti vesikond	Isoleeritud	Siluri-Ordoviitsiumi	Pärnumaa, Viljandimaa	3983

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Lubjakivid ja dolomiidid, savikamate vahekihtidega. Peamisteks vettandvateks kivimiteks on Siluri ladestu Jaagarahu, Adavere ja Raikküla lademe lõhelised lubjakivid ja dolomiidid (Perens & Karro, 2008).	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Siluri kivimite ülemine ~50 m paksune vettandev osa.	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Põhjaveekogumit katavad Alam-Devoni Rezekne lademe või Kesk-Devoni Pärnu lademe liivakividega, mis moodustavad Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogumi. Hüdrogeoloogiliselt moodustavad Siluri ja Kesk-Alam-Devoni kivimid ühtse põhjaveekompleksi, aga kivimite kollektor-omaduste erinevuse tõttu võib neid käsitleda erinevate põhjaveekompleksidena (Perens jt., 2012). Kesk-Alam-Devoni põhjaveekompleksi katab Kesk-Devoni Narva lademe aleuoliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglist koosnev Narva regionaalne veepide. Veepideme paksus suureneb enam-vähem ühtlaselt lõuna suunas 30 meetrilt kuni 100 meetrini (Perens jt., 2012). Narva veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati kuni 10^{-6} m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012).	1
	<i>Lamav veepide</i>	Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad väikese lõhelisusega karbonaatkivimid ja mille piiriks peetakse Lõuna-Eestis Siluri kompleksi kõige sügavama Juuru lademe merglite ülemist piiri (Perens & Karro, 2008). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	1

	Põhjavee survepind	<p>Sõltub konkreetse ala paiknemisest toitealade ja veelahkmealade suhtes. Kogumi idaosas on Sakala kõrgustikul survepind absoluutkõrgusel u 40-55 m (Perens & Karro, 2008; Perens jt., 2012). Liivi lahe rannikumadalikul ulatub põhjavee survepind kohati üle maapinna ning esineb arteesiakaeve.</p> <p>Suuremate veehaarete (Pärnu linna Reiu veehaare ja Vaskräama veehaare ning Viljandi linna Tomuski veehaare) ümber on intensiivne veevõtt tekitanud kohalikud survepinna alanduslehid mõjuraadiusega kuni 2 km (Perens jt., 2012).</p>	2
--	---------------------------	--	---

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	<p>Peamine põhjavee voolusuund põhjaveekogumis on suunatud Sakala kõrgustikult läände Liivi lahe rannikumadaliku suunas. Põhjaveekogumi kirdeosas võib põhjavee voolusuundadele teatud mõju avaldada Pandivere kõrgustikult edela suunas kulgev põhjaveevool vastavalt hüdraulilise gradiendi langusele (Perens jt., 2012).</p>	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide veejuhtivus on kogumi põhjaosas ~100 m²/ööpäevas ja kasvab lõuna suunas kuni väärtuseni 550 m²/ööpäevas (Savitskaja jt., 1996).</p> <p>Horisontaalse põhjaveevoolu kiirus jääb looduslikes tingimustes tavaliselt piiridesse 1 kuni 10 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on aeglasem jäädes hinnanguliselt vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p>	1
	Toitumine ja režiim	<p>Põhjavesi toitub peamiselt sademete infiltreerumisest Sakala kõrgustikul ja vähemal määral ka Pandivere kõrgustikul. Kuna põhjaveekogum on kõikjal kaetud Devoni kivimitega, siis on põhjavee toitumine aeglane.</p> <p>Veetasemete kõikumise suurimad aastaegade vahelised amplituudid ületavad harva 2 m olles suuremad põhjaveekogumi toitealade lähedal (Perens jt., 2012). Väiksemad põhjaveetasemete amplituudid iseloomustavad toitealade suhtes kaugemal paiknevaid alasid. Põhjaveekogumis toimus veevõttust põhjustatud veetaseme ulatuslik alanemine 1980ndatel aastatel,</p>	2

		<p>kuid käesolevaks ajaks on põhjaveežiim valdavalt taastunud (Perens jt., 2012).</p> <p>Tänapäeval on põhjaveekogumi vesi peamiseks joogi- ja tarbeveeallikaks Pärnu linnas (Reiu ja Vaskrääma veehaarded).</p>	
--	--	--	--

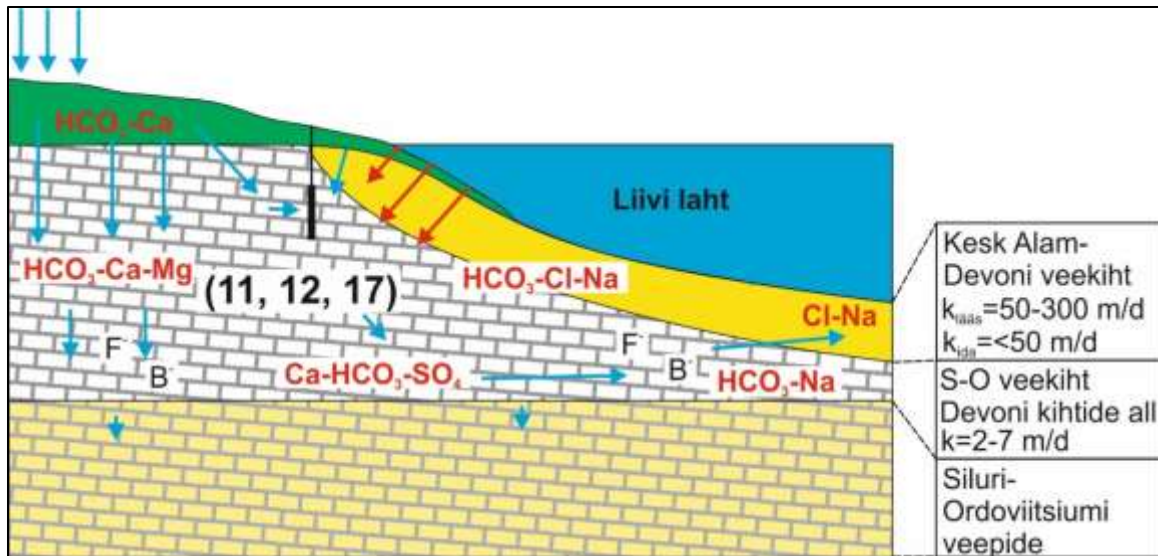
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi toitealade lähedal paiknevates osades levib Ca-HCO₃ või Ca-Mg-HCO₃ tüüpi põhjavesi, mille mineraalsus on 0,3-0,6 g/L. Kogumi väljavoolualadel Liivi lahe madalikul ja Pärnu lahe ümbruses leidub ka Na-HCO₃ ja Na-Cl tüüpi vett, mille mineraalsus on 0,5-1,7 g/L. Kloriidi sisaldus nendes põhjaveetüüpides varieerub 50 kuni 700 mg/L. Ajalooliselt on täheldatud põhjavee kloriidi kontsentratsiooni ja mineraalsuse kasvu koos põhjaveevõtu suurenemisega rannikualadel.</p> <p>Põhjaveet iseloomustavad redutseerivad tingimused ja selles esineb looduslikult suuremaid raua (kuni 6 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,2 mg/L), fluoriidi (0,16 kuni 2,9 mg/L; joogivee piirsisaldus 1,5 mg/L) ja boori (0,05-0,64 mg/L; joogivee piirsisaldus 1,5 mg/L) kontsentratsioone (Perens jt., 2012; Karro & Uppin, 2013; Tamm & Leisk, 2024). Sulfaadi sisaldus läbi aastate olnud suur (ületab joogivee piirsisaldust 250 mg/l) Mustlas olevas veevõtuga ühisveevarustuse seirekaevus nr 7067 (Tamm & Leisk, 2024).</p> <p>Kogum on maapinnast eraldatud mitmete tugevate veepidemetega (viirsavikihid pinnakattes ja Narva veepide) ning seetõttu ei ole riikliku põhjaveeseire käigus antropogeensele reostusele viitavaid aineid (orgaaniline reostus, nitraadid, pestitsiidijäägid) märkimisväärselt leitud (Tamm & Leisk, 2024).</p>	3-5
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Kogumi põhjavee $\delta^{18}\text{O}$ väärtused jäävad kogumis vahemikku -11 kuni -14‰ (Savitskaja jt., 1996; Raidla jt., 2016; Pärn, 2018). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni mööduka veevahetuse vöösse. Kogumi vee keemiline koostis on kujunenud varasematest kliimaperioodidest pärineva ja tänapäevaste sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee segunemisel. Rannikualal toimub merevee intrusioon kogumisse kuid sisemaal (Sauga, Sindi ja</p>	6

		<p>Paikuse) võib esineda ka vanemat, Litoriinamerest pärinevat merevett, mis tulenevalt tasasest reljeefist ja pinnase suhteliselt heast veepidavusest (infiltreeruva vee maht on jäänud tagasihoidlikuks) on osaliselt põhjavees säilinud.</p> <p>Peamised kogumi põhjavee keemilist koostist mõjutanud protsessideks on karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon, mille mõju domineerib kogumis Ca-HCO_3 tüüpi vesi. Kuna osa Siluri põhjaveekompleksist paikneb merepinnast sügavamal, on rannikupiirkondades, eelkõige Pärnu lahe ümbruses, märgatav Läänemere mõju põhjaveele, mistõttu esineb seal ka Na-Cl-tüüpi põhjavett. Hoolimata selgelt eristuvatest kloriidirikkamatest aladest, suurema SO_4^{2-} sisaldusega piirkondi Pärnu lahe rannikul ei esine ning vaid üksikutes rannikuala kaevudes ületab sulfaadi sisaldus joogiveele kehtestatud piirväärtust 250 mg/L.</p> <p>Reiust lõuna pool, ürgorgude piirkonnas, esineb ka reliktsemat Na-HCO_3-tüüpi põhjavett, mis on kujunenud põhjavee ja ümbritseva savika kivimi vaheliste kationvahetus protsesside tulemusena, mis on soosinud ka kõrgete fluoriidi ja boori sisalduste kujunemist põhjavees. Suurte fluoriidi sisalduste põhjuseks peetakse Adavere ja Raikküla lademetes esinevaid metabentoniidi kihte (Perens ja Karro, 2008; Karro ja Uppin, 2013). Raidla (2024) näitab, et fluoriidi esinemine Siluri põhjaveekompleksi vetes on seotud põhjavees lahustunud Ca^{2+} ja Na^+ sisalduste suhtega mille varieeruvus on seotud kationvahetus protsessidega. Ca^{2+} sidumine savipindadel takistab fluoriidi settimist CaF_2-na, soodustades sellega fluoriidi püsimist põhjavees.</p> <p>Suured rauasisaldused põhjavees viitavad redoksreaktsioonide olulisusele Siluri põhjaveekompleksi vee keemilise koostise kujunemisel. Oma panuse on andnud ka Devoni rauarikkad liivakivid.</p>	
Seosed pinnaja maisma	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	Ei ole	

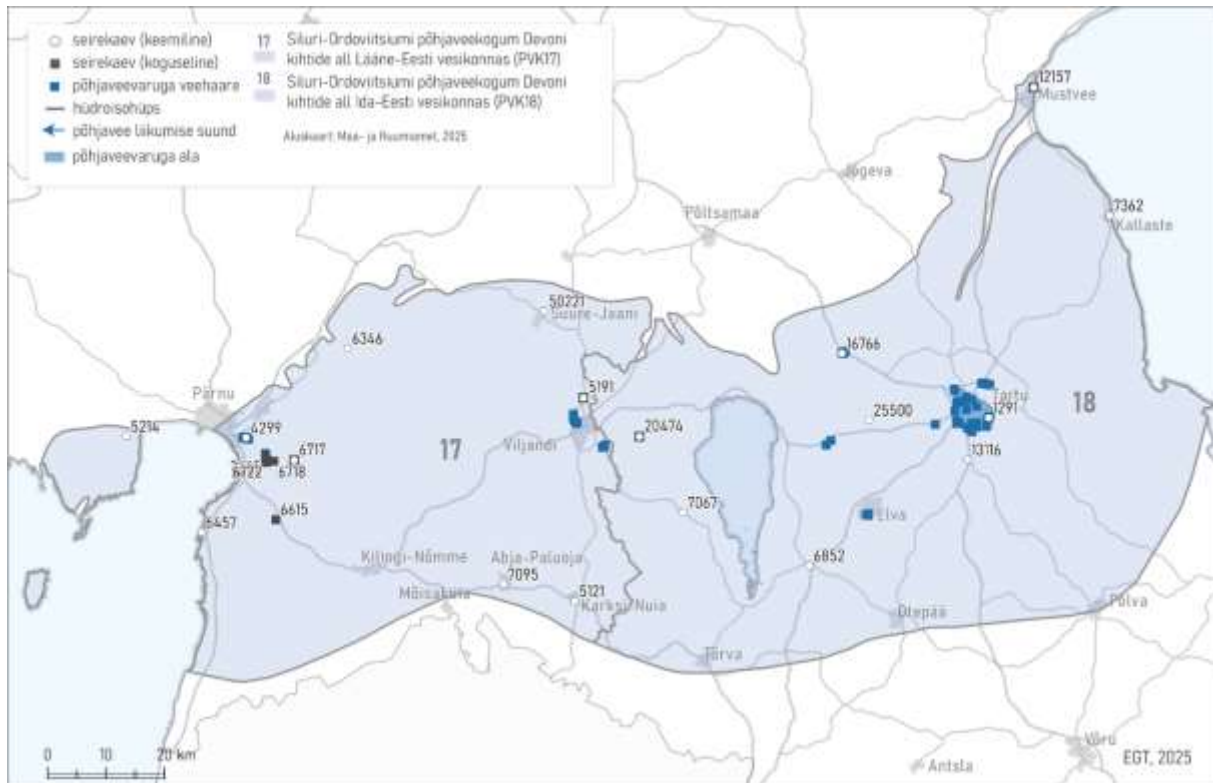
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole

Seisundi hinnang (Marandijt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

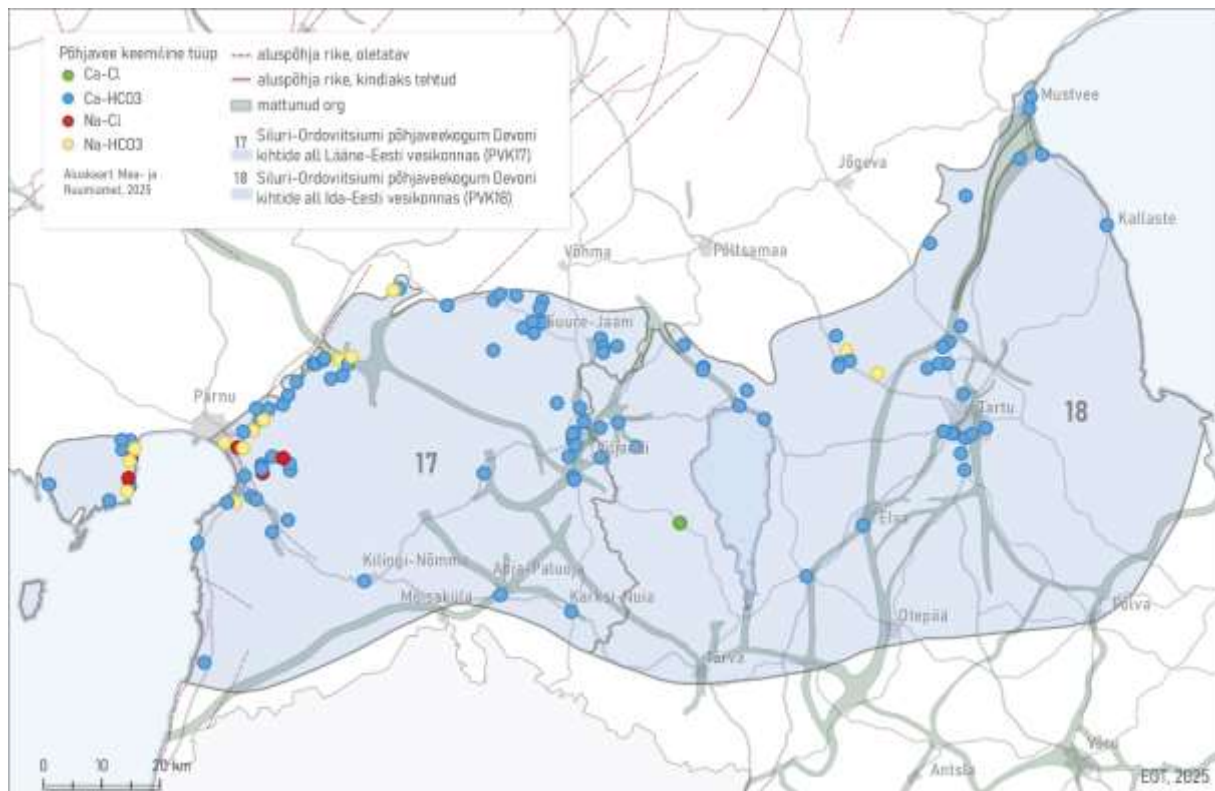
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	536689
	Põhjavee kinnitatud varu	23000
	Põhjaveevõtt 2023. a	13478
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	9522
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	513689
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	523211



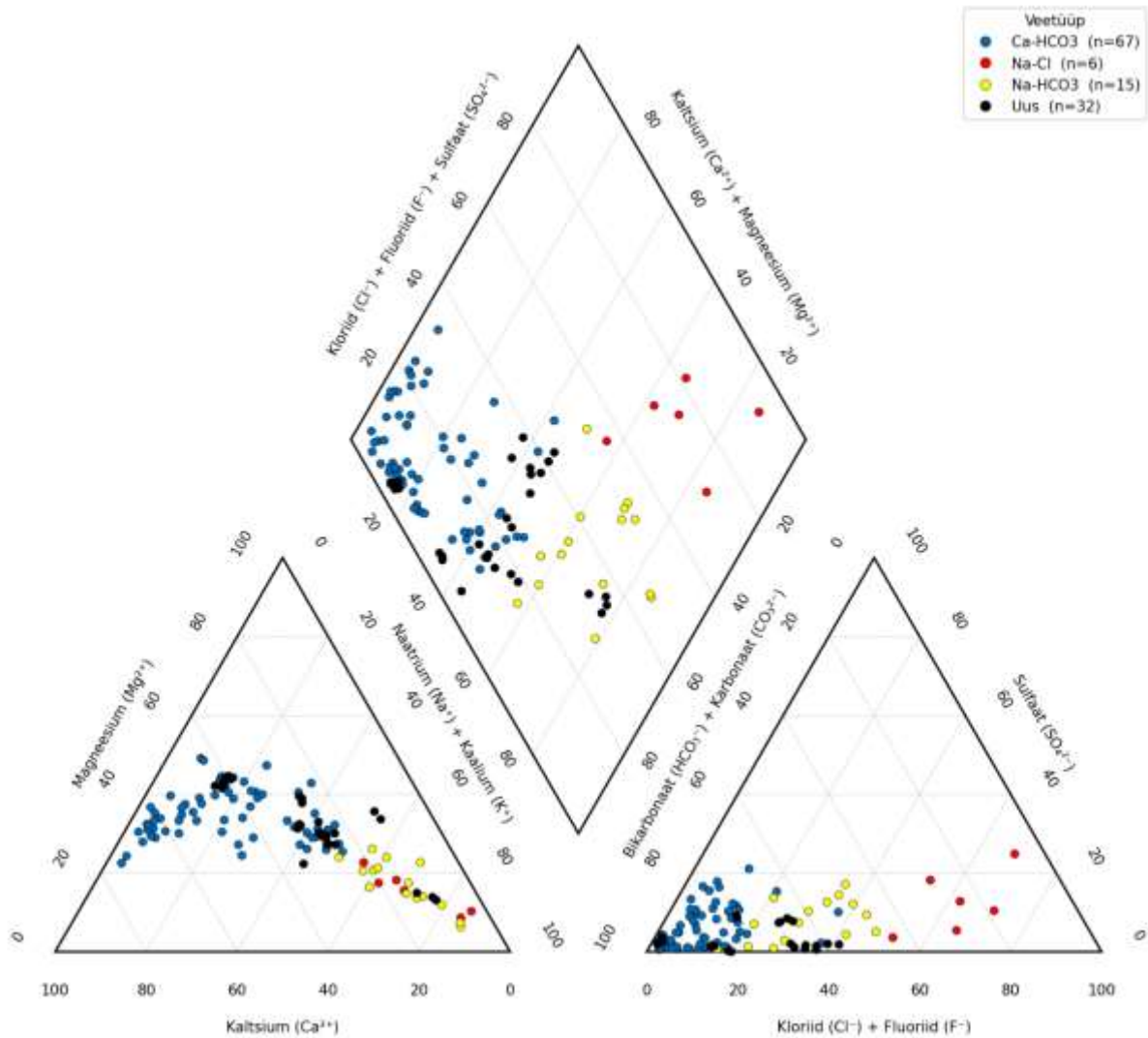
Joonis 1. Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu, Pärnu ja Devoni aluse Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 11, 12, 17) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



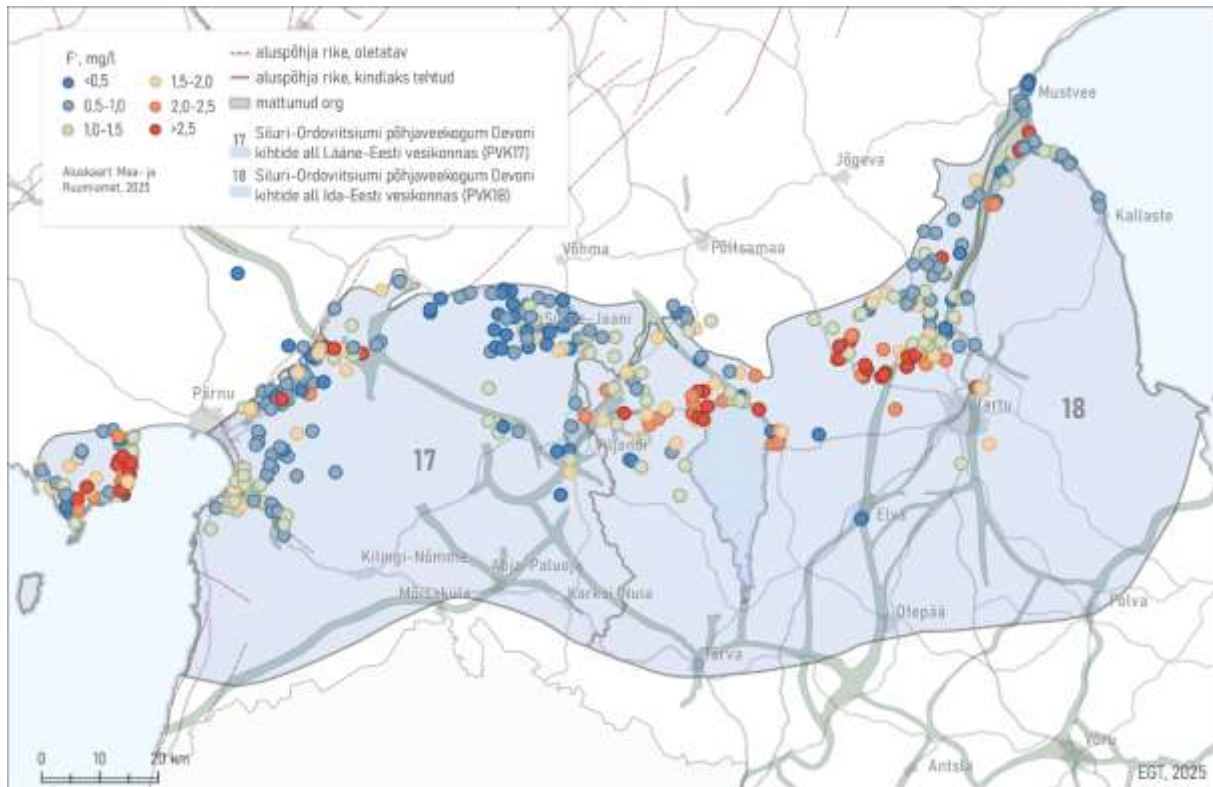
Joonis 2. Devonkihtide all paiknevate Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti vesikonna ning Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 17 ja 18) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



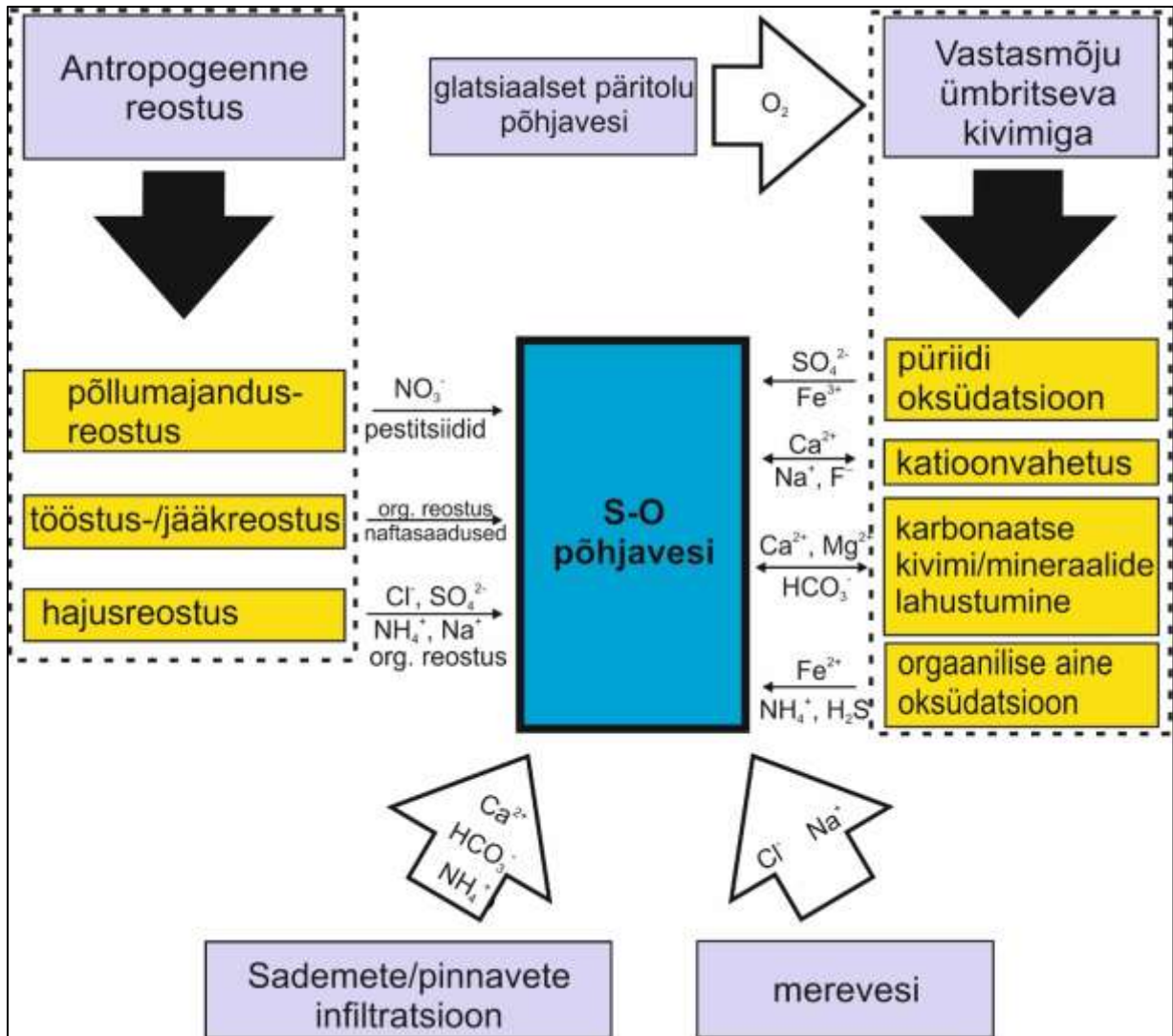
Joonis 3. Devonil kihide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite põhjavee fluoriidi sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa, Saaremaa, Matsalu, Pärnu, ja Devoni kihtide all paiknevate (S-O; PVK nr. 8-9; 11-12, 17-18) põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3735–3748.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A.* Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Karro, E., 2008. Põhjavesi. Kogumikus: *Pärnumaa: Loodus. Aeg. Inimene (peatoimetaja) Vunk, A.* Eesti entsüklopeediakirjastus, Tallinn, 51–63.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Raidla, V., 2024. Põhjavee keemiline koostis. Toim: Männik, M., Hunt, M., Raidla, V., Hints, L., Sarap, G.-S., Polikarpus, M., Habicht, H.-L. Seletuskiri Eesti geoloogilise baaskaardi Pärnu-Jaagupi (5334), Pärnu (5332), Häädemeeste (5314) ja Ikla (5312) hüdrogeoloogilistele ja põhjavee kaitstuse kaartidele. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. 27-36.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1996. Ülem-keskdevoni veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

PVK 18. Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all Ida-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
18	Ida-Eesti vesikond	Isoleeritud	Siluri-Ordoviitsiumi	Jõgevamaa, Tartumaa, Viljandimaa, Valgamaa, Põlvamaa	6134

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Lubjakivid ja dolomiidid, savikamate vahekihtidega. Peamisteks vettandvateks kivimiteks on Siluri ladestu Raikküla lademe lõhelised lubjakivid ja dolomiidid (Välkmann, 1992).	1
	Kogumi paksus	Vettandvate kivimite paksuseks on Tartu ümbruses hinnatud 36-57 m (Välkmann, 1992).	1
	Lasuv veepide	Põhjaveekogumit katavad Alam-Devoni Rezekne lademe või Kesk-Devoni Pärnu lademe liivakividega, mis moodustavad Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogumi. Hüdrogeoloogiliselt moodustavad Siluri ja Kesk-Alam-Devoni kivimid ühtse põhjaveekompleksi, aga kivimite kollektor-omaduste erinevuse tõttu võib neid käsitleda erinevate põhjaveekompleksidena (Perens jt., 2012). Kesk-Alam-Devoni põhjaveekompleksi katab Kesk-Devoni Narva lademe aleuroliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglit koosnev Narva regionaalne veepide. Veepideme paksus suureneb enam-vähem ühtlaselt lõuna suunas 30 meetrilt kuni 100 meetrini (Perens jt., 2012). Narva veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati 10^{-6} m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012).	1
	Lamav veepide	Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide, mille moodustavad väikese lõhelisusega karbonaatkivimid ja mille piiriks peetakse Lõuna-Eestis Siluri kompleksi kõige sügavama Juuru lademe merglite ülemist piiri	1

		(Perens & Karro, 2008). Veepideme vertikaalne filtratsioonikoefitsient on $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	
	Põhjavee survepind	Sõltub konkreetse ala paiknemisest toitealade ja veelahkmealade suhtes. Kogumi lääne- ja lõunaosas on Sakala ja Otepää kõrgustikul survepind absoluutkõrgusel u 50 m (Tšeban, 1966; Perens jt., 2012). Kogumi põhjaosas on Pandivere kõrgustiku suunast langeva survepinna absoluutkõrgus u 40 m (Tšeban, 1966). Peipsi madalikul ulatub põhjavee survepind kohati üle maapinna ning esineb arteesiakaeve. Tartu linna ümbritsevate veehaarete ümber on intensiivne veevõtt tekitanud kohaliku survepinna alanduslehtri, mille keskel on põhjavee survepind alanenud absoluutkõrgustele -4 kuni -6 m (Perens jt., 2012; Polikarpus jt., 2017).	2

Hüdroünaamika	Voolusuunad	Peamine põhjavee voolusuund põhjaveekogumis on seotud Pandivere, Otepää ja Sakala kõrgustike kui peamiste toitealade paiknemisega. Põhjavesi liigub Pandivere kõrgustikult lõuna, Sakala kõrgustikult ida ja Otepää kõrgustikult kirde ning põhja suunas (Perens jt., 2012).	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide veejuhtivus varieerub vahemikus ~ 30 kuni 550 m ² /ööpäevas (Savitskaja jt., 1996; Polikarpus jt., 2017). Horisontaalse põhjaveevoolu kiirus jääb looduslikes tingimustes tavaliselt piiridesse 1 kuni 10 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee liikumine mööda vertikaalseid lõhesid sügavamatesse kihtidesse on aeglasem jäädes hinnanguliselt vahemikku 0,001–1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	1
	Toitumine ja režiim	Põhjavesi toitub peamiselt sademete infiltreerumisest Pandivere, Sakala ja Otepää kõrgustikel. Kuna põhjaveekogum on kõikjal kaetud Devoni kihtidega, siis on põhjavee toitumine aeglane. Veetasemete kõikumise suurimad aastaegade vahelised amplituudid ületavad harva 2 m olles	2

		suuremad põhjaveekogumi toitealade lähedal (Perens jt., 2012). Väiksemad põhjaveetasemete amplituudid iseloomustavad toitealade suhtes kaugemal paiknevaid alasid. Põhjaveekogumis toimus veevõtust põhjustatud veetaseme ulatuslik alanemine 1980ndatel aastatel Tartu linnas, kuid käesolevaks ajaks on põhjaveerežiim valdavalt stabiliseerunud (Perens jt., 2012). Tingituna veevõtu vähenemisest, tõusis survepind Anne veehaardel 1990ndatel aastatel ~9 m võrra (Perens jt., 2012).	
--	--	--	--

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi toitealadel ja nende läheduses levib Ca-HCO₃ või Na-HCO₃ tüüpi põhjavesi, mille mineraalsus on 0,3-0,5 g/L. Kogumi lasuvussügavuse suurenemisega suureneb ka selles lahustunud mineraalainete hulk ja põhjavee tüüp muutub kohati Ca-SO₄ veetüübiks. Kloriidide sisaldus varieerub vahemikus 3 kuni 80 mg/L. Kogumi põhjavett iseloomustavad looduslikud suuremad raua (<0,06-3,4 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,2 mg/L) ja kohati ka suured fluoriidi (0,5 kuni 3,2 mg/L; joogivee piirsisaldus 1,5 mg/L) ning boori (0,1-0,5 mg/L; joogivee piirsisaldus 1,5 mg/L) kontsentratsioonid (Perens jt., 2012; Karro ja Uppin, 2013; Polikarpus jt., 2017). Sulfaadi kontsentratsioonid kogumi sügavamas osas võivad suureneda kuni 200 mg/L.</p> <p>Põhjaveekogum on hästi kaitstud maapinnal paiknevate punkt- ja hajukoormusallikate mõju eest. Põhjaveevarude hindamise ja riikliku põhjaveekogumite seire käigus läbiviidud uuringud ei ole kogumi põhjaveses tuvastatud antropogeensele reostusele viitavaid aineid (nitraadid, tsüaniidid, raskmetallid, fenoolid, PAH-d ja pestitsiidid) või jäid nende sisaldus alla lubatud piirväärtuse (Polikarpus jt., 2017; Tamm & Leisk, 2024).</p>	3-5
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Kogumi põhjavee δ¹⁸O väärtused jäävad vahemikku -11,5 kuni -12,8‰ (Savitskaja jt., 1996, 1998; Pärn, 2018; Vaikmäe jt., 2020). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni mõõduka veevahetuse vöösse. δ¹⁸O väärtused ~-13‰ viitavad aeglasemale</p>	6

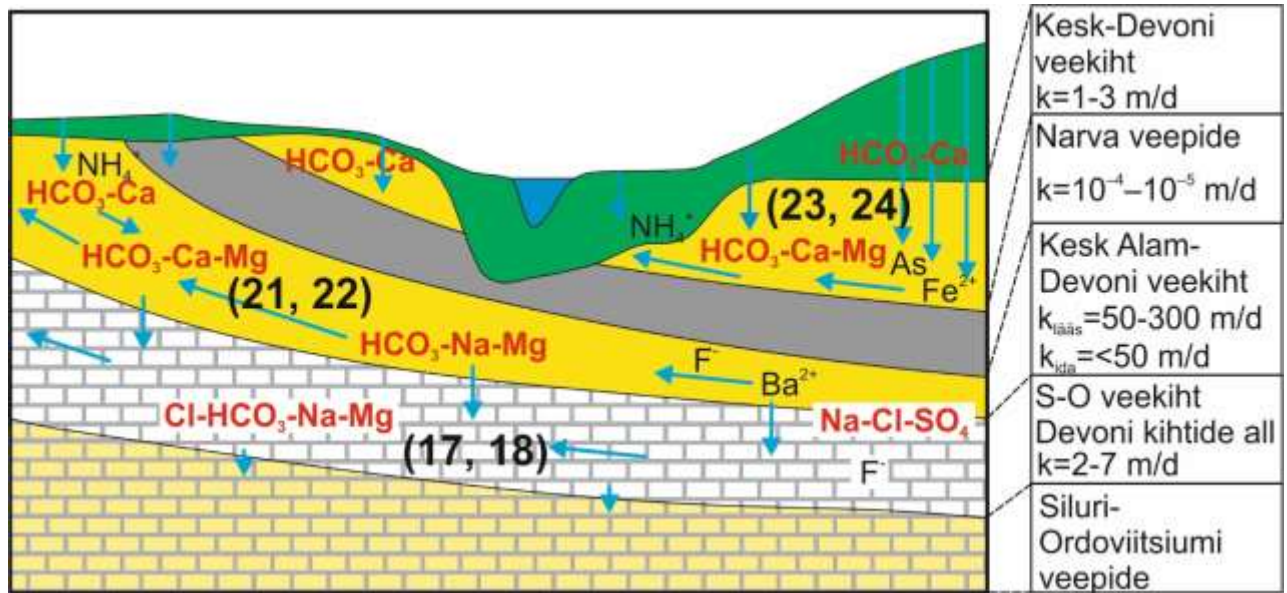
		<p>veevahetusele ja on omased piirkondadele, mis paiknevad kogumi toitealadest kaugemal.</p> <p>Põhjaveekogumi vee keemiline koostis on mõjutatud sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee ja varasematest kliimaperioodidest pärineva põhjavee segunemisest. Kuna põhjaveekogum on maapinnast eraldatud mitmete tugevate veepidemetega, ei esine seal antropogeensele reostusele viitavaid aineid. Peamised põhjavee keemilist koostist mõjutanud protsessid kogumis on karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon. Kõrged raua sisaldused viitavad orgaanilise aine oksüdatsiooni olulisusele kogumi keemilise koostise kujunemisel. Na-HCO₃ tüüpi vees on lisaks eelnimetatutele oluliseks keemiliseks protsessiks katioonvahetus põhjavee ja ümbritsevate savikate kivimite vahel, mille mõjul suurenevad vees naatriumi, aga ka fluoriidi ja boori kontsentratsioonid (Karro ja Uppin, 2013).</p>	
--	--	--	--

<p><u>Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega</u></p> <p>(Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>

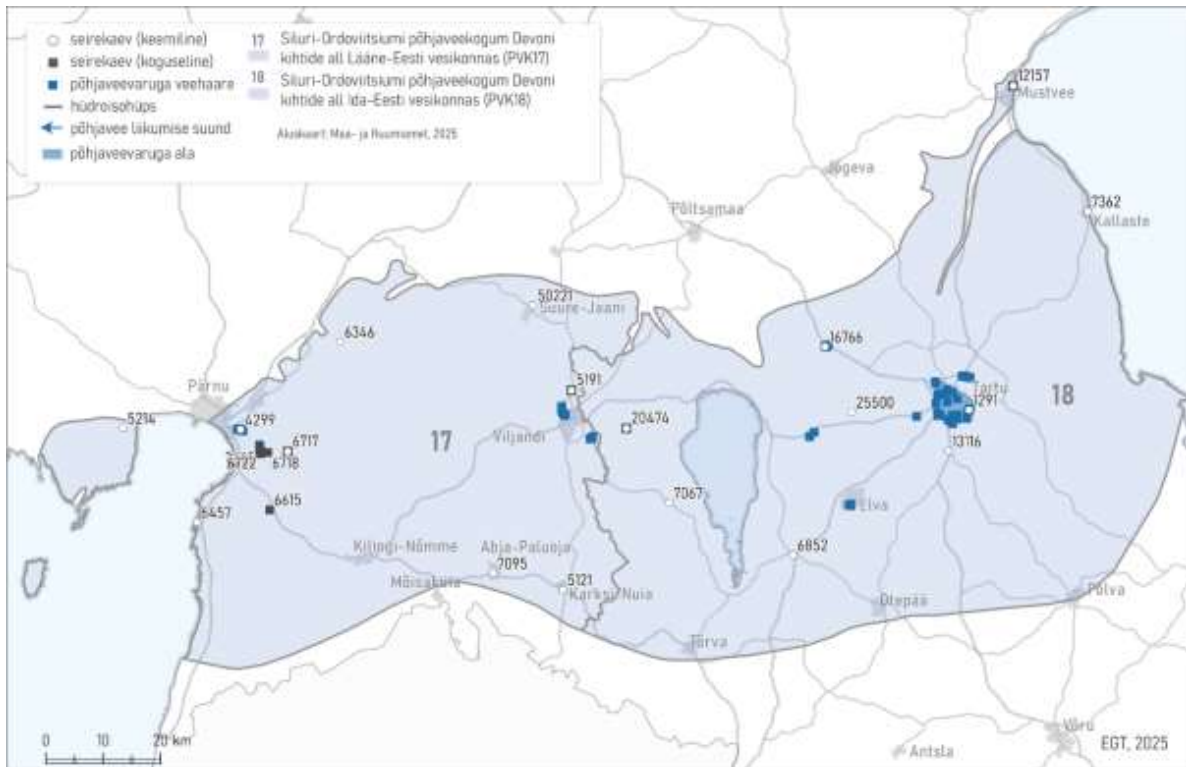
<p><u>Seisundi hinnang</u></p> <p>(Marandi jt.,</p>	<p>Koguseline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Keemiline seisund</p>	<p>Hea</p>

	Üldseisund	Hea
--	-------------------	------------

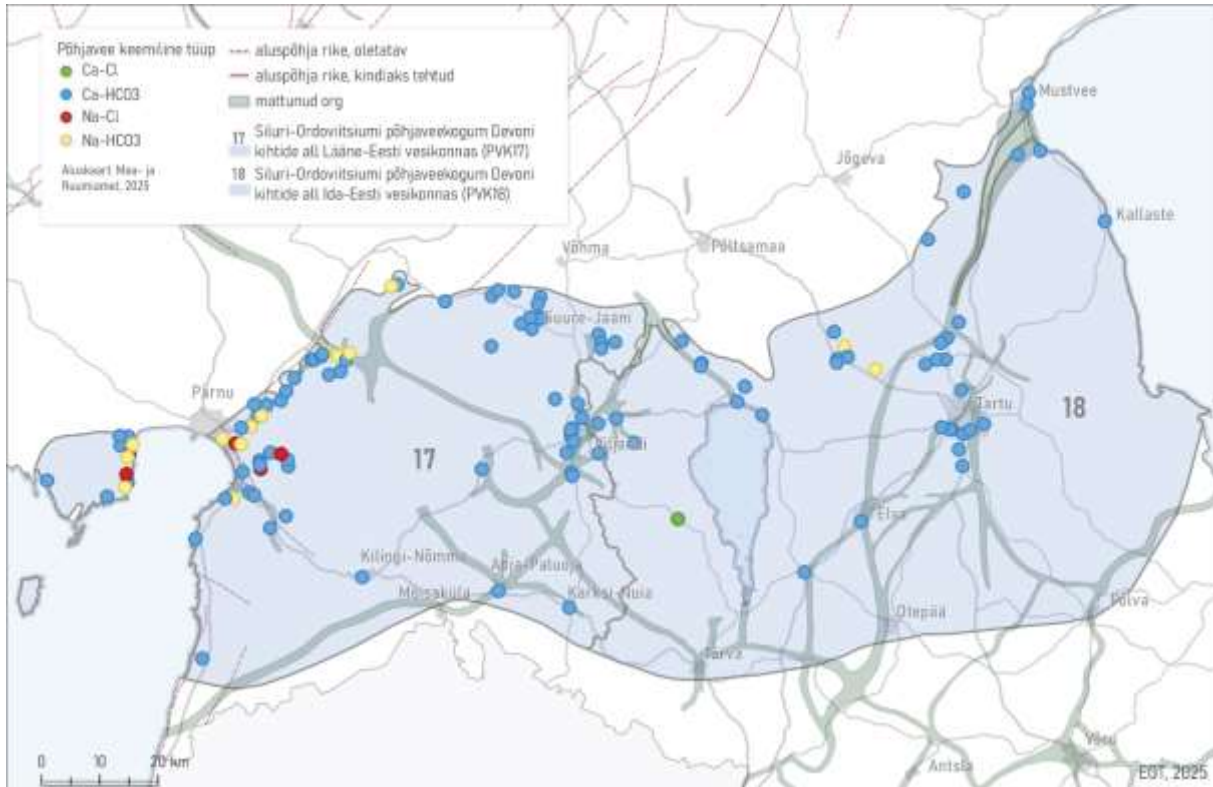
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurs	336699
	Põhjavee kinnitatud varu	29960
	Põhjaveevõtt 2023. a	6690
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	23270
	Minimaalne looduslik vaba ressurs	306739
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	330009



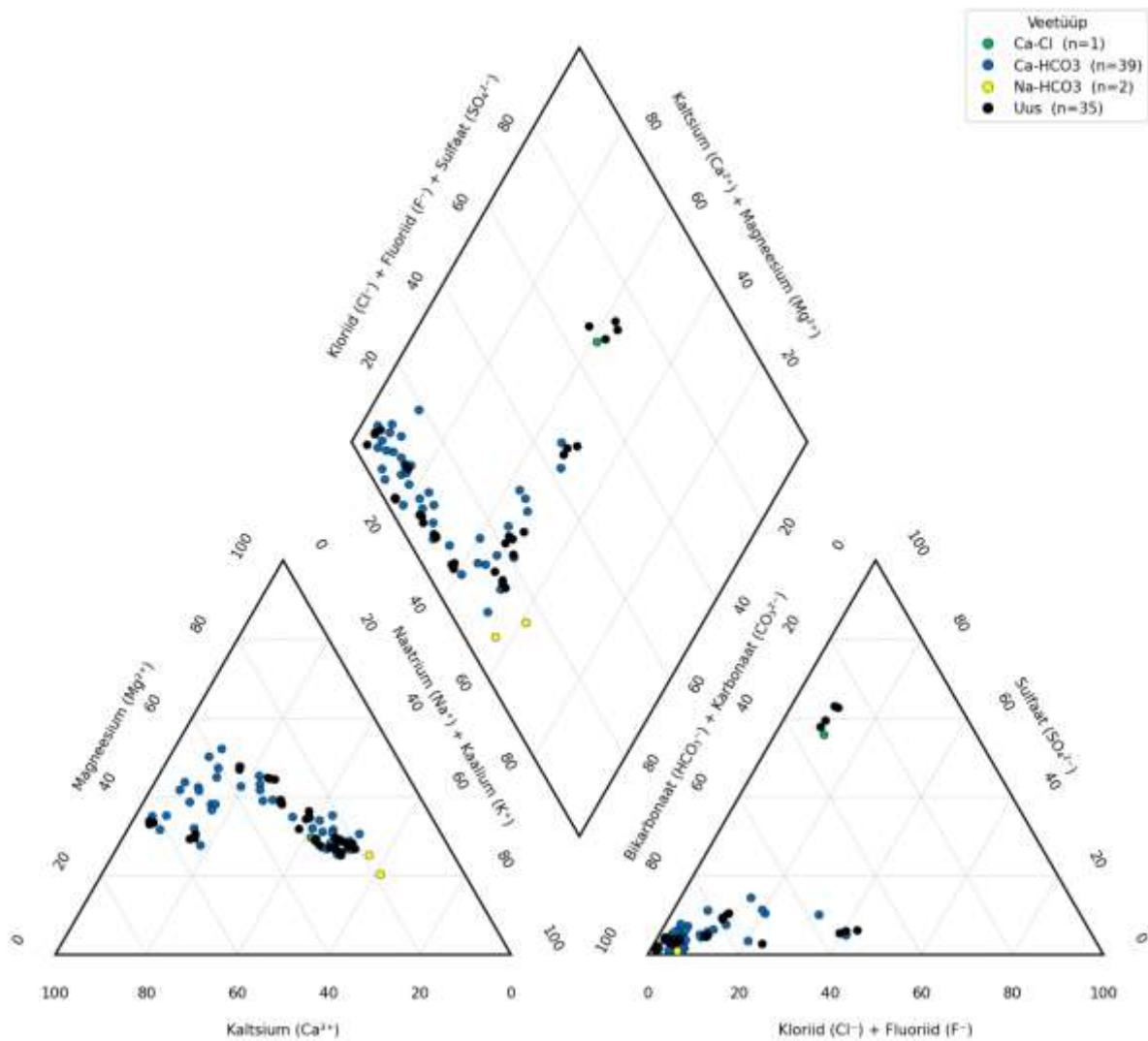
Joonis 1. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumi, Kesk-Alam Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna ning Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 18, 21-22, 23-24) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



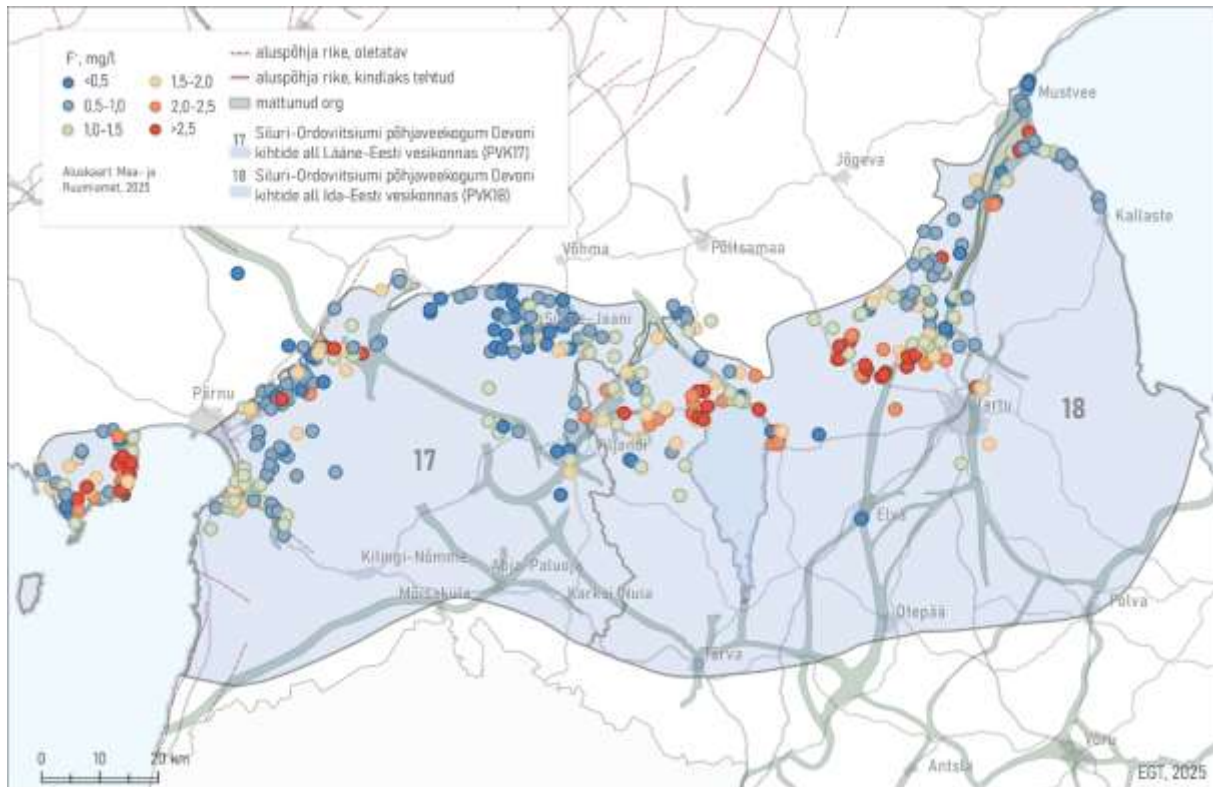
Joonis 2. Devonil kihide all paiknevate Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti vesikonna ning Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 17 ja 18) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



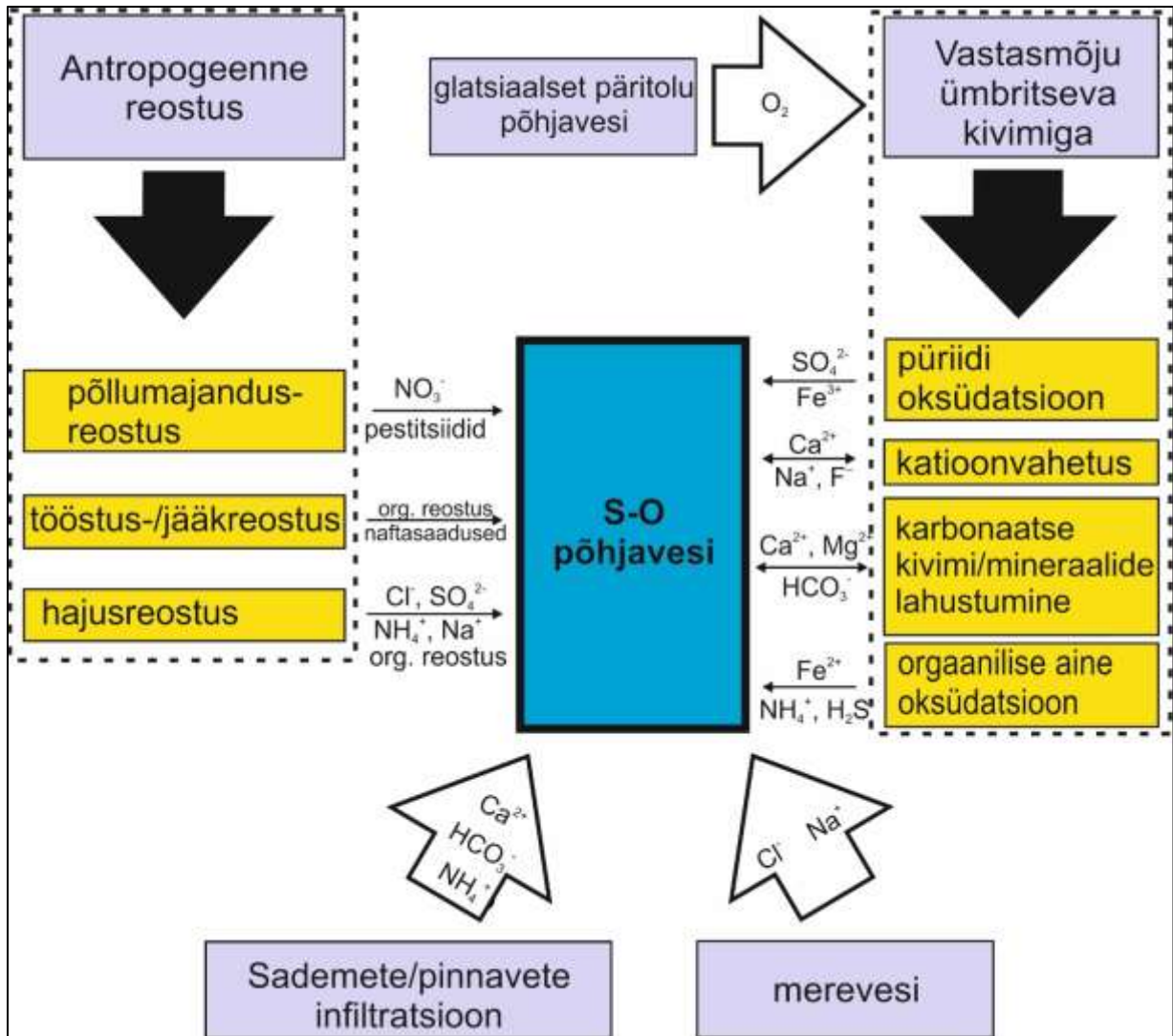
Joonis 3. Devonil kihide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Lääne-Eesti ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite põhjavee fluoriidi sisaldus.



Joonis 6. Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa, Saaremaa, Matsalu, Pärnu, ja Devoni kihtide all paiknevate (S-O; PVK nr. 8-9; 11-12, 17-18) põhjaveekogumite keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3735–3748.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A.* Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Polikarpus, M., Karro, E., Jõelett, A., Rooni, K., 2017. Tartu linna põhjaveevarude ümberhindamine aastani 2045. Tartu Ülikool, Tartu.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1996. Ülem-keskdevoni veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jastšuk, 1998. Siluri-ordoviitsiumi põhjavee mikrokomponentide ja radionukliidide uurimistöö. VI etapp. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tšeban, E., 1966. Nõukogude Liidu hüdrogeoloogia. Kõide XXX (Eesti NSV). (vene keeles)
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Välkmann, S., Savva, V., Otsmaa, M., Boldõreva, N., Simm, D., 1992. Tartu põhjaveevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF 4606

PVK 19. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
19	Lääne-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kesk-Alam-Devoni	Saaremaa	11,5

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Peamisteks vettandvateks kivimiteks on Narva lademe ülemise osa dolomiitmerglid ja aleuoliidid.	
	Kogumi paksus	Kogumi paksus piirdub Narva lademe kõige ülemise, enam murenenud ja lõhelise osaga (Perens jt., 2012). Puurkaevude filtrid paiknevad enamasti sügavusel 20-50 m.	
	Lasuv veepide	Ruhnu saare aluspõhi koosneb Narva lademe savikast aleuoliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglist, mis moodustab Narva regionaalse veepideme. Narva veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati 10^{-6} m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Narva lademe ülemise osa, Kernave kihistiku dolomiitmerglid ja aleuoliidid paksusega 10–25 m on vettandvad, moodustades lokaalse iseloomuga veekihi (Perens jt., 2012). Narva lademesse aluspõhjalisi kivimeid katab enamasti suhteliselt vettapidav moreen (Perens jt., 2012).	
	Lamav veepide	Kogum paikneb lokaalselt Narva regionaalse veepideme vettandvas osas ja sügavamal moodustab lamava veepideme Narva regionaalse veepideme väikese transversaalse (filtratsioonikoefitsient 10^{-5} – 10^{-6} m/ööpäevas) osa.	
	Põhjavee survepind	Survepinna kõrgus on määratletud maapinna absoluutkõrgusega merepinna suhtes, olles puurkaevudes enamasti absoluutkõrgusel 1,4–4,5 m (Perens jt., 2012). Sügavamad kaevud on kohati arteesiakaevud.	

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee voolusuund on määratud kogumi saarelise asendiga ja on suunatud radiaalselt saare keskosast Liivi lahe suunas (Perens jt., 2012).	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Kogumi põhjaveekihtide lateraalne filtratsioonikoefitsient on harva üle 1 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveekihtide veejuhtivus on väike, jäädes vahemikku 2,7–28,6 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee lateraalne liikumiskiirus liivakivides ja aleuriitides on lateraalses suunas valdavalt 0,02–0,2 m/ööpäevas ja transversaalses suunas 0,001–0,005 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Kuna hüdrauliline gradient kogumit moodustavates põhjaveekihtides on väike, jäävad põhjaveevoolu kiirused pigem esitatud vahemike alumisse ossa.	
	Toitumine ja režiim	Saare keskosast kui põhiliselt toitealalt toimub aastaringne põhjaveevool Liivi lahe suunas. Toitumise intensiivsus sõltub põhjaveekogumit katvate Kvaternaari setete koostisest ja paksusest.	

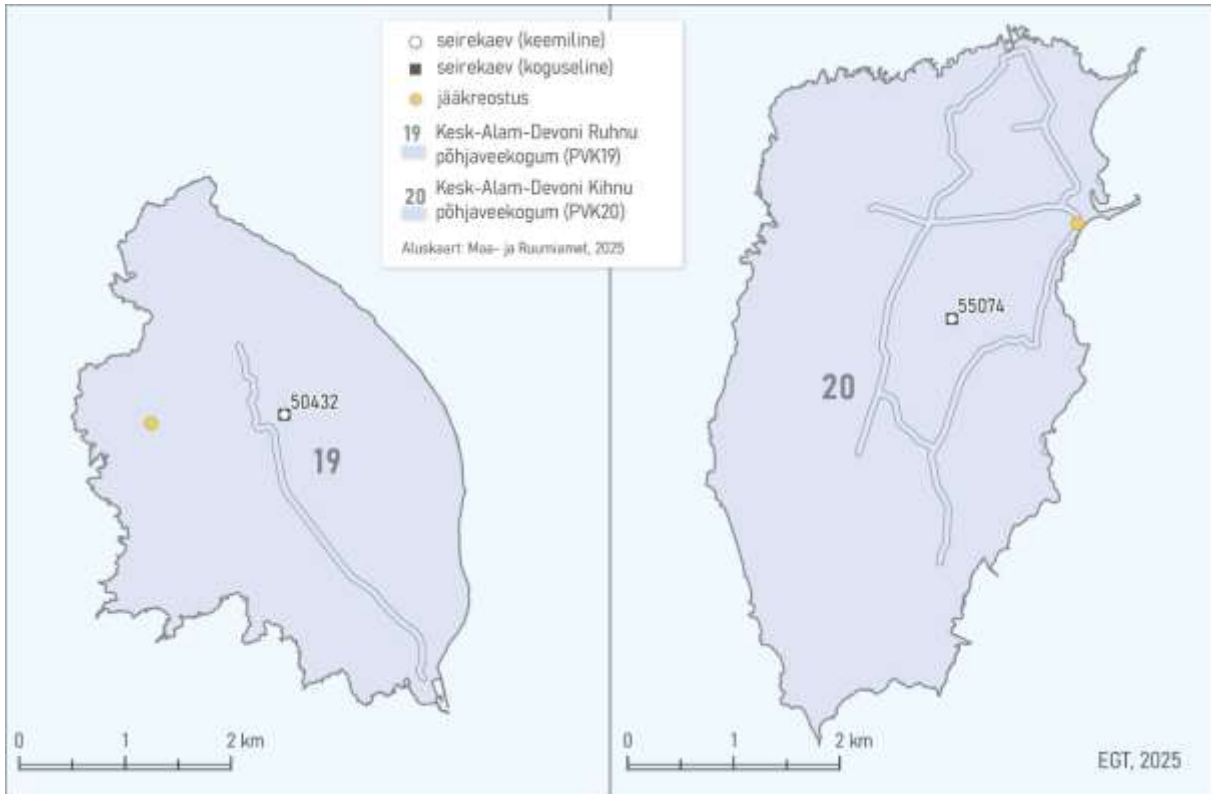
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	Põhjaveekogumis levib valdavalt Ca-HCO ₃ ⁻ ja Ca-Mg-HCO ₃ ⁻ -tüüpi vesi mineraalsusega 0,3-0,4 g/L. Narva lademe sügavamas osas esineb Na-Cl-tüüpi vett mineraalsusega ~1 g/L. Põhjaveekogumile on omased suured looduslikud raua sisaldused (0,2 kuni 5,6 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,2 mg/L), mis viitavad anoksiliste tingimuste esinemisele põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtides. Anoksiliste tingimuste mõjul on põhjaveekogumi vees täheldatud ka suuremaid NH ₄ ⁺ kontsentratsioone (~1,3 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,5 mg/L). Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm ja Leisk, 2024).	2-4
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	Kogumi põhjavee δ ¹⁸ O väärtused jäävad vahemikku –10,9 kuni –17,6‰ (Raidla jt., 2016; Pärn, 2018; Vaikmäe jt., 2020). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni aeglase veevahetuse vööndisse. δ ¹⁸ O väärtused <–14‰ viitavad	5

		<p>aeglasemale veevahetusele (Pärn, 2018) ja on omased sügavamale põhjaveele, mis paikneb kogumi sügavamas osas. Uuringud on näidanud, et kogumi sügavamas osas olev põhjavesi pärineb jääajal Eesti ala katnud mandriliustike sulavetest (Pärn, 2018), mis on väga hästi säilinud Liivi lahe saartel. See fenomen tuleneb tasasest reljeefist, mis ei suuda luua piisavaid hüdraulilisi rõhugradiente oluliseks veevahetuseks sügavamates kivimikihtides (Sterckx jt., 2018).</p> <p>Põhjaveekogumi põhjavee keemiline koostis on mõjutatud sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee, merevee ja varasematest kliimaperioodidest pärineva põhjavee segunemisest. Peamised põhjavee keemilist koostist mõjutavad protsessid kogumis on karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon.</p>	
--	--	---	--

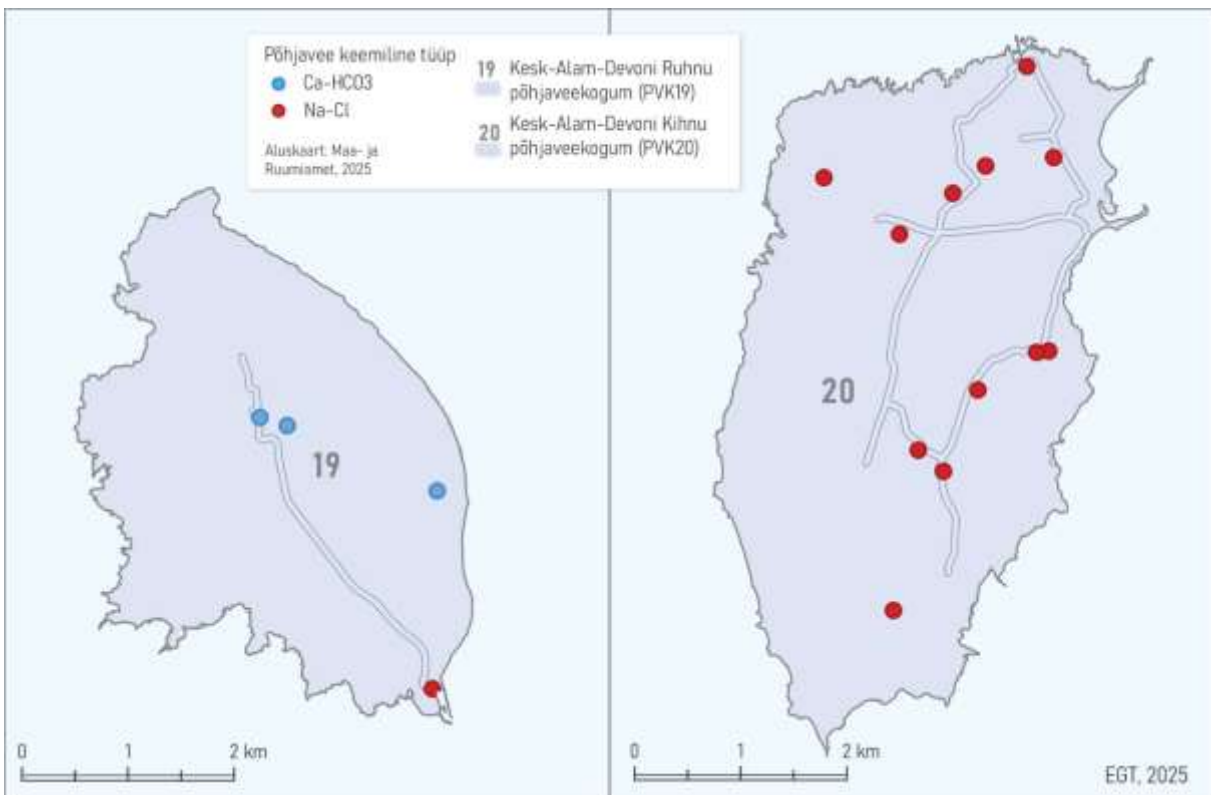
<p><u>Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>

<p><u>Seisundi hinnang</u> (Marandi jt.,</p>	<p>Koguseline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Keemiline seisund</p>	<p>Hea</p>
	<p>Üldseisund</p>	<p>Hea</p>

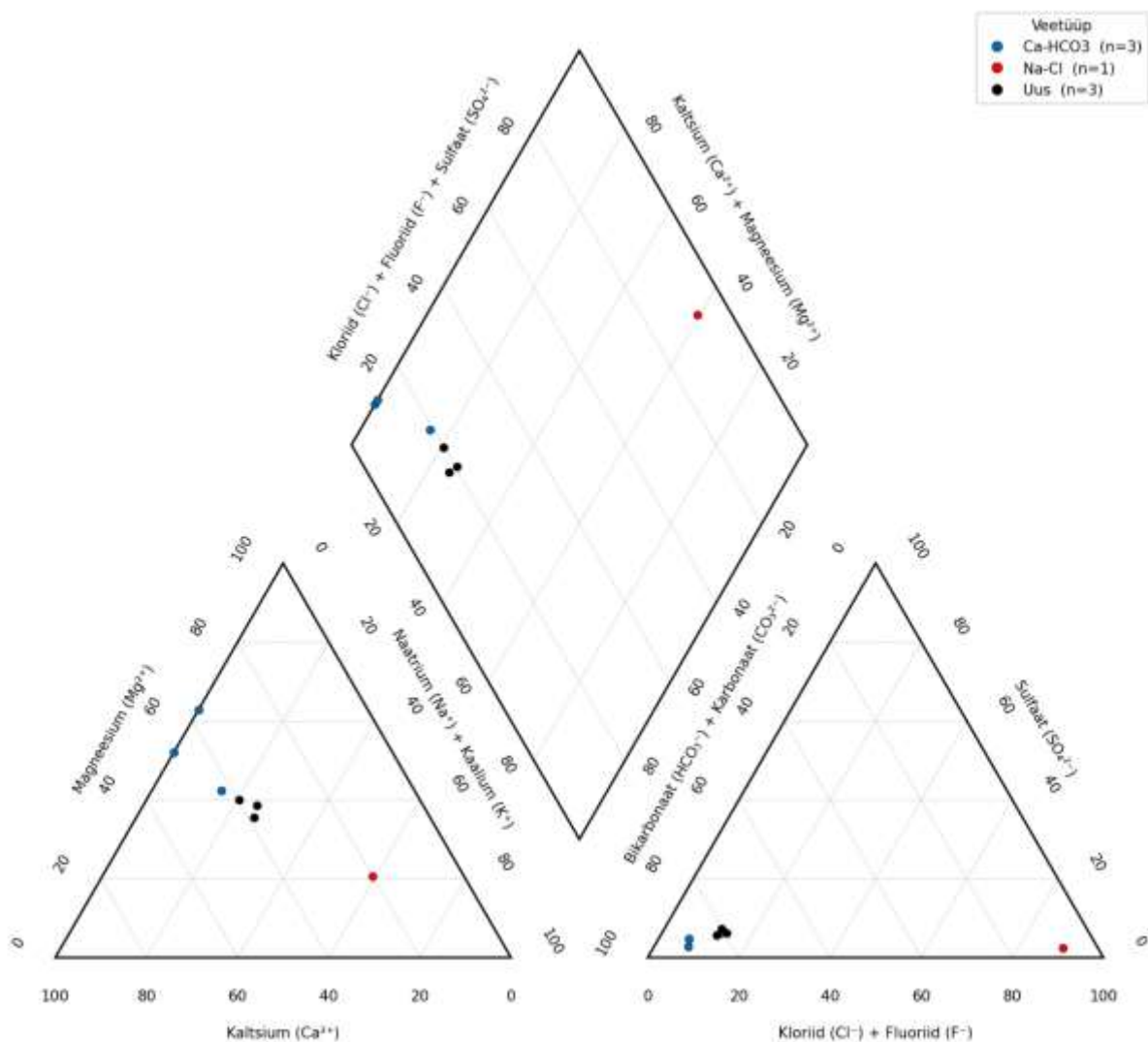
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	805
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2023. a	12
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	805
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	793



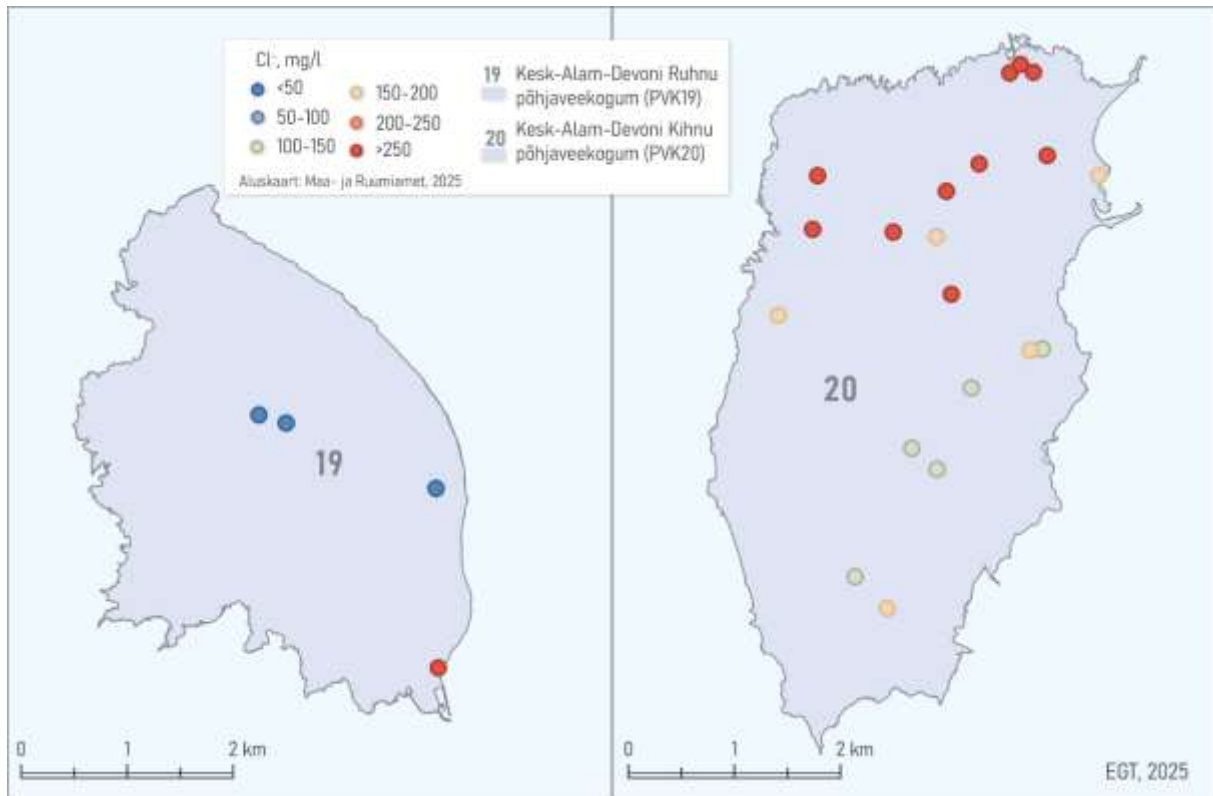
Joonis 1. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu ja Kihnu põhjaveekogumite (PVK nr. 19 ja 20) pindalaline kontseptuaalne mudel.



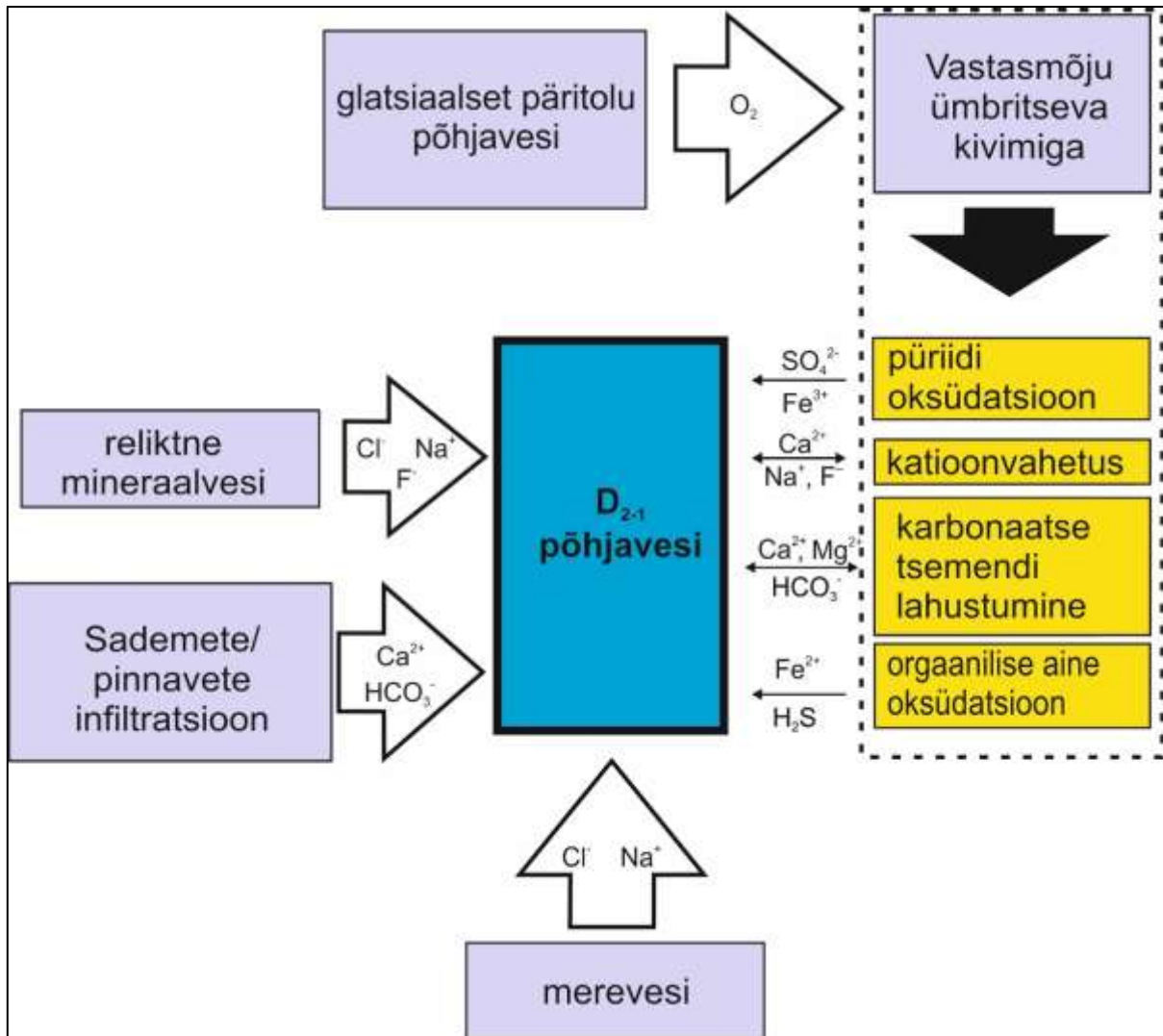
Joonis 2. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu ja Kihnu põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 3. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 4. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu ka Kihnu põhjaveekogumite põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 5. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu, Kihnu, Lääne- ja Ida-Eesti vesikondade põhjaveekogumite (PVK nr. 19-22) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

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

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

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

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

Sterckx, A., Lemieux, J.-M., Vaikmäe, R., 2018. Assessment of paleo-recharge under the Fennoscandian Ice Sheet and its impact on regional groundwater flow in the northern Baltic Artesian Basin using numerical model. *Hydrogeology Journal* 26: 2793–2810.

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>

PVK 20. Kesk-Alam-Devoni Kihnu põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
20	Lääne-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kesk-Alam-Devoni	Pärnumaa	16,8

			JOOIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide põhiosa koosneb Kesk-Devoni Pärnu lademe ja Alam-Devoni Rezekne ja Tilze lademe peeneteralisest nõrgalt tsementeerunud liivakivist ja aleuroliidist. Põhjaveekogumisse on arvatud ka Narva lademe ülemise osa lõhelised dolomiitmerglid ja aleuroliidid.	
	<i>Kogumi paksus</i>	Põhjaveekogumit moodustavate vettandvate setete paksus on kuni 30 m.	
	<i>Lasuv veepide</i>	Kogumi peamiseks veepidemeks on Narva regionaalne veepide, mille transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati 10^{-6} m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997). Narva lademe ülemise dolomiitmerglid on vettandvad moodustades lokaalse põhjaveekihi (Perens jt., 2012).	
	<i>Lamav veepide</i>	Kogumit moodustavatel põhjaveekihtidel ei ole hästi välja kujunenud lamavat veepidemet. Kesk-Alam-Devoni kivimite all lamavad suhteliselt hea veeandvusega Siluri ladestu lubjakivid ja dolomiidid. Sügavamal karbonaatkivimite lõhelisus väheneb ja moodustub Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide vertikaalse filtratsioonikoefitsiendiga $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	
	<i>Põhjavee survepind</i>	Survepinna kõrgus on määratletud maapinna absoluutkõrgusega merepinna suhtes, olles puurkaevudes enamasti absoluutkõrgusel 1–5 m (Perens jt., 2012).	

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee voolusuund on määratud kogumi saarelise asendiga ja on suunatud radiaalselt saare keskosast Liivi lahe suunas (Perens jt., 2012).	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Kogumi põhjaveekihtide lateraalne filtratsioonikoefitsient on valdavalt vahemikus 1-5 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveekihtide veejuhtivus on väike, jäädes vahemikku 30–160 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee lateraalne liikumiskiirus liivakivides ja aleuriitides on lateraalses suunas valdavalt 0,02–0,2 m/ööpäevas ja transversaalses suunas 0,001–0,005 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Kuna hüdrauliline gradient kogumit moodustavates põhjaveekihtides on väike, jäävad põhjaveevoolu kiirused pigem esitatud vahemike alumisse ossa.	
	Toitumine ja režiim	Saare keskosast kui põhiliselt toitealalt toimub aastaringne põhjaveevool Liivi lahe suunas. Toitumise intensiivsus sõltub põhjaveekogumit katvate Kvaternaari setete koostisest ja paksusest ning Narva lademe avamusala vettandvatest omadustest.	

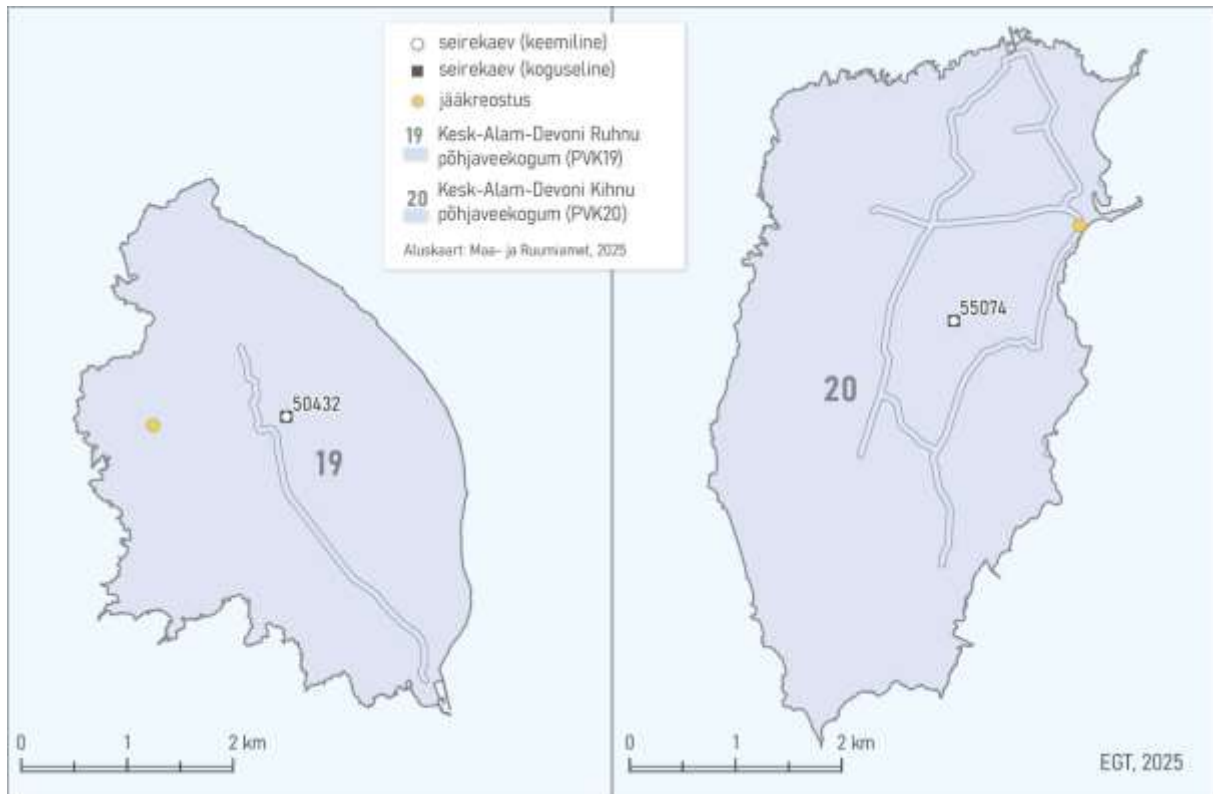
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	Põhjaveekogumis levib valdavalt Na-Cl tüüpi vesi mineraalsusega 0,5-1,8 g/L. Veekogumi veele on omane suured naatriumi (85-250 mg/L) ja kloriidi (140-500 mg/L) sisaldused. Tänapäeval on Kihnu saarele iseloomulikud veehaarded, mille põhjavee kloriidisisaldus on <200 mg/L (Tamm & Leisk, 2024). Samuti esinevad kogumis kohati joogivee kvaliteedi piirsaldust ületavad looduslikud raua (0,5 kuni 3,8 mg/L; piirsaldus 0,2 mg/L) kontsentratsioonid, mis viitab anoksiliste tingimuste esinemisele põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtides (Tamm & Leisk, 2024). Anoksiliste tingimuste mõjul on põhjaveekogumi vees täheldatud ka suuremaid NH ₄ ⁺ kontsentratsioone (0,5 kuni 3,4 mg/L). Kuna kogum on pindmistest vetest hästi isoleeritud, on nitraadi kontsentratsioonid väikesed (<0,5 mg/L). Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvu suundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm ja Leisk, 2024).	2-4
-------------------------	--------------------------	--	-----

	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Põhjavee $\delta^{18}\text{O}$ väärtused on väga stabiilsed ja jäävad vahemikku $-19,4$ kuni $-20,1\text{‰}$ (Pärn, 2018; Vaikmäe jt., 2020). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aeglase veevahetuse vööndisse. Kogumi vesi pärineb tõenäoliselt jääajal Eesti ala katnud mandriliustike sulavetest. Liustikuvete väga hea säilivus Liivi lahe saartel tuleneb tasasest reljeefist, mis ei suuda luua piisavaid hüdraulilisi rõhugradiente oluliseks veevahetuseks sügavamates kivimikihtides (Sterckx jt., 2018). Kogumi kerge isotoopkoostisega põhjavee lähimad analoogid Eesti aluspõhjas esinevad Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveekogumites, millistele on omased ka suured raua ja NH_4^+ sisaldused (Pärn jt., 2018; Raidla jt., 2019).</p> <p>Põhjaveekogumi vee keemiline koostis on mõjutatud sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee, merevee ja jääaegadel Eesti ala katnud mandriliustike sulavetest pärineva põhjavee segunemisest. Kuna valdav osa põhjaveekogumist on maapinnalt lähtuva reostuse eest kaitstud Narva regionaalse veepidemetega, siis antropogeensele reostusele viitavate ainete kontsentratsioonid on väga madalad (nt. nitraadid, pestitsiidijäägid). Peamised põhjavee keemilist koostist mõjutavad protsessid kogumis on karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine, segunemine soolase veega, kationvahetus ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon. Soolase vee (Cl^-) päritolu on ebaselge. Selleks võib olla eelglatsiaalne soolvesi, Litoriina mere vesi või tänapäevane merevee intrusioon. Kõrged raua sisaldused viitavad redoksreaktsioonide olulisusele kogumi keemilise koostise kujunemisel.</p>	5
--	--	--	---

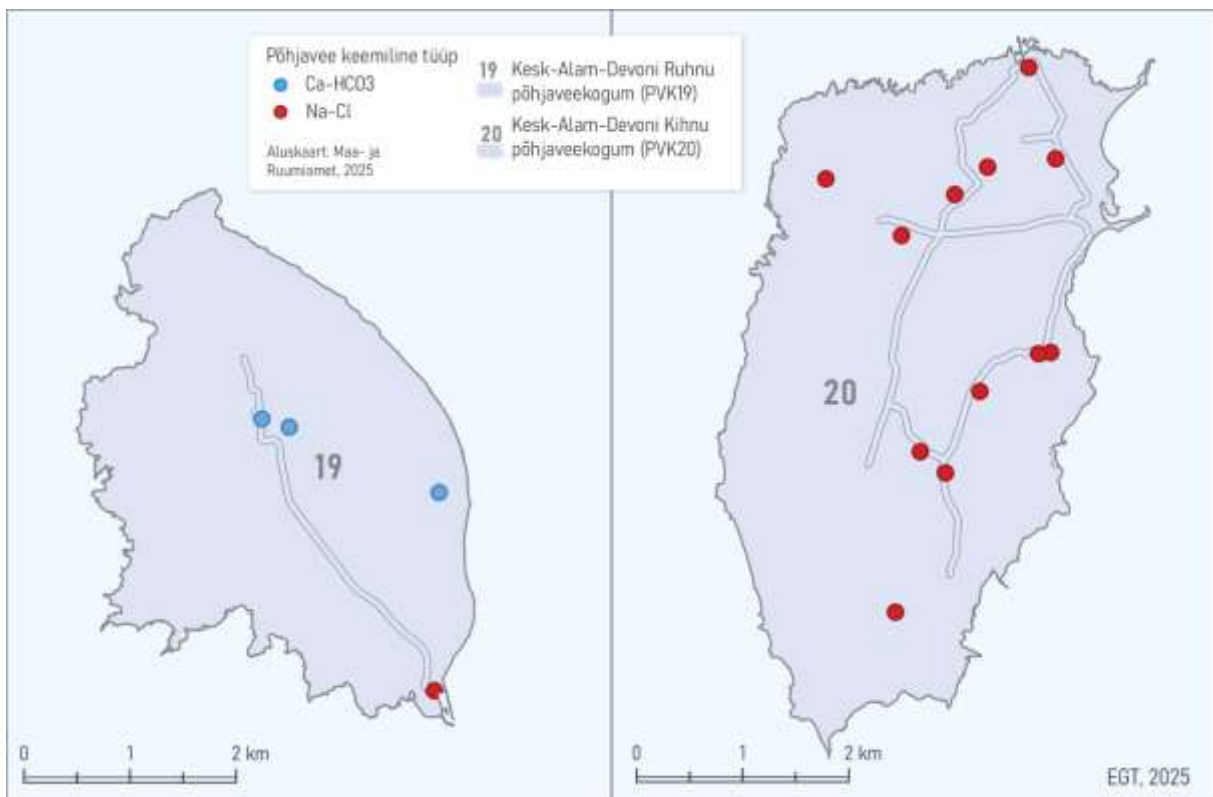
Seosed pinnajärgse maismaa- ökosüsteemidega (Vainu jt. 2025)	Seotud vooluvee- ökosüsteemid	Ei ole
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

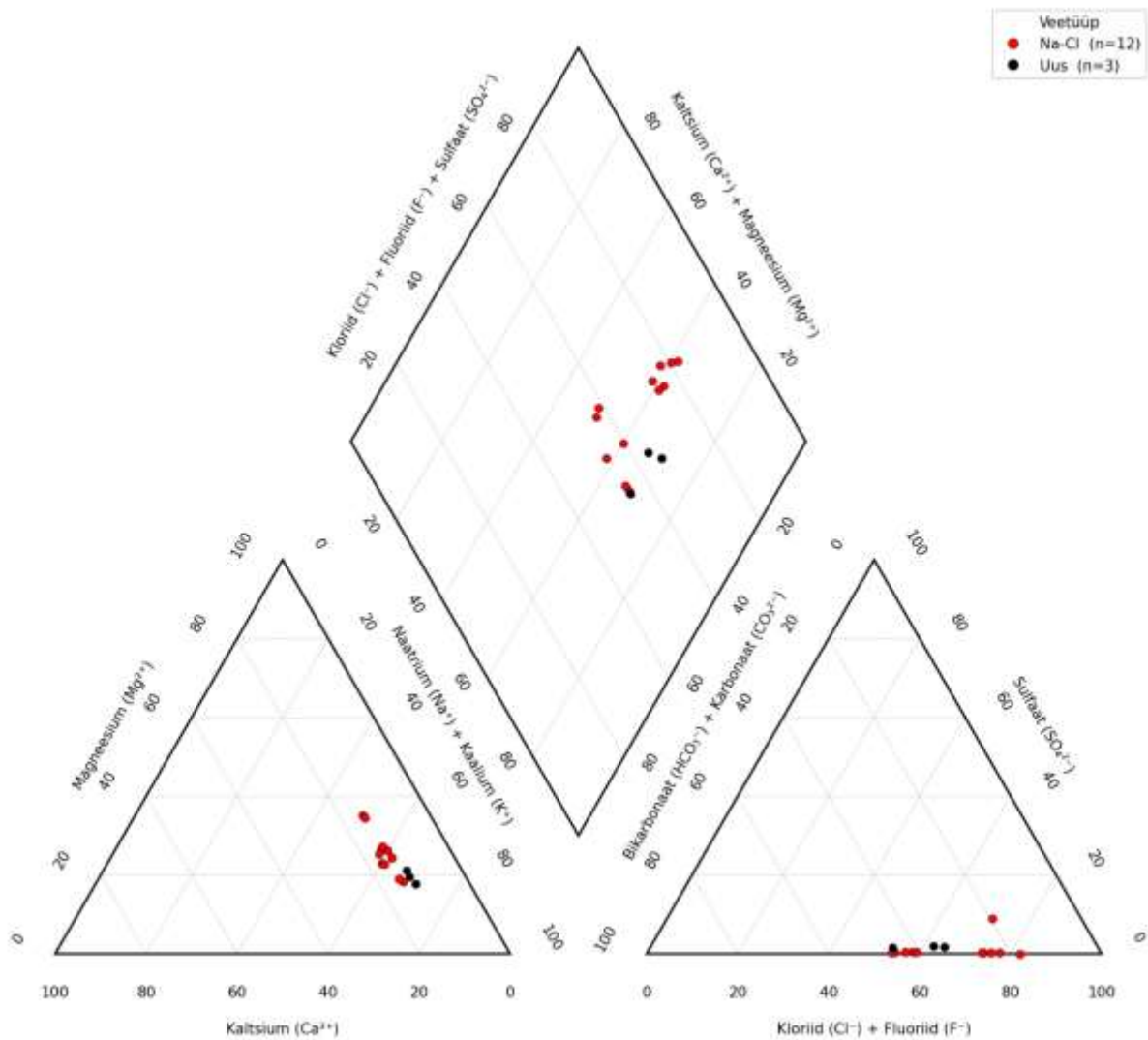
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	1176
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2017. a	
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	1176
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	1176



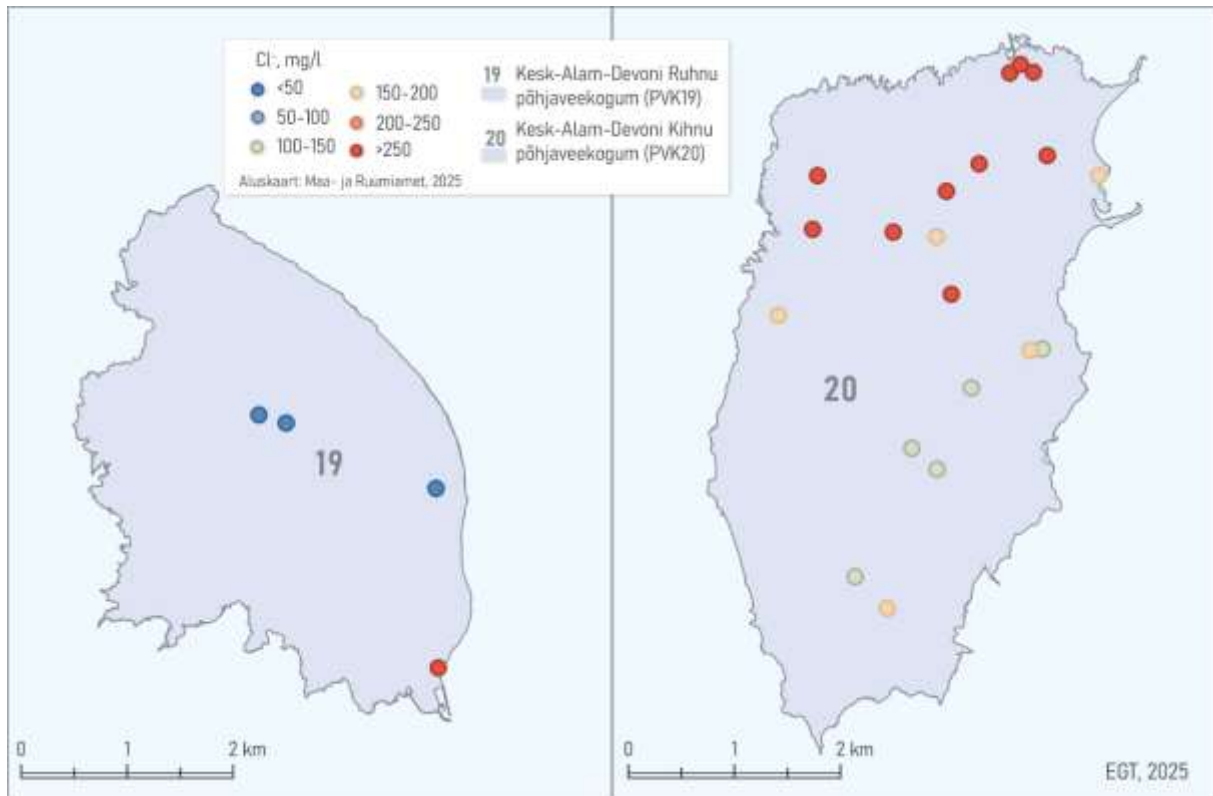
Joonis 1. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu ja Kihnu põhjaveekogumite (PVK nr. 19 ja 20) pindalaline kontseptuaalne mudel.



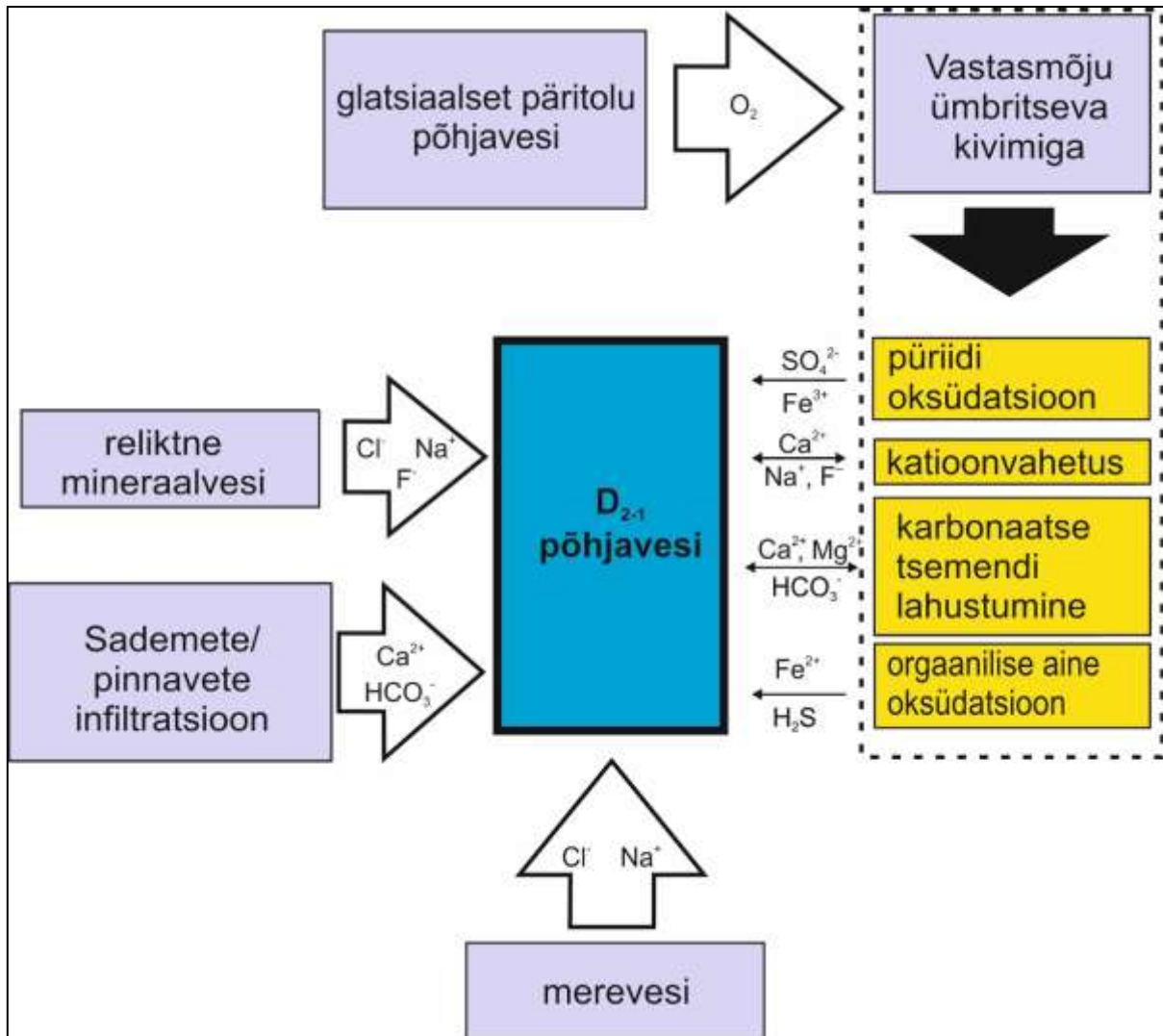
Joonis 2. Kesk-Alam-Devoni Kihnu ja Ruhnu põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 3. Kesk-Alam-Devoni Kihnu põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 4. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu ka Kihnu põhjaveekogumite põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 5. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu, Kihnu, Lääne- ja Ida-Eesti vesikondade põhjaveekogumite (PVK nr. 19-22) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Mokrik, R., Erg, K., 2016. The recharge of glacial meltwater and its influence on the geochemical evolution of groundwater in the Ordovician-Cambrian aquifer system, northern part of the Baltic Artesian Basin. *Applied Geochemistry* 72: 125–135.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, V., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K. 2019. Origin and formation of methane in groundwater of glacial origin from the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 251: 247–264.
- Sterckx, A., Lemieux, J-M., Vaikmäe, R., 2018. Assessment of paleo-recharge under the Fennoscandian Ice Sheet and its impact on regional groundwater flow in the northern Baltic Artesian Basin using numerical model. *Hydrogeology Journal* 26: 2793–2810.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>

PVK 21. Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
21	Lääne-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kesk-Alam-Devoni	Pärnumaa, Viljandimaa	4450

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Vettandvad kivimid on esindatud Kesk-Devoni Pärnu lademe ja Alam-Devoni Rezekne ja Tilze lademe peeneteraliste nõrgalt tsementeerunud liivakivide ja aleuroliitidega, mis sisaldavad domeriidi ja savi vahekihte.	1
	Kogumi paksus	Suureneb ühtlaselt 1-3 meetrilt põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide avamusalal kuni 40 meetrini Eesti lõunapiiril (Perens & Vallner, 1997; Perens & Karro, 2008; Perens jt., 2012)	1
	Lasuv veepide	Narva lademe aleuroliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglist koosnev Narva regionaalne veepide. Veepideme paksus suureneb enam-vähem ühtlaselt lõuna suunas 30 meetrilt kuni 100 meetrini (Perens jt., 2012). Narva veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati 10^{-6} m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012).	1
	Lamav veepide	Kogumit moodustavatel põhjaveekihtidel ei ole hästi välja kujunenud lamavat veepidet. Kesk-Alam-Devoni kivimite all lasuvad hea veandvusega Siluri ladestu lõhelised lubjakivid ja dolomiidid, milles on moodustatud Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all (nr. 17). Hüdrogeoloogiliselt moodustavad Siluri ja Kesk-Alam-Devoni kivimid ühtse põhjaveekompleksi, aga kivimite kollektor-omaduste erinevuse tõttu käsitletakse neid eraldi (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012). Sügavamal kui ~50 m karbonaatkivimite lõhelisus väheneb ja moodustub Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide vertikaalse filtratsioonikoefitsendiga $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).	1

	Põhjavee survepind	Survepinna absoluutkõrgus sõltub ala paiknemisest peamiste veelahkmealade ja toitealade suhtes. Kogumi peamisel toitealal Sakala kõrgustiku lõunaosas ulatub survepinna (looduslik) kõrgus absoluutkõrguseni 60–65 m (Tšeban, 1966; Perens jt., 2012). Reljeefi lohkudes ja Liivi lahe rannikumadalikul ulatub survepind üle maapinna.	2
--	---------------------------	--	---

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee liikumise suunad on määratud Sakala kõrgustiku kui põhilise veelahkmeala ning Pärnu jõe ja Liivi lahe rannikumadaliku kui põhjavee väljealade paiknemisega (Perens jt., 2012). Sakala kõrgustikult voolab põhjavesi lääne- ja edela suunas. Põhjavesi infiltreerub transversaalse põhjaveevooluna ka allpool lasuvatesse Siluri põhjaveekihtidesse (Perens jt., 2012).	2
	Filtratsioonikoefitsient	Põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide veejuhtivus on kogumi põhjaosas <math><100\text{ m}^2/\text{ööpäevas}</math> ja kasvab lõuna suunas kuni väärtuseni 550 $\text{m}^2/\text{ööpäevas}$ (Tšeban, 1966; Savitskaja jt., 1996). Valdavalt on ülekaalus väärtused 50–300 $\text{m}^2/\text{ööpäevas}$ (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumi lateraalne filtratsioonikoefitsient on 2–6 $\text{m}/\text{ööpäevas}$ (keskmiselt 3 $\text{m}/\text{ööpäevas}$) ja elastne veemahtavuse koefitsient 0,001–0,15 (Perens jt., 2012). Põhjavee lateraalne liikumiskiirus liivakivides on sõltuvalt hüdraulilisest gradiendist 0,02–0,2 $\text{m}/\text{ööpäevas}$ ja transversaalse liikumise kiiruseks on hinnatud 0,001–0,005 $\text{m}/\text{ööpäevas}$ (Perens jt., 2012).	1
	Toitumine ja režiim	Sakala kõrgustikul on hinnatud põhjavee netoinfiltratsiooniks 90–120 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Savika pinnakattega liigniisketel aladel põhjavee toitumist ei toimu või on see vähene. Toitumine on aeglane, sest valdavas osas on põhjaveekogum kaetud Narva regionaalse veepidemega. Veetasemete kõikumise amplituudid aastaegade lõikes on väikesed, jäädes vahemikku 0,3–1,8 m (Perens jt., 2012). Kogumist toimub suurem veevõtt Pärnu ja Viljandi linnas paiknevates veehaaretes.	1

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumis levib valdavalt Ca-HCO₃ ja Ca-Mg-HCO₃ tüüpi vesi mineraalsusega 0,2-0,6 g/L. Liivi lahe rannikul Pärnust lõunas leidub üksikuid kaeve, mille põhjavesi on Na-HCO₃- või Ca-Cl-tüüpi ning kus kloriidi sisaldused võivad olla kuni 200 mg/L. Sellist tüüpi põhjavee esinemine võib tuleneda nii merevee mõjust kui ka aeglasema veevahetuse võõndist pärineva põhjavee esinemisest.</p> <p>Põhjaveekogumile on omased suured looduslikud raua sisaldused (<0,01 kuni 5,6 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,2 mg/L), mis viitavad anoksiliste tingimuste esinemisele põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtides. Anoksiliste tingimuste mõjul on põhjaveekogumi vees täheldatud ka kõrgemaid NH₄⁺ kontsentratsioone (~1,5 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,5 mg/L). Liivi lahe rannikul Häädemeeste ja Ikla ümbruses on põhjaveekompleksi vees tuvastatud ka suuremaid Ba²⁺ sisaldusi (~3500 µg/L; Karise jt., 2004; Savitskaja jt., 1996). Kohati leidub põhjaveekogumis looduslikke raskemetallide sisaldusi, (nt Ni, Zn, Mo), mis ületavad ohtlikele ainetele kehtestatud künnisarve (Savitskaja jt., 1996; Tamm & Leisk, 2024).</p> <p>Kui mitte arvestada kitsast kogumiga seotud põhjaveekihtide avamusala kogumi põhjaosas, on põhjaveekogum hästi kaitstud maapinnal paiknevate punkt- ja hajukoormusallikate mõju eest ning ainsaks tähtsamaks koormusallikaks, mis võib põhjavee kvaliteeti mõjutada on veevõtt.</p> <p>Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm ja Leisk, 2024).</p>	3-5
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Põhjaveekogumi vee keemiline koostis on mõjutatud sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee, merelise tekkega põhjavee ja varasematest kliimaperioodidest pärineva põhjavee segunemisest. Põhjavee isotoopkoostist iseloomustava δ¹⁸O väärtused jäävad kogumis vahemikku -9,7 kuni -14‰ (Savitskaja jt., 1996; Raidla jt., 2016; Pärn, 2018; Vaikmäe jt., 2020). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni mõõduka veevahetuse vöösse. δ¹⁸O väärtused ≤-14‰ viitavad aeglasemale veevahetusele (Pärn, 2018) ja on</p>	6

		<p>omased piirkondadele, mis paiknevad kogumi toitealadest kaugemal. Tänapäeva sademetest raskema isotoopkoostise ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused $> -10,5\text{‰}$) väärtused võivad indikeerida aurumisest mõjutatud märgaladelt pärineva veel suurele osakaalule põhjavees.</p> <p>Kuna valdav osa põhjaveekogumist on maapinnalt lähtuva reostuse eest kaitstud Narva regionaalse veepidemetega, on seal antropogeensele reostusele viitavate ainete kontsentratsioonid (nt. orgaaniline reostus, nitraadid, pestitsiidid, ravimijäägid; v.a kogumi avamusala, Tamm & Leisk, 2024) väga väikesed. Peamised põhjavee keemilist koostist mõjutavad protsessid kogumis on karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine ja vähemal määral ka püriidi oksüdatsioon, mille mõju on olulisem Ca-HCO_3-tüüpi vees. Kõrged raua sisaldused näitavad redoksprotsesside olulisust kogumi põhjavee keemilise koostise kujunemisel. Na-HCO_3- ja Ca-Cl-tüüpi vees on lisaks eelnimetatutele oluliseks keemiliseks protsessiks kationvahetus põhjavee ja ümbritsevate savikate kivimite vahel.</p>	
--	--	--	--

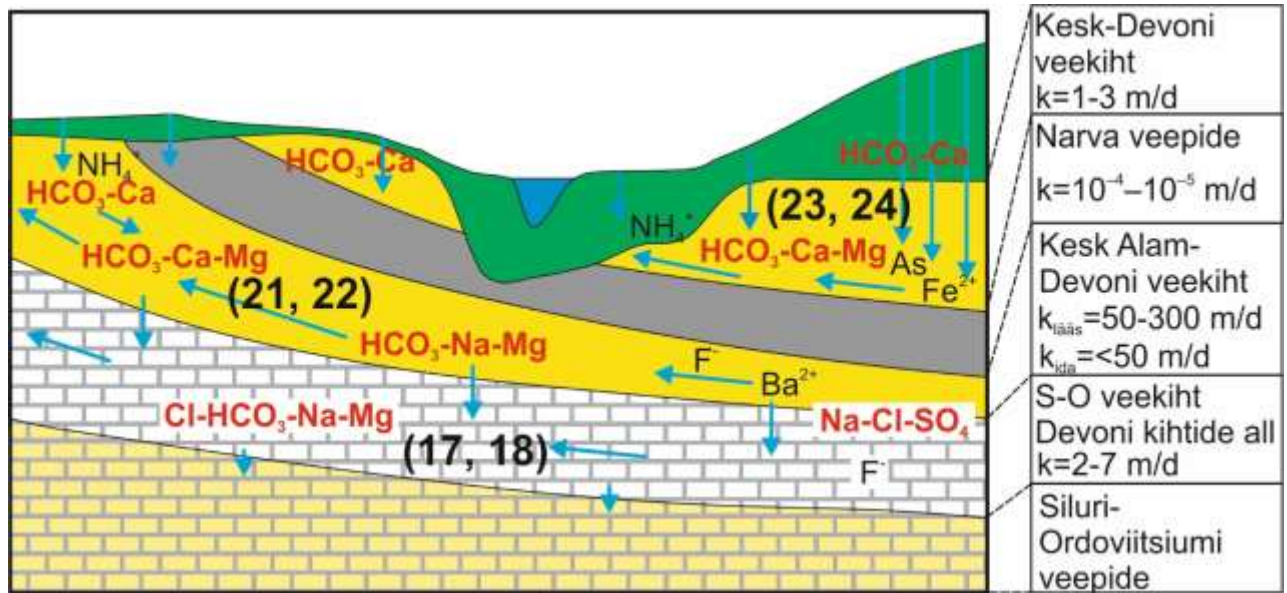
<p><u>Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<p>Vooluveekogud:</p> <p>1134000_1 Lõhavere</p> <p>1140700_1 Vastemõisa</p>
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p>Ei ole</p>

	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_454 Lindilt läände jääv soomets • PSMÖS_455 Lindilt edelasse jääv soomets • PSMÖS_458 Tolkuse soometsad • PSMÖS_467 Kõduküla Tuhametsa lammisoo • PSMÖS_468 Pääsma luhast itta jääv soomets • PSMÖS_469 Halliste puisniidust itta jääv soomets • PSMÖS_470 Halliste puisniidust läände jääv soomets • PSMÖS_471 Kuresoost edelasse jääv soomets • PSMÖS_472 Kuresoost itta ja kagusse jäävad soometsad • PSMÖS_473 Tõrvassaare soost põhja poole jääv soomets • PSMÖS_474 Allikarabast läände jääv soomets • PSMÖS_475 Allikarabast edelasse jääv soomets • PSMÖS_476 Ördi rabast kirdesse jääv soomets • PSMÖS_477 Korstnalohu soomets • PSMÖS_478 Lemmjõe keelemets • PSMÖS_479 Karusekoselt lõunasse jääv soomets • PSMÖS_480 Ördi rabast loodesse jäävad soometsad • PSMÖS_482 Ördi rabast läände jääv soomets • PSMÖS_483 Kikepera rabast itta jääv soomets
--	--	--

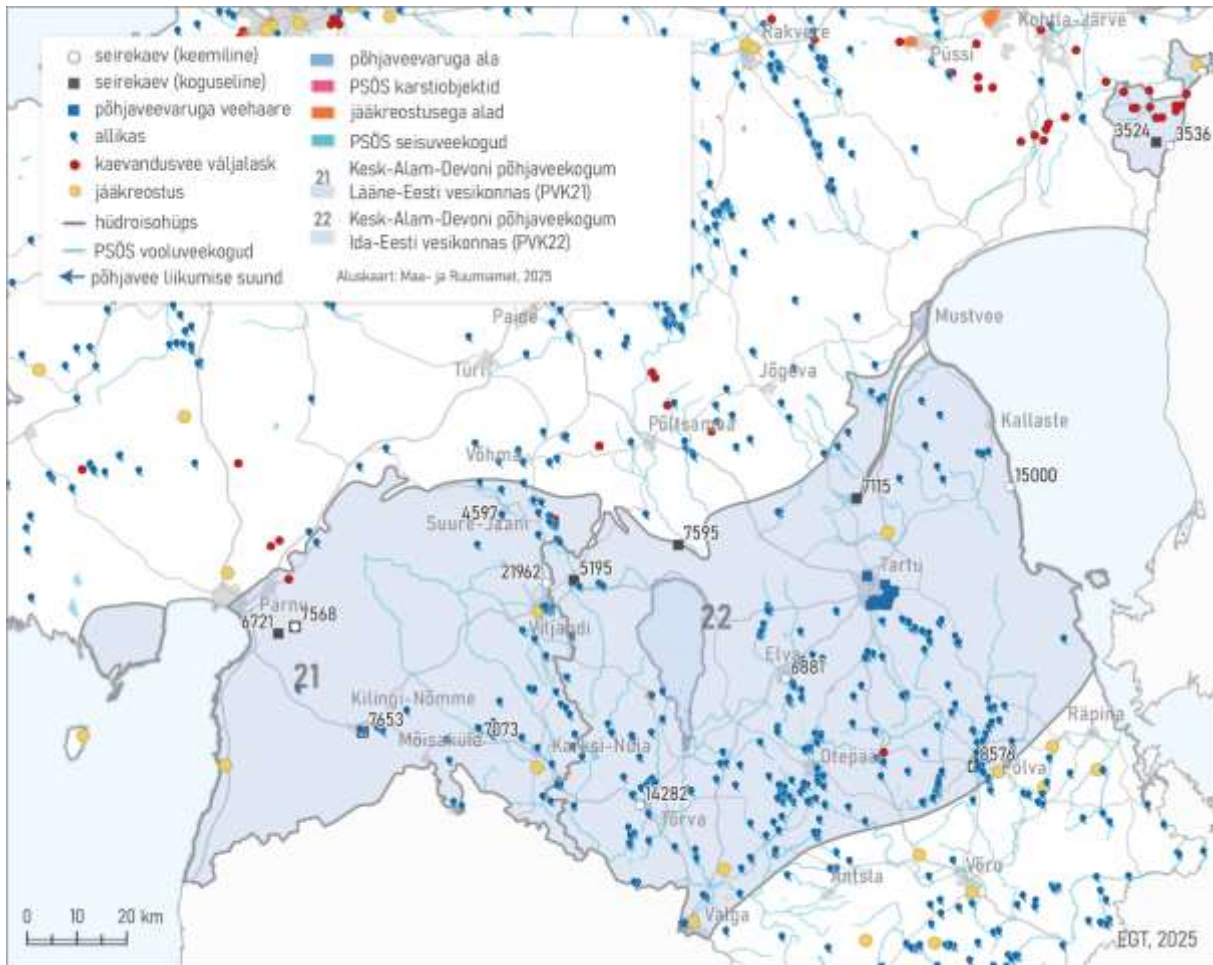
		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_484 Riisa rabast itta jääv soomets • PSMÖS_525 Parika rabast põhja poole jääv soomets • PSMÖS_531 Jaska allikasoo
--	--	---

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

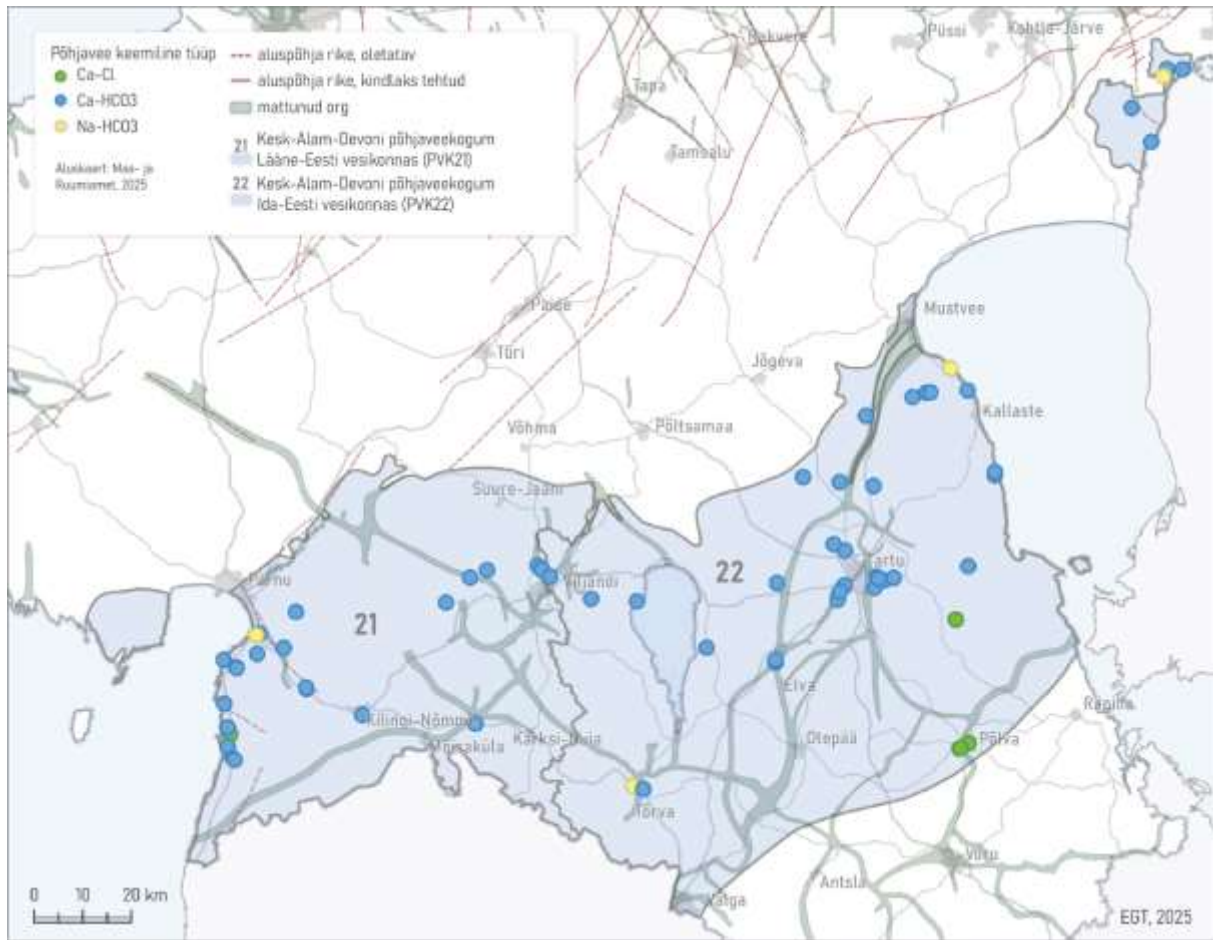
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	536689
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2017. a	607
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-607
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	536689
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	536082



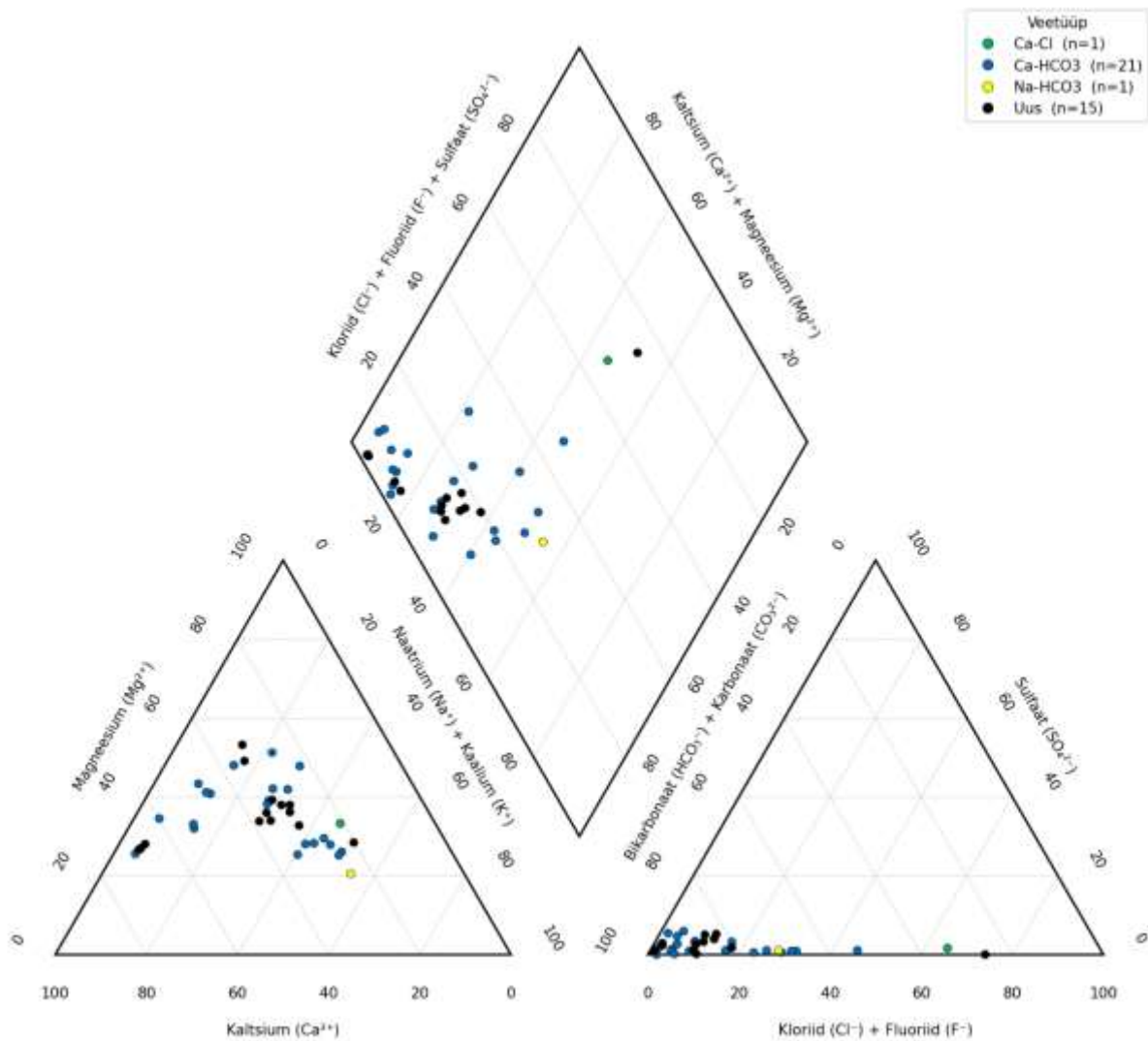
Joonis 1. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumi, Kesk-Alam Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna ning Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 18, 21-22, 23-24) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



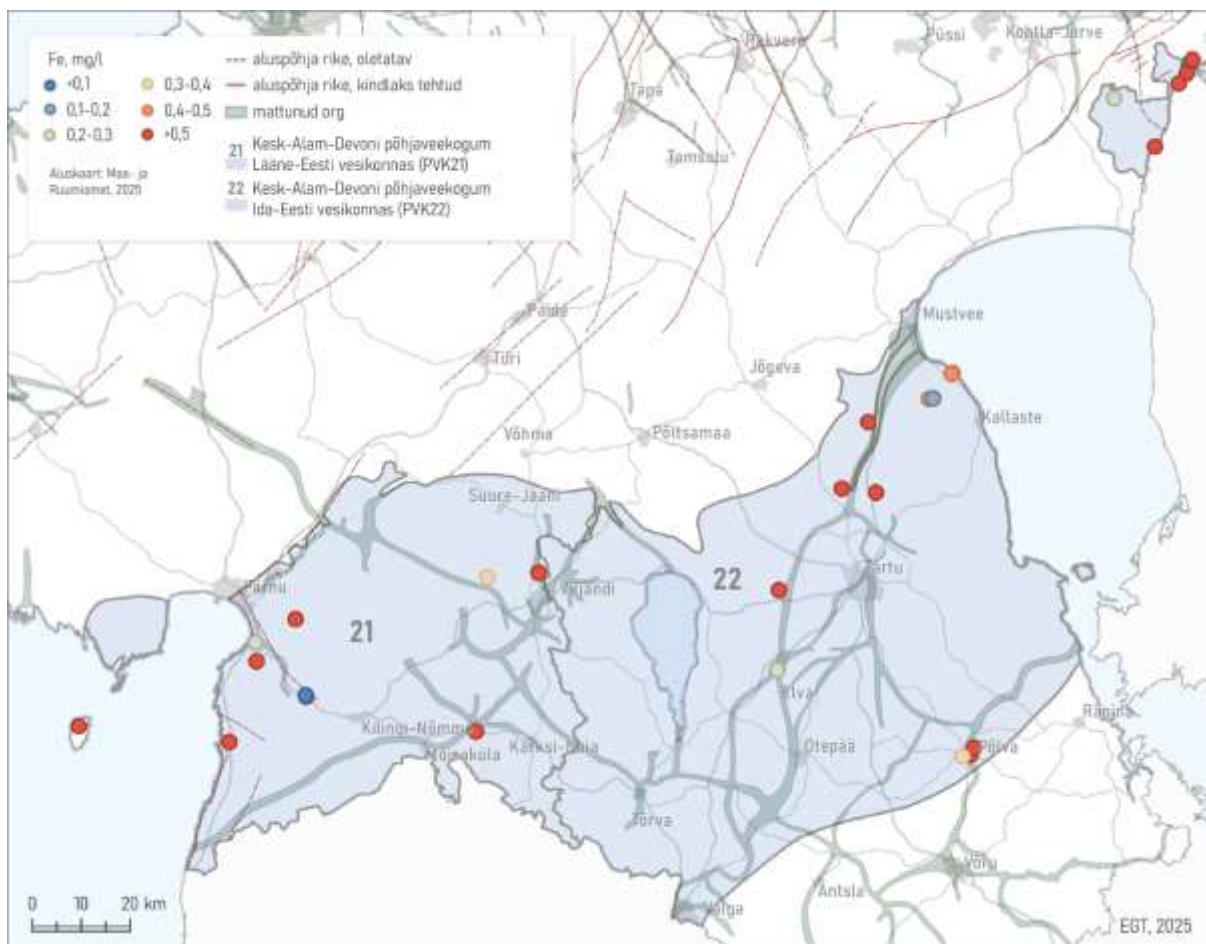
Joonis 2. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Kesk-Alam-Devoni Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 21 ja 22) pindalaline kontseptuaalne mudel.



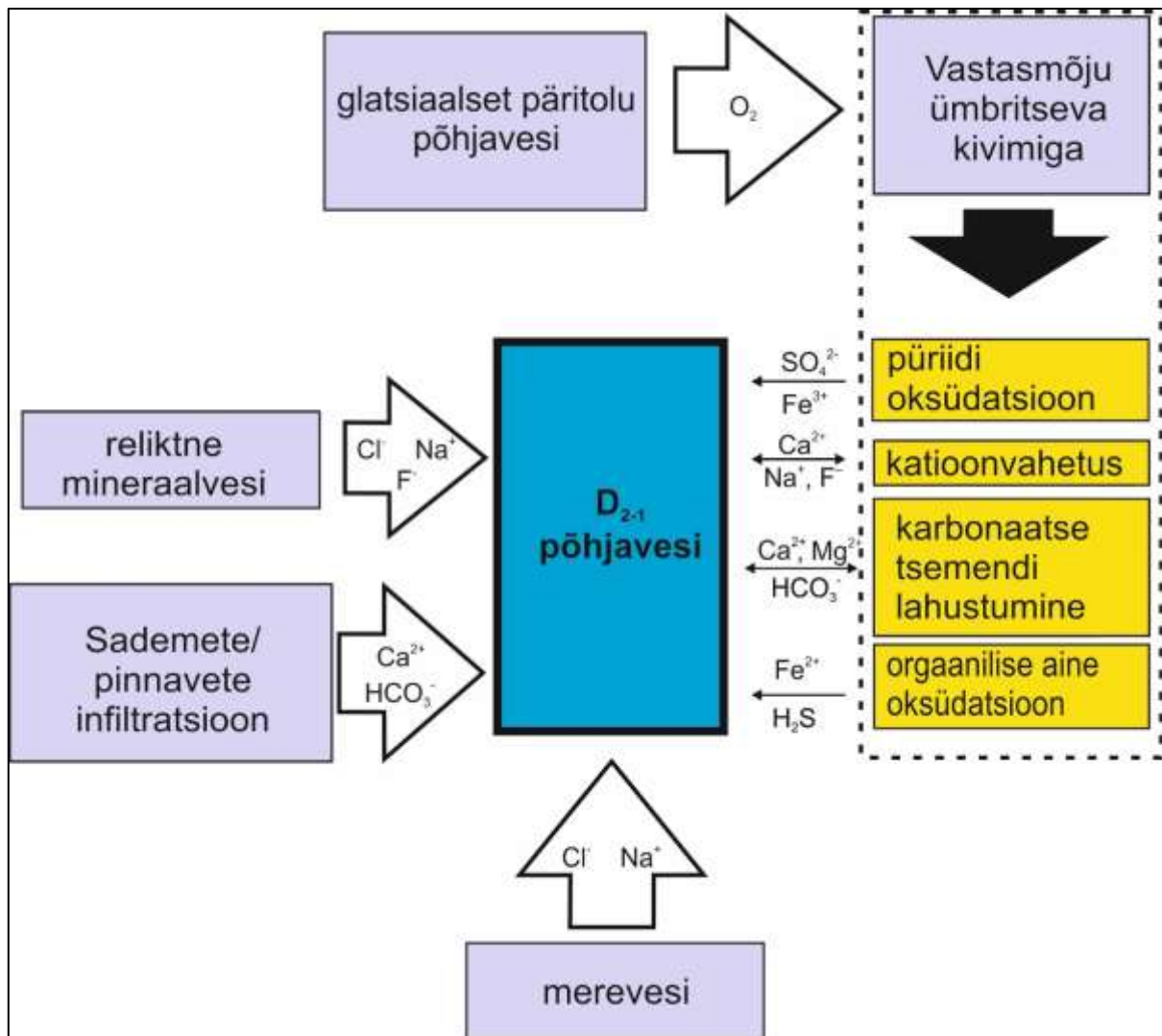
Joonis 3. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Kesk-Alam-Devoni Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu, Kihnu, Lääne- ja Ida-Eesti vesikondade põhjaveekogumite (PVK nr. 19-22) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karise, V., Metsur, M., Perens, R., Savitskaja, L. & Tamm, I., 2004. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Eesti Põhjaveekomisjon, Tallinn.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1996. Ülem-keskdevoni veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Tšeban, E., 1966. Nõukogude Liidu hüdrogeoloogia. Köide XXX (Eesti NSV). (vene keeles)
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrol. Res.* 47, 814–834.

PVK 22. Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
22	Ida-Eesti vesikond	Isoleeritud	Kvaternaari, Kesk-Alam-Devoni	Tartumaa, Jõgevamaa, Põlvamaa, Valgamaa, Viljandimaa	7715

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Vettandvad kivimid on esindatud Kesk-Devoni Pärnu lademe ja Alam-Devoni Rezekne ja Tilze lademe peeneteraliste nõrgalt tsementeerunud liivakivide ja aleuroliitidega, mis sisaldavad domeriidi ja savi vahekihte. Kogumi põhjaosas Kesk-Alam-Devoni kivimite avamusalal loetakse kogumiga seotuks ka aluspõhjal lasuvad Kvaternaari veekihtid, millest olulisimad on fluvioglatsiaalsetes setetes paiknevad veekihtid (eriteraline kruus, liiv ja veerised) Jõgeva maakonna Jõgeva ja Tabivere ning Tartu maakonna Tartu vallas (endised Kvaternaari Laiuse ja Saadjärve põhjaveekogumid nr. 33 ja 34).	1
	<i>Kogumi paksus</i>	Suureneb ühtlaselt 10 meetrilt põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide avamusalal kuni umbes 40 meetrini kogumi lõunapiiril (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012)	1
	<i>Lasuv veepide</i>	Põhjaveekogum põhjaosas on maapinnalt esimene väljapeetud põhjaveekiht kaetud suhteliselt paksu savikate Kvaternaari setete lasundiga (filtratsioonikoefitsient 0,01–1,0 m/ööpäevas; Perens jt., 2012). Kogumi lõunaosas katab kogumit Narva lademe aleuroliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglist koosnev Narva regionaalne veepide. Veepideme paksus suureneb enam-vähem ühtlaselt lõuna suunas 30 meetrilt kuni 100 meetrini (Perens jt., 2012). Narva veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10 ⁻⁴ –10 ⁻⁵ m/ööpäevas,	1

		<p>kohati 10^{-6} m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012).</p> <p>Narva lademe avamusalal moodustavad lademe ülemise osa Kernave kihistiku liivakivid ja aleuriidid lokaalse iseloomuga 10-25 paksuse põhjaveekihi, mis on tinglikult arvatud Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogumi hulka, kuigi hüdrodünaamiliselt on see pigem seotud lasuvate Kesk-Devoni põhjaveekogumitega (nr. 23 ja 24).</p>	
	Lamav veepide	<p>Kogumit moodustavatel põhjaveekihtidel ei ole hästi välja kujunenud lamavat veepidet. Kesk-Alam-Devoni kivimite all paiknevad hea veeandvusega Siluri ladestu lõhelised lubjakivid ja dolomiidid, milles on moodustatud Siluri-Ordoviitsiumi põhjaveekogum Devoni kihtide all. Hüdrogeoloogiliselt moodustavad Siluri ja Kesk-Alam-Devoni kivimid ühtse põhjaveekompleksi, aga kivimite kollektor-omaduste erinevuse tõttu käsitletakse neid eraldi (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012). Sügavamal kui ~50 m karbonaatkivimite lõhelisus väheneb ja moodustub Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide vertikaalse filtratsioonikoefitsendiga $\sim 10^{-6}$ m/ööpäevas (Perens & Vallner, 1997).</p>	1
	Põhjavee survepind	<p>Survepinna absoluutkõrgus sõltub ala paiknemisest peamiste toitealade, Lõuna-Eesti kõrgustike (Otepää, Haanja) suhtes. Veetaseme suuremad absoluutkõrgused (60–80 m) esinevad Otepää kõrgustikul (Tšeban, 1966). Kogumi põhjaosas suureneb survepinna absoluutkõrgus u 50 m (Tšeban, 1966).</p>	2

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	<p>Põhjavee liikumise suunad on määratud Lõuna-Eesti kõrgustike paiknemisega. Emajõest põhja pool on põhjavee suund määratud Pandivere kõrgustikult ja Vooremaalt Peipsi järve ja Emajõe poole liikuva põhjaveevooluga. Põhjaveekogumi keskosas domineerivad Otepää kõrgustikult lähtuvad radiaalsed põhjaveevoolud ja kogumi lõunaosas on peamiseks lõunast põhja suunduv põhjaveevool, mis saab alguse Karula ja Haanja kõrgustikelt. Põhjavee väljeala on väga piiratud levikuga, kuna on peaaegu</p>	2
-----------------------	--------------------	--	---

		kogu levikualal on kogum kaetud Narva regionaalse veepidemega (Perens jt., 2012).	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide veejuhtivus on kogumi põhjaosas <math> < 50 \text{ m}^2/\text{ööpäevas}</math> ja kasvab lõuna suunas kuni väärtuseni 550 $\text{m}^2/\text{ööpäevas}$ (Tšeban, 1966; Savitskaja jt., 1996; Perens & Vallner, 1997; Polikarpus jt., 2017). Põhjaveekogumi lateraalne filtratsioonikoefitsient on 2–6 $\text{m}/\text{ööpäevas}$ (keskmiselt 3 $\text{m}/\text{ööpäevas}$) ja elastne veemahtavuse koefitsient 0,001–0,15 (Perens & Vallner, 1997; Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjavee lateraalne liikumiskiirus liivakivides on sõltuvalt hüdraulilisest gradiendist 0,02–0,2 $\text{m}/\text{ööpäevas}$ ja transversaalse liikumise kiiruseks on hinnatud 0,001–0,005 $\text{m}/\text{ööpäevas}$ (Perens jt., 2012).</p>	1
	Toitumine ja režiim	<p>Põhjaveekogumi avamusala jääb Pandivere kõrgustiku jalamile ja Vooremaale. Täiendav toitumine toimub ka Otepää ja Haanja kõrgustikult. Toitumise intensiivsus sõltub kogumit katvate Kvaternaari setete koostisest, aga põhjavee toitumine on aeglane, sest kogum on peaaegu kogu ulatuses kaetud Narva regionaalse veepidemega.</p> <p>Veetasemete kõikumise amplituudid aastaegade lõikes on väikesed ja jäävad vahemikku 0,5–2,0 m (Perens jt., 2012).</p> <p>Kogumist toimub suurem veevõtt Tartu, Põlva ja Elva linnas paiknevates veehaaretes. Põhjaveerežiimi kogumi Ida-Virumaal asuvas osas on mõjutanud põlevkivi avamaakaevandamine (Narva ja Sirgala karjäärid).</p>	2

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumis levib valdavalt Ca-HCO_3^- ja Mg-HCO_3^- tüüpi põhjavesi mineraalsusega 0,2-0,6 g/L. Kohati leidub kogumis ka Na-HCO_3^- tüüpi põhjavett ning kogumi lõunaosas leidub ka Ca-SO_4^- või $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-Cl}$ tüüpi vett. Viimast veetüüpi iseloomustab mineraalsus 0,6-0,9 mg/L ja suured sulfaadi (40-310 mg/L) ja kloriidi (75-250 mg/L) sisaldused.</p> <p>Kui mitte arvestada kitsast kogumiga seotud põhjaveekihtide avamusala kogumi põhjaosas, on</p>	3-5
-------------------------	--------------------------	--	-----

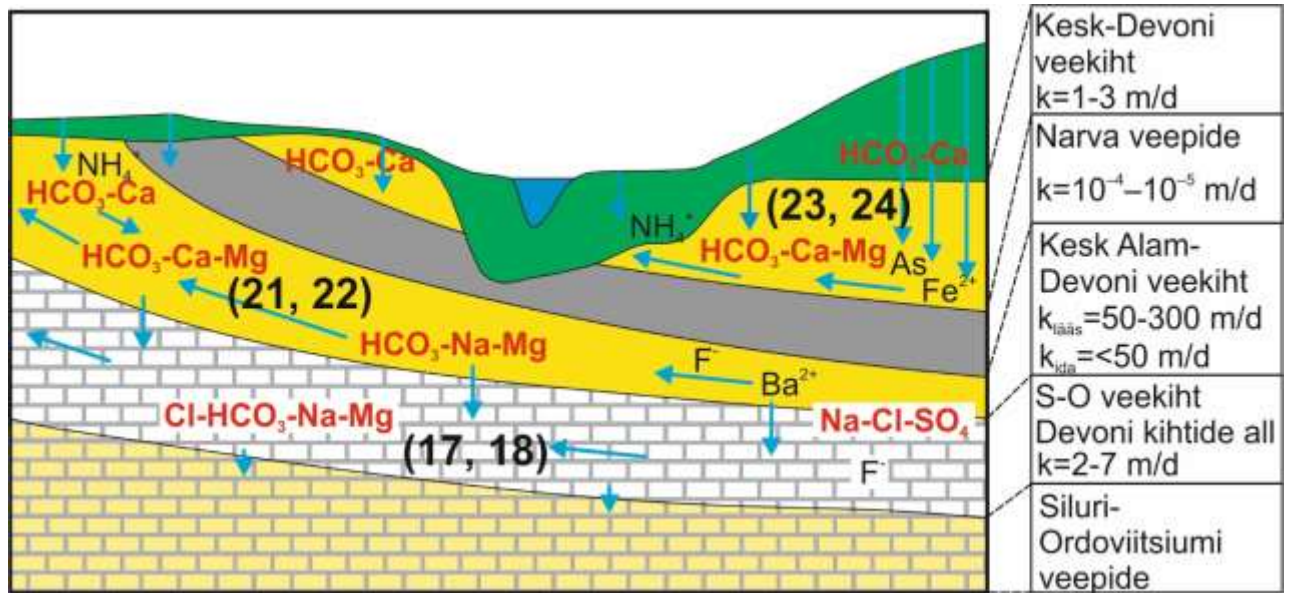
		<p>põhjaveekogum hästi kaitstud maapinnal paiknevate punkt- ja hajukoormusallikate mõju eest. Põhjaveekogumile on omased suured looduslikud raua sisaldused (<0,01 kuni 5,6 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,2 mg/L), mis viitab anoksiliste tingimuste esinemisele põhjaveekogumis. Anoksilistes tingimustes esineb kohati ka joogiveele kehtestatud kvaliteedinäitajate piirsisaldusest (0,5 mg/L) suuremaid NH_4^+ kontsentratsioone (kuni 2 mg/L). Lisaks on põhjaveekogumi vees täheldatud kõrgemaid fluoriidi kontsentratsioone (0,5 kuni 3,2 mg/L; Savitskaja jt., 1996a; Karro ja Uppin, 2013), mis ületavad kohati joogiveele kehtestatud piirsisaldust (1,5 mg/L). Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm ja Leisk, 2024). Kohati leidub põhjaveekogumis looduslikke raskemetallide sisaldusi (nt Ni, Zn, Mo), mis võivad ületada ohtlikele ainetele kehtestatud künnisarve (Savitskaja jt., 1996).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Põhjaveekogumi põhjavee keemiline koostis on mõjutatud sademete infiltreerumisel tekkinud põhjavee ja vanema varasematest kliimaperioodidest pärineva põhjavee segunemisest. Kogumi põhjavee $\delta^{18}\text{O}$ väärtused jäävad vahemikku $-11,1$ kuni $-15,7\%$ (Väikmann jt., 1992; Savitskaja jt., 1996; Raidla jt., 2016; Pärn, 2018; Vaikmäe jt., 2020). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse kuni aeglase veevahetuse vööndisse. Aktiivse veevahetuse vööndis paikneb kogumi Ida-Virumaa osas ja Lõuna-Eestis kogumit moodustavate kivimite avamuse lähedasel alal. $\delta^{18}\text{O}$ väärtused $\leq -14\%$ viitavad aeglasemale veevahetusele (Pärn, 2018) ja on omased piirkondadele, mis paiknevad kaugemal kogumi peamistest toitealadest.</p> <p>Kuna valdav osa põhjaveekogumist on maapinnalt lähtuva reostuse eest kaitstud Narva regionaalse veepidemetega, on seal antropogeensele reostusele viitavate ainete kontsentratsioonid väga madalad (nt. orgaaniline reostus, nitraadid, pestitsiidid; v.a. kogumi avamusala, Tamm & Leisk, 2024). Peamised põhjavee keemilist koostist mõjutavad protsessid kogumis on karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine ja vähemal määral ka püriidi</p>	6

		<p>oksüdatsioon, mis tõttu domineerib Ca-HCO₃⁻ tüüpi vesi. Kõrged raua sisaldused viitavad redoksreaktsioonide olulisusele kogumi keemilise koostise kujunemisel. Na-HCO₃ tüüpi veele on lisaks eelnimetatutele oluliseks keemiliseks protsessiks kationvahetus põhjavee ja ümbritsevate savikate kivimite vahel. Kogumi kaguosas põhjavee mineraalsus oluliselt kasvab ja seda valdavalt kloriidi ja sulfaadi ning nendega seotud naatriumi ja kaltsiumi kontsentratsioonide suurenemise arvelt. Sulfaadi allikaks põhjaveekogumis on peetud Narva lademes leiduvat kipsi (Karise jt., 2004).</p>	
--	--	---	--

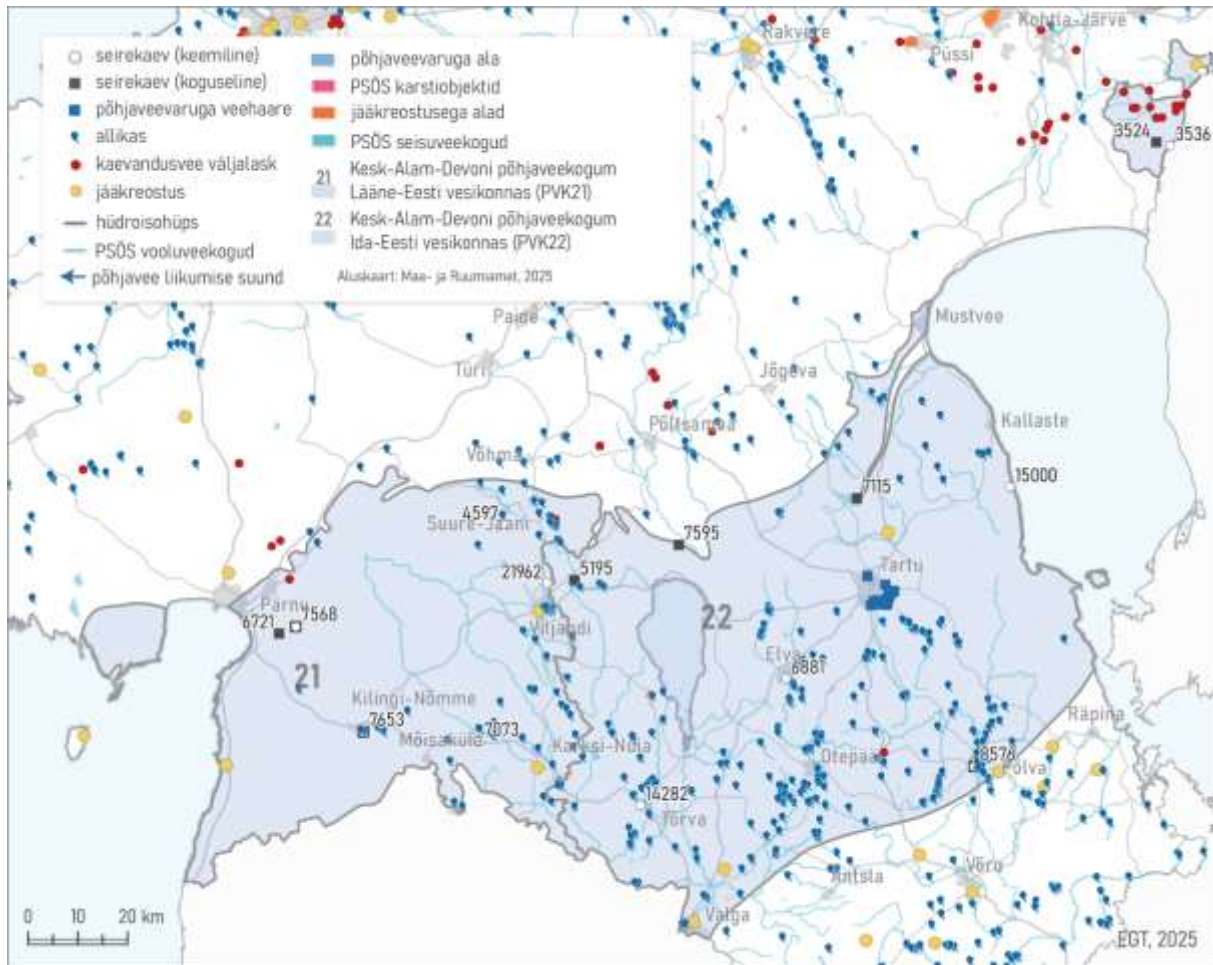
<u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	Vooluveekogud: <ul style="list-style-type: none"> • 1052600_2 Kullavere Imukvere oja suudmeni • 1053700_2 Kääpa Kaiu järvest suudmeni • 1039600_1 Laeva lähtest Loksu peakraavini • 1043400_1 Mudajõgi
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Seisuveekogud: <ul style="list-style-type: none"> • VEE2055600 Eere järv • VEE2065000 Raigastvere järv • VEE2065300 Saadjärv • VEE2057700 Särgjärv (Jõemõisa Särgjärv) • VEE2092400 Viisjaagu järv • VEE2092700 Vissi järv
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_095 Kariste-Marjassoo • PSMÖS_096 Ihamakingu luha äärsed soometsad • PSMÖS_098 Reku soometsad • PSMÖS_099 Kõrgeraba kraavi äärne soomets • PSMÖS_100 Võivikusoo • PSMÖS_101 Peenarsoo ja idapoolsed soometsad • PSMÖS_102 Palupõhja-Kulu vahelised soometsad • PSMÖS_103 Palupõhjust läände jääv soomets • PSMÖS_104 Intsuveski rabast kirdesse jääv soomets • PSMÖS_108 Kaiu soo • PSMÖS_122 Altnurga soometsad • PSMÖS_123 Utsalist lõunasse jäävad soometsad • PSMÖS_197 Puhatu soo • PSMÖS_248 Mustanina karjäärast itta jääv soomets • PSMÖS_526 Meleski rabast itta jäävad soometsad

Seisundi hinnang (Marandi jt.,	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

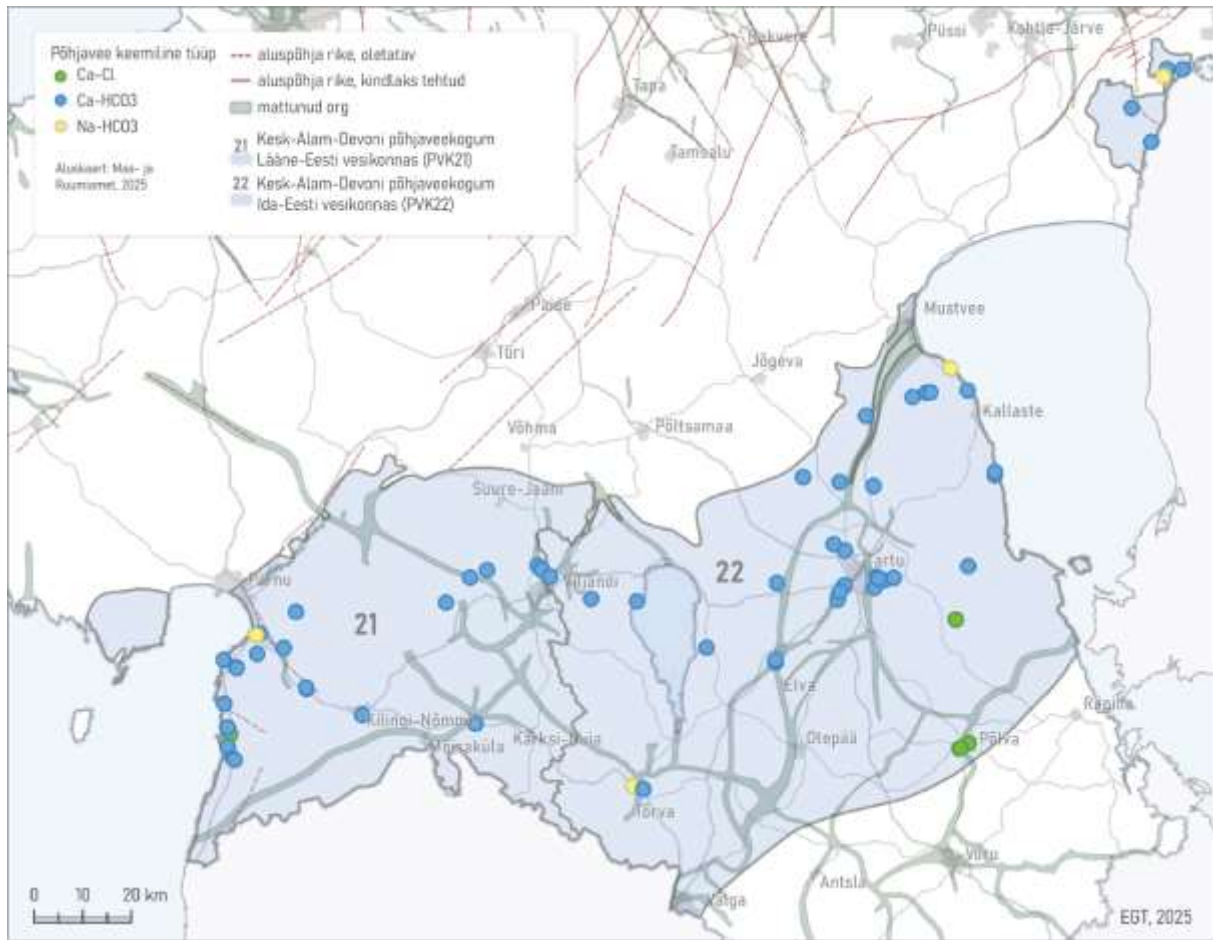
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	336699
	Põhjavee kinnitatud varu	10920
	Põhjaveevõtt 2017. a	6145
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	4775
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	325779
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	330554



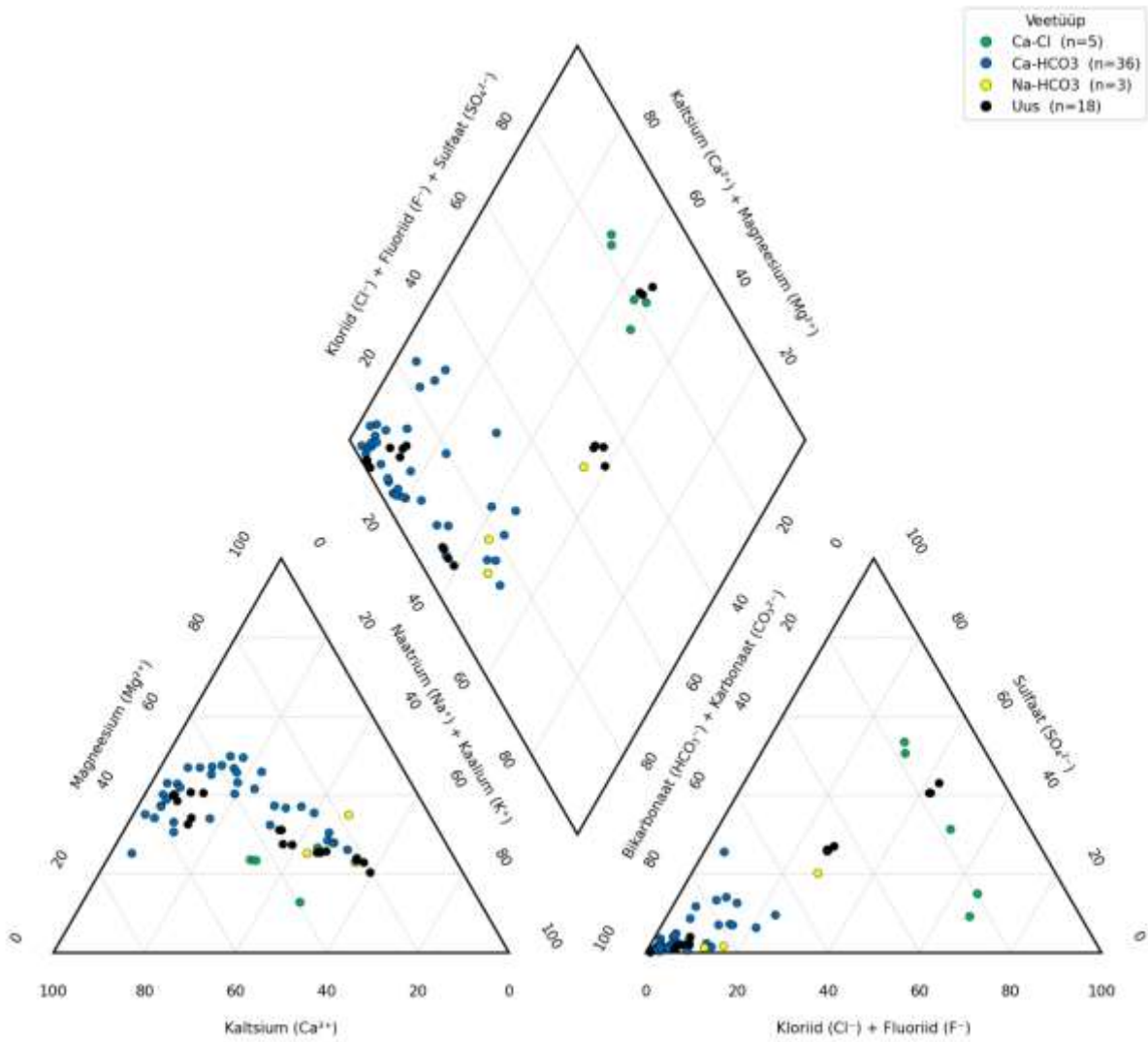
Joonis 1. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumi, Kesk-Alam Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna ning Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 18, 21-22, 23-24) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



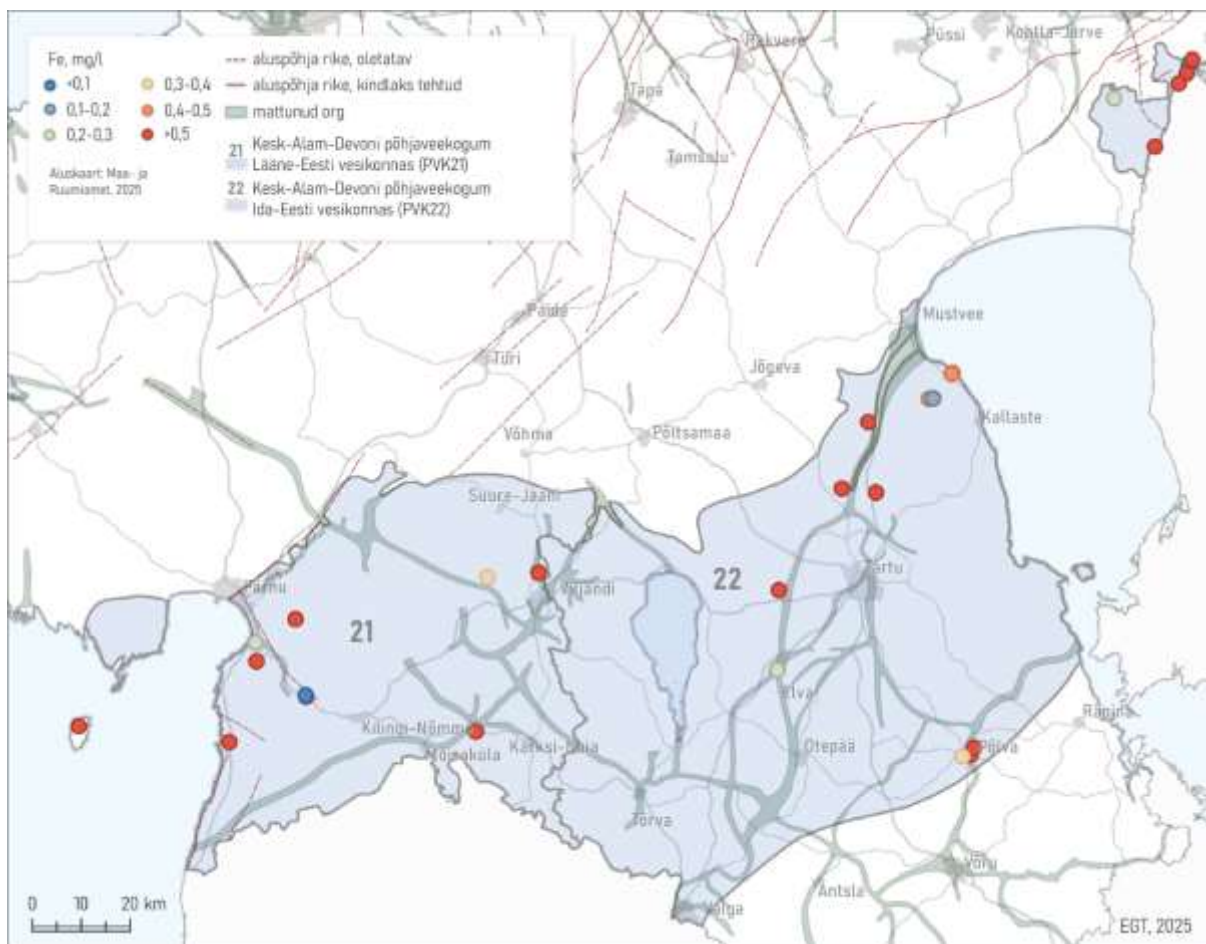
Joonis 2. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Kesk-Alam-Devoni Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 21 ja 22) pindalaline kontseptuaalne mudel.



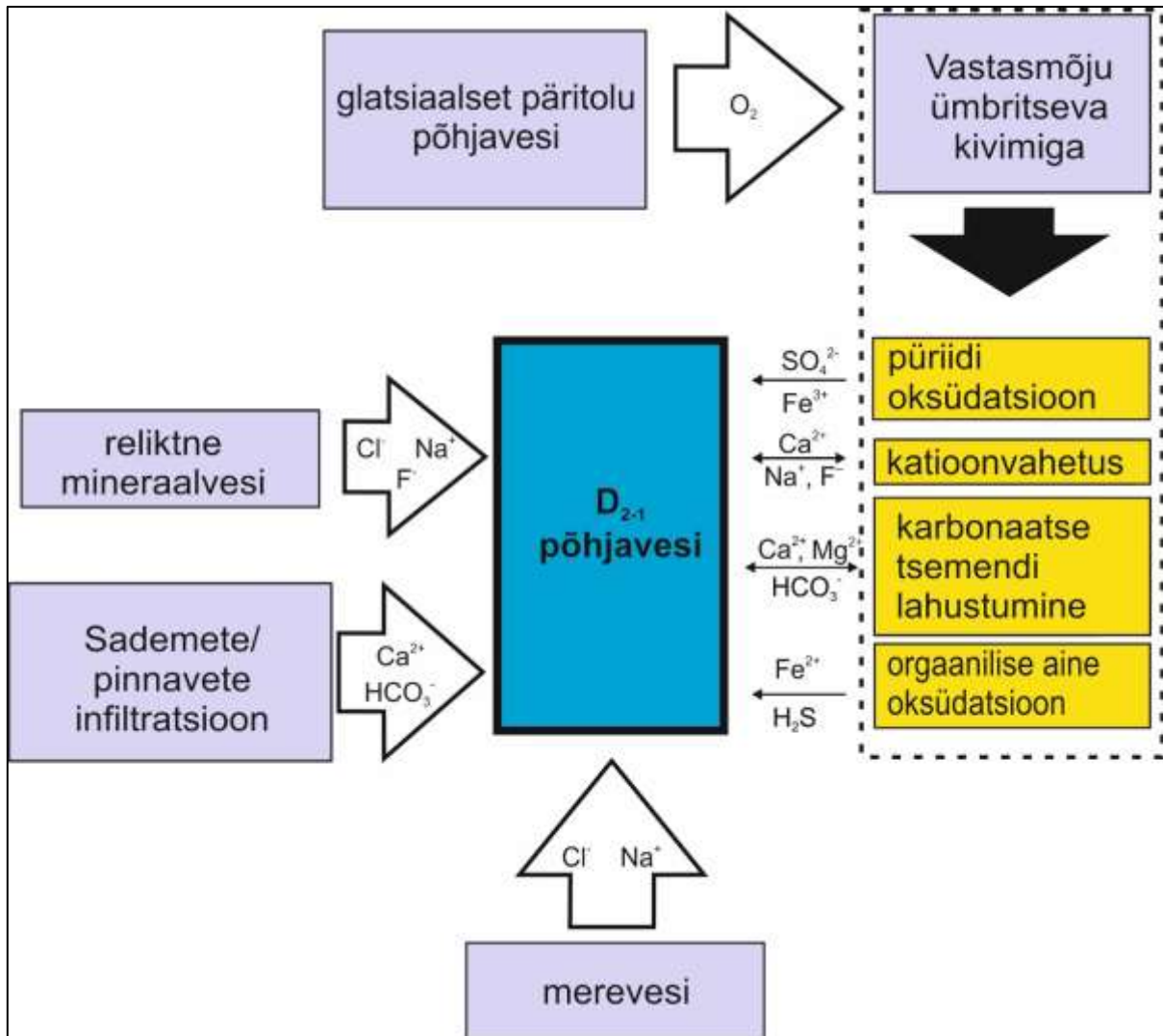
Joonis 3. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Kesk-Alam-Devoni Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Kesk-Alam-Devoni Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Kesk-Alam-Devoni Ruhnu, Kihnu, Lääne- ja Ida-Eesti vesikondade põhjaveekogumite (PVK nr. 19-22) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karise, V., Metsur, M., Perens, R., Savitskaja, L. & Tamm, I., 2004. Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse. Eesti Põhjaveekomisjon, Tallinn.
- Karro, E., Uppin, M., 2013. The occurrence and hydrochemistry of fluoride and boron in carbonate aquifer system, central and western Estonia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 3735–3748.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia* (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Polikarpus, M., Karro, E., Jõelett, A., Rooni, K., 2017. Tartu linna põhjaveevarude ümberhindamine aastani 2045. Tartu Ülikool, Tartu.
- Pärn, J., 2018. Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin. (Doktoritöö, Tallinna Tehnikaülikool). TTÜ Press, Tallinn.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1996. Ülem-keskdevoni veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Välkmann, S., Savva, V., Otsmaa, M., Boldõreva, N., Simm, D., 1992. Tartu põhjaveevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF 4606

PVK 23. Kesk-Devoni põhjaveekogum Lääne-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
23	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, saared ja rannik	Kvaternaari, Kesk-Devoni	Pärnumaa, Viljandimaa	2341

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Koosneb valdavalt Burtnieki ja Aruküla lademe valgest, kollakast või punakaspruunist liivakivist või aleuroliidist, mis sisaldavad savi vahekihte (Perens & Karro, 2008). Kogumi hulka loetakse ka Kesk-Devoni settekompleksi peal lasuvad Kvaternaari setted.	1
	Kogumi paksus	Põhjaveekogumi paksus muutub suurtes piirides, kuid üldiselt suureneb see lõuna ja kagu suunas kuni 80 meetrini (Perens & Karro, 2008). Arvestades savide rohkust kogumit moodustavate põhjaveekihtide litoloogilises koostises, on kogumi vettandev osa umbes 50% kogumi kogupaksusest (Perens & Karro, 2008)	1
	Lasuv veepide	Põhjaveekogum paikneb valdavalt maapinnalt esimestes aluspõhjalistes põhjaveekihtides, mis on kaetud suhteliselt paksu savikate Kvaternaari setete lasundiga, mille filtratsioonikoefitsient on valdavalt 0,01–1,0 m/ööpäevas.	1
	Lamav veepide	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Narva regionaalne veepide, transversaalse filtratsioonikoefitsiendiga 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas. Kohati on filtratsioonikoefitsient 10^{-6} m/ööpäevas või veelgi väiksem. Veepide koosneb savikast aleuroliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglist (Perens & Vallner, 1997).	1
	Põhjavee survepind	Veetase on valdavalt 10–15 m maapinnast kuid survepind on otseses sõltuvuses kohalikust reljeefist. Kogumi peamisel veelahkmealal, Sakala kõrgustikul on survepind kuni 34 m maapinnast (absoluutkõrgusel umbes 80 m) ja survepinna	2

		sügavus väheneb ranniku suunas vaid mõne meetrini. Rannikul võib põhjavee survepind kohati ulatuda ka üle maapinna ning põhjavesi väljub maapinnale allikate või arteesiakaevudena.	
Hüdrodünaamika	<i>Voolusuunad</i>	Põhjavee liikumise suunad on määratud eelkõige veelahkmelise Sakala kõrgustiku paiknemisest põhjaveekogumi idapiiril. Põhjaveekogumi regionaalne väljeala on Liivi laht, kuid põhjaveekogumi keskosas on oluliseks väljealaks ka Halliste jõe ürgorg. Osa põhjaveekogumi veest infiltreerub läbi allpool lamava Narva veepideme Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogumisse.	2
	<i>Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus</i>	Põhjaveekogumi lateraalne filtratsioonikoefitsient on üsna ühtlane, 1–3 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Tulenevalt kogumi paksuse suurest muutlikkusest on põhjaveekihtide veejuhtivus võrdlemisi varieeruv, jäädes enamasti vahemikku 100–500 m ² /ööpäevas. Puurkaevude erideebitid on valdavalt 0,4–1,0 L/s·m (Savitskaja jt., 1996; Perens jt., 2012). Sakala kõrgustikul on põhjavee lateraalne liikumiskiirus valdavalt 0,02–0,2 m/ööpäevas, transversaalse liikumise kiiruseks on hinnatud 0,001–0,005 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).	1
	<i>Toitumine ja režiim</i>	Kogumi peamiseks toitealaks on Sakala kõrgustik, kus toimub aastaringne põhjaveevool reljeefi madalamatesse piirkondadesse. Toitumise intensiivsus sõltub põhjaveekogumit katvate Kvaternaari setete koostisest. Põhjavee netoinfiltratsioon Sakala kõrgustikul jääb vahemikku 90-120 mm/ööpäevas (Vallner & Porman, 2016). Savika pinnakattega liigniisketel aladel põhjavee toitumist ei toimu või on see vähene. Üldiselt saab põhjaveetasemete aastases kõikumises täheldada kahte maksimumi (kevadine lumesulamise ja sügisene sademete rohke periood) ja kahte miinimumi (suvine suurenenud evapotranspiratsiooniga periood ja talvine madalate veetasemete periood). Põhjaveetaseme kõikumise amplituudid jäävad enamasti vahemikku 0,2-2,0 m (Perens jt., 2012).	2

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Kogumi põhjavees domineerib Ca-HCO₃-tüüpi vesi mineraalsusega 0,3–0,7 g/l. Kitsal rannikuribal, kus asub veekihi vete regionaalne väljavooluala, lisandub põhjavee keemilisse koostisse magneesium (Mg-HCO₃-veetüüp), kuna see vesi pärineb põhjaveekihi sügavamast osast, kus on toimunud ka dolomiidi või dolomiitse tsemendi lahustumine. Ranniku-piirkondades on merevee mõju (Cl > 250 mg/l) täheldatav vaid madalates, Narva veepideme ülemisse, murenenud ossa rajatud kaevudes.</p> <p>Nitraadi sisaldused põhjaveekihis on väikesed, jäädes üldjuhul alla 5 mg/l. Põhjaveekihis esinevad suured raua kontsentratsioonid (kuni 5 mg/L, keskmine 1,4 mg/L; joogivee piirsaldus 0,2 mg/L) tulenevalt ümbriskivimi koostisest (Karro jt., 2020; Tamm ja Leisk, 2024). Vaid rannikul võib esineda väikese rauasisaldusega põhjavett tänu luidetelt pärineva rauavaese vee lahjendavale mõjule. Põhjavee kasutamisel joogiveena võivad kohati olla probleemiks ka suuremad NH₄⁺ sisaldused (kuni 3 mg/l, keskmine 0,3 mg/l; joogivee piirsaldus 0,5 mg/L) eelkõige Arumetsa ürgoru suudmes ja soode naabruses (Raidla, 2024). Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm ja Leisk, 2024).</p>	3-5
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Kuna olulisi veepidemeid Kesk-Devoni põhjaveekihil ei lasu siis levib veekihis tänapäevastest sademetest tekkinud põhjavesi ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused - 11,3 kuni - 12,2‰; Savitskaja jt., 1996; Raidla jt., 2016; Vaikmäe jt., 2020) ning kogu veekiht kuulub aktiivse veevahetuse vööndisse. Kogumis leviva põhjavee keemiline koostis on valdavalt kujunenud liivakivide karbonaatses tsemendis esineva kaltsiidi (CaCO₃) või dolomiidi (CaMgCO₃)₂) lahustumisel värskelt infiltreerunud sademetevetega. Infiltreerumisel sügavamale on lisandunud dolomiidi lahustumine, mis on põhjavee keemilisse koostisesse lisanud magneesiumi. Rannikul, kus on täheldatav Na⁺ kontsentratsioonide suurenemine, võivad põhjavee keemilist koostist kujundada ka segunemisprotsessid</p>	6

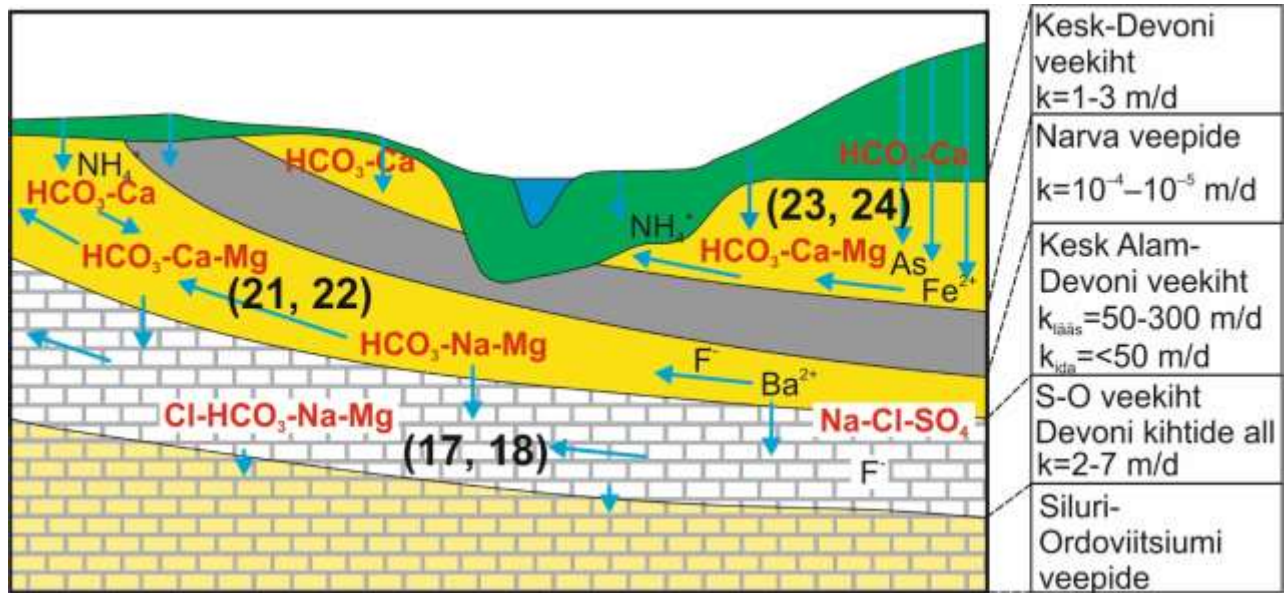
		mereveega (Raidla, 2024). Põhjavees esinev suur looduslik raua sisaldus viitab redutseerivate tingimuste esinemisele kogumiga seotud põhjaveekihtides.	
--	--	--	--

<u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	Vooluveekogud: <ul style="list-style-type: none"> • 1138400_1 Alva • 1136000_1 Halliste lähtest Lüütre ojani • 1136000_2 Halliste Lüütre ojast Raudna jõeni • 1140400_1 Kavaku • 1140900_1 Kõpu lähtest Õisu järveni • 1140900_2 Kõpu Õisu järvest suudmeni • 1140200_1 Kõõkmäe • 1153400_1 Lilli • 1139600_1 Orika • 1153200_1 Penuoja (Penuoja/Kolkup?te) • 1136300_1 Pöögle • 1139100_3 Raudna Lemmjõest suudmeni • 1139100_1 Raudna lähtest Sinialliku ojani • 1139100_2 Raudna Sinialliku ojast Lemmjõeni • 1153600_1 Ruhja (Ruhja/R?ja_1) • 1139900_1 Sinialliku • 1139200_1 Uueveski • 1153300_1 Vedäme
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Seisuveekogud: <ul style="list-style-type: none"> • VEE2090100 Kõverjärv (Pulli Kõverjärv) • VEE2098200 Muti järv • VEE2115300 Mäsajärv • VEE2083600 Sinialliku järv • VEE2089400 Turva järv • VEE2082800 Viljandi järv

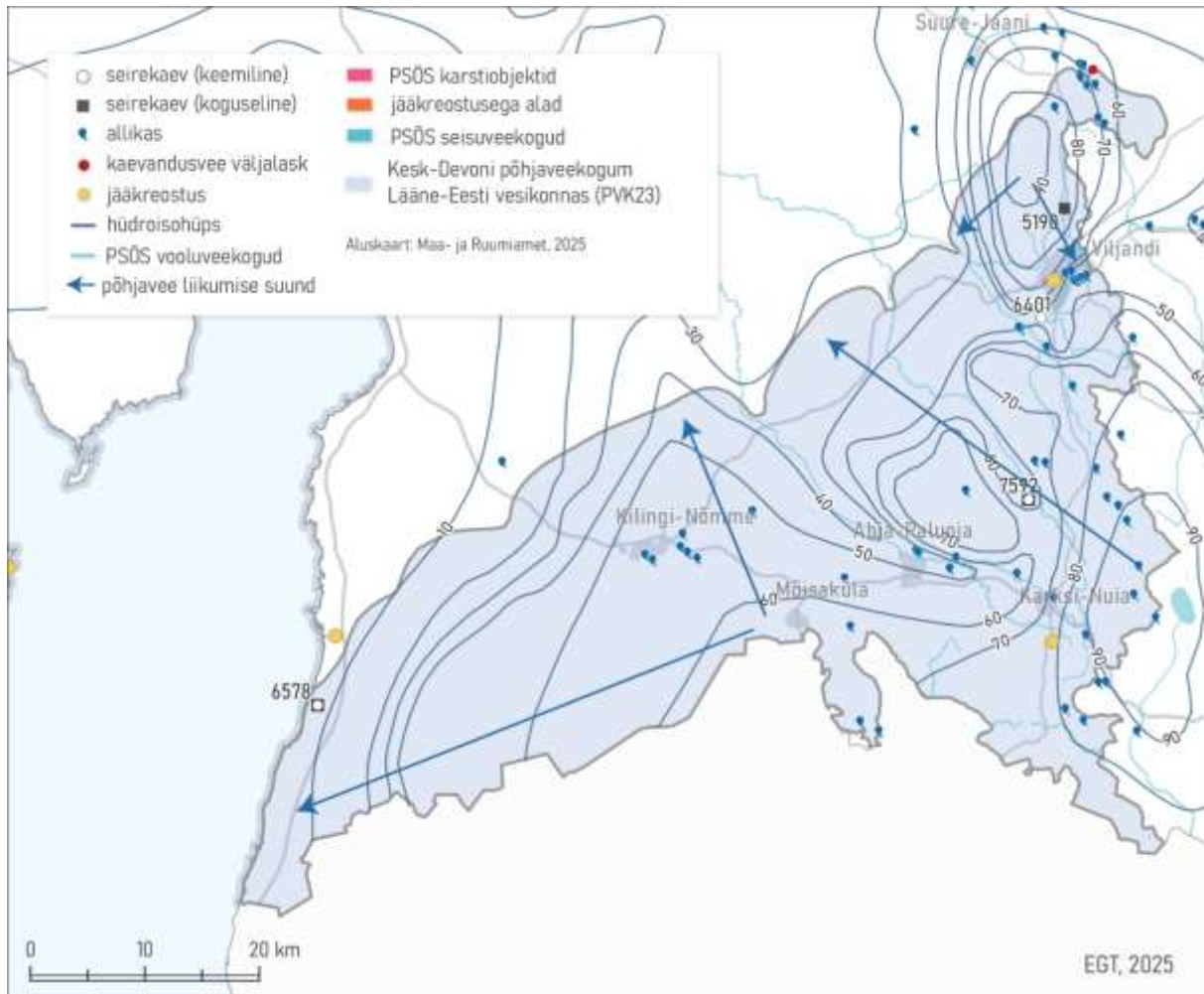
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_459 Majakalt kagusse jääv soomets • PSMÖS_460 Laulaste Mütsimetsa soovikumetsast läände jäävad soometsad • PSMÖS_461 Laulaste Mütsimetsa soovikumets • PSMÖS_462 Nepste Langi-tagune soomets • PSMÖS_463 Nigula soometsa põhjaosa • PSMÖS_464 Nigula soometsa lääneosa • PSMÖS_465 Nigula soometsa lõunaosa • PSMÖS_466 Nigula soometsa edelaosa • PSMÖS_509 Ereste luhasoo • PSMÖS_510 Kõvaküla allikasoo • PSMÖS_511 Allaste-Leeli allikasood • PSMÖS_512 Kaubi Miguri allikasoo • PSMÖS_513 Vana-Kariste allikasoo • PSMÖS_514 Lilli Kogra soomets • PSMÖS_515 Muti soo • PSMÖS_516 Muti lõunapoolne allikasoo • PSMÖS_518 Paistu soo põhjaosa • PSMÖS_521 Viljandi järve lõunakalda allikasood • PSMÖS_522 Päri allikasoo • PSMÖS_532 Hirmuküla allikasood • PSMÖS_533 Pärsi-Morna allikasoo • PSMÖS_534 Välgita soo
--	--	---

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

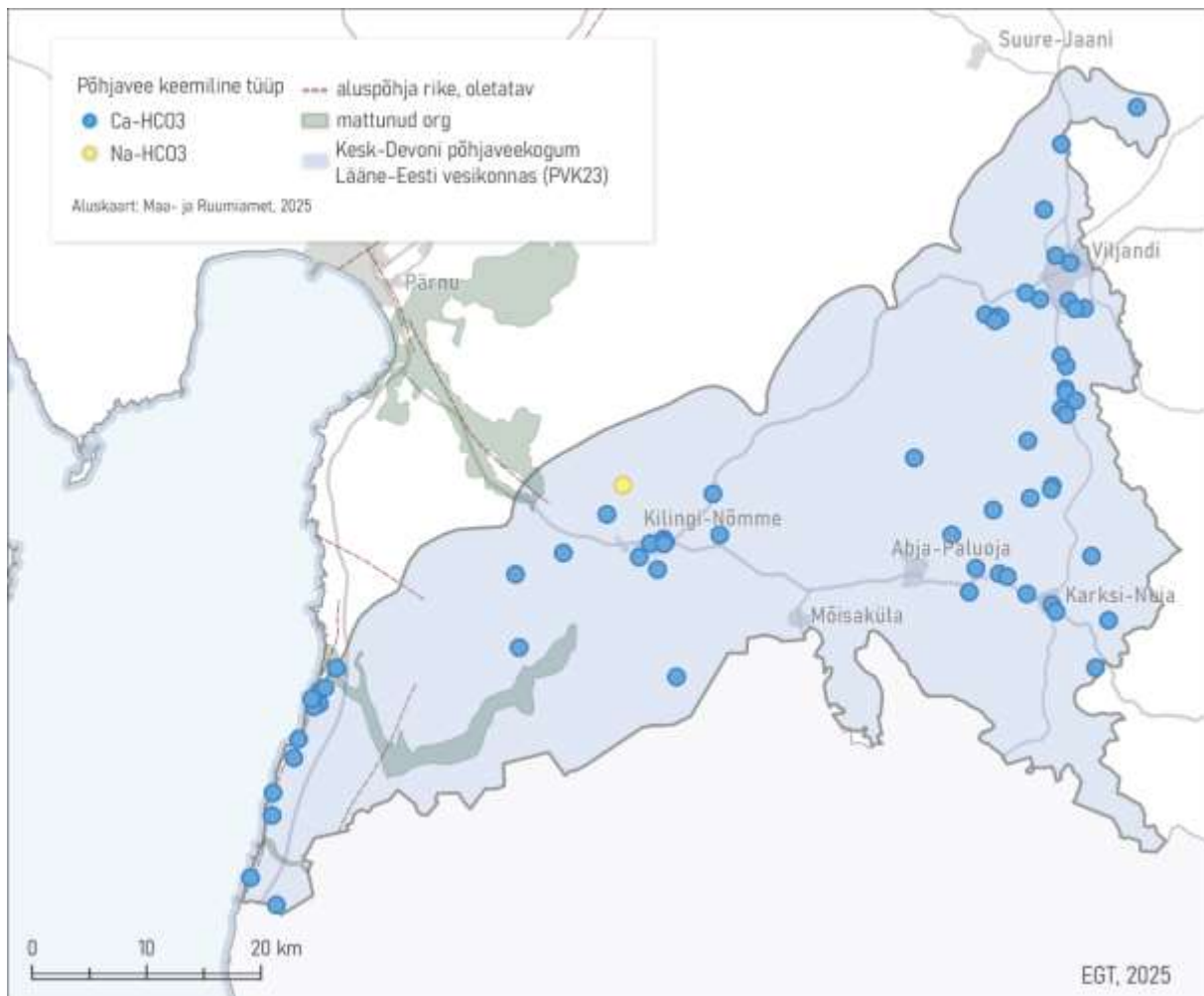
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	460246
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2017. a	543
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-543
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	460246
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	459703



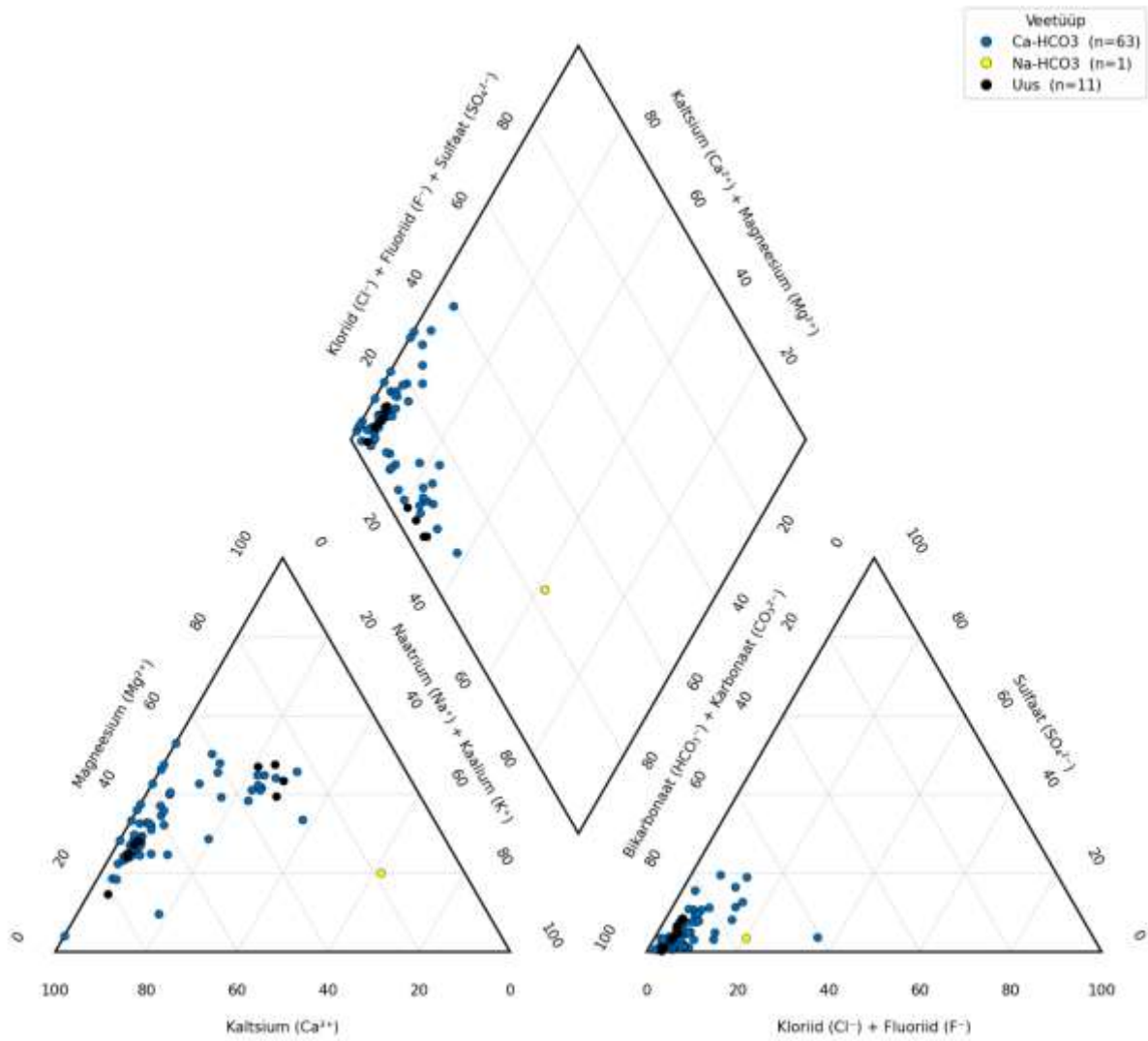
Joonis 1. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumi, Kesk-Alam Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna ning Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 18, 21-22, 23-24) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



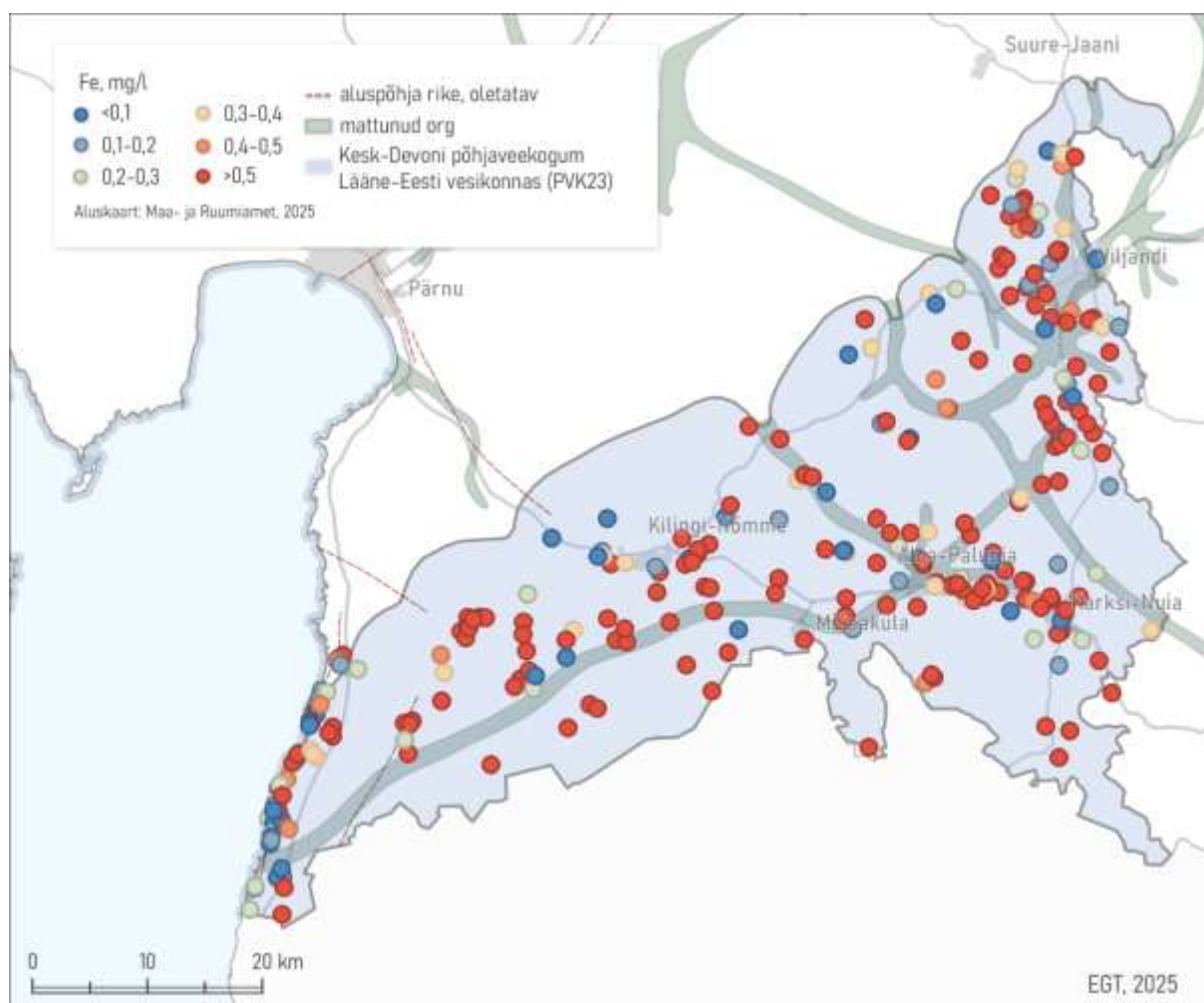
Joonis 2. Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumi (PVK nr. 23) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PKS – põhjaveekogumiga seotud.



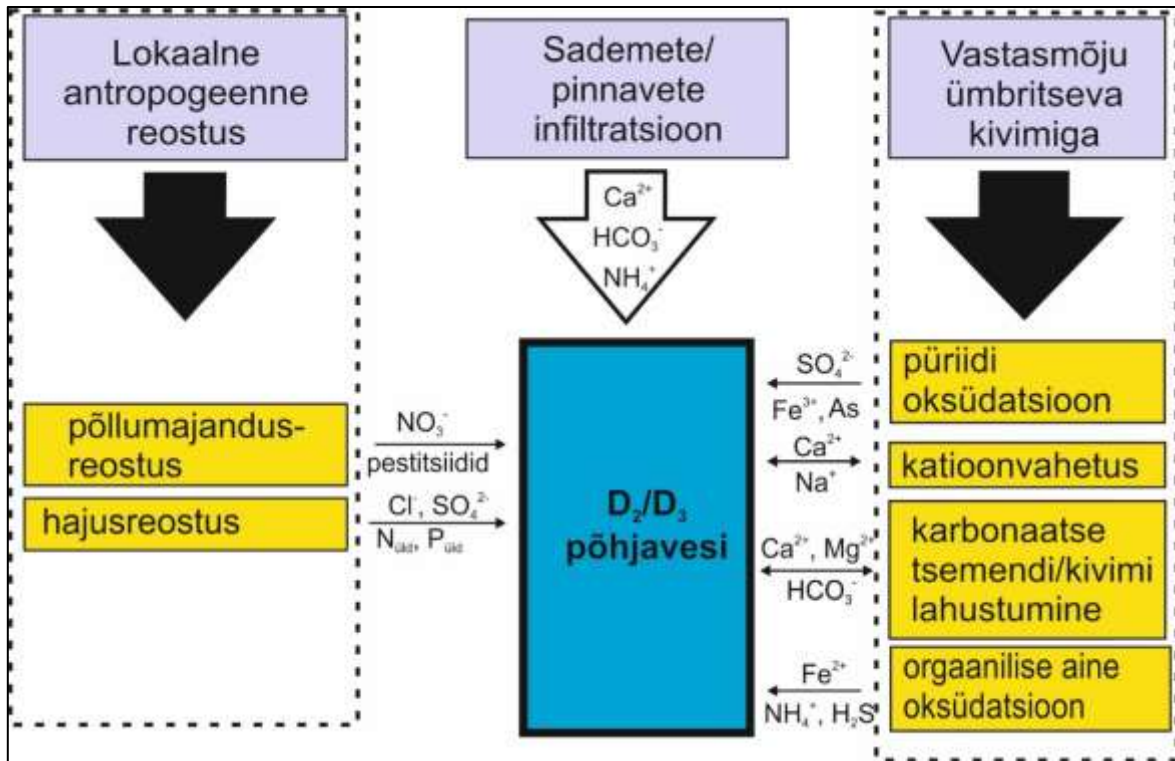
Joonis 3. Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna põhjaveekogumi põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Kesk-Devoni Ida-Eesti, Lääne-Eesti, Koiva vesikonna (D_2) ja Ülem-Devoni (D_3) põhjaveekogumite (PVK nr. 23–26) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karro, E., Veeperv, K., Hiiob, M., Uppin, M., 2020. The occurrence and geological sources of naturally high iron in the Middle Devonian aquifer system, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 69 (4), 281–294. DOI: 10.3176/earth.2020.17.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia* (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Raidla, V., 2024. Põhjavee keemiline koostis. Toim: Männik, M., Hunt, M., Raidla, V., Hints, L., Sarap, G.-S., Polikarpus, M., Habicht, H.-L. Seletuskiri Eesti geoloogilise baaskaardi Pärnu-Jaagupi (5334), Pärnu (5332), Häädemeeste (5314) ja Ikla (5312) hüdrogeoloogilistele ja põhjavee kaitstuse kaartidele. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. 27-36.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1996a. Ülem-keskdevoni veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>

PVK 24. Kesk-Devoni põhjaveekogum Ida-Eesti vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
24	Ida-Eesti vesikond	Avatud, liivakivi avamus	Kvaternaari, Kesk-Devoni	Viljandimaa, Tartumaa, Põlvamaa, Valgamaa, Võrumaa, Jõgevamaa	8755

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Koosneb Aruküla ja Burtnieki lademe valkjast kuni punakaspruunist liivakivist või aleuroliidist, mis sisaldab savi vahekihte. Kogumi põhjaosas on kogumi vettandvaks osaks ka Narva lademe Kernave kihistu peeneteraline liivakivide kiht. Kogumiga loetakse seotuks ka aluspõhjal lasuvad Kvaternaari veekihid, millest olulisimad on fluvioglatsiaalsetes setetes paiknevad veekihid (eriteraline kruus ja liiv ning kohati veerised) Tartu, Valga, Põlva ja Võru maakonnas (endised Kvaternaari Elva, Otepää, Piigaste-Kanepi ja Võru põhjaveekogumid nr. 35-38).		1
	<i>Kogumi paksus</i>	Kogumi paksus suureneb lõuna suunas 11 meetritl ~200 meetrini. Aluspõhjal lasuvate Kvaternaari põhjaveekihtide paksus on valdavalt 10-50 m (Perens jt., 2012).		1
	<i>Lasuv veepide</i>	Põhjaveekogumi moodustavad maapinnalt esimesed põhjaveekihid, milles esineb mitme meetri paksusi savikate Kvaternaari setete lasundeid, mille filtratsioonikoefitsient on valdavalt 0,01–1,0 m/ööpäevas.		1
	<i>Lamav veepide</i>	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Narva regionaalne veepideme savikad aleuroliidid, merglid, savid ja dolomiitmerglid transversaalse filtratsioonikoefitsiendiga 10^{-4} – 10^{-5} m/ööpäevas, kohati 10^{-6} m/ööpäevas või veelgi väiksem (Perens & Vallner, 1997).		1

	Põhjavee survepind	<p>Kogumi veelahkmealal, Otepää kõrgustikul on aluspõhjaliste Kesk-Devoni põhjaveekihtide survepind kuni 50 m maapinnalt (absoluutkõrgus 120 m). Peipsi järve ääres ulatub põhjavee survepind kohati üle maapinna ning esineb arteesiakaev. Aluspõhjaliste põhjaveekihtide survepinna sügavus on valdavalt 10–20 m maapinnalt.</p> <p>Kvaternaari põhjaveekihtides esineva valdavalt vabapinnaline põhjavesi paikneb maapinnast keskmiselt 3-10 m sügavusel (Perens jt., 2012).</p>	2
--	---------------------------	---	---

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	<p>Põhjaveekogumi keskosas domineerivad Otepää kõrgustikult lähtuvad radiaalsed põhjaveevoolud. Täiendav lõunast põhja suunduv põhjaveevool saab alguse Karula ja Haanja kõrgustikelt. Põhjavee väljealad on Peipsi järvistu ja suuremad jõed (Emajõgi, Väike-Emajõgi, Ahja jt). Põhjavesi infiltreerub transversaalse põhjaveevooluna ka allpool lamavasse Kesk-Alam-Devoni põhjaveekogumisse.</p>	2
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Põhjaveekogumi lateraalne filtratsioonikoefitsient on üsna ühtlane, 1–3 m/ööpäevas liivakivides ja 1-10 m/ööpäevas Kvaternaari setetes (Perens jt., 2012). Seevastu põhjaveekihtide veejuhtivus on võrdlemisi muutlik (30–300 m²/ööpäevas) suurenedes kogumi paksuse kasvuga lõunasuunas (Perens jt., 2012).</p> <p>Lõuna-Eesti kõrgustikel on hüdrauliline gradient valdavalt 0,0001–0,01 piires ja põhjavee lateraalne liikumiskiirus liivakivides on 0,02–0,2 m/ööpäevas, transversaalse liikumise kiiruseks on hinnatud 0,001–0,005 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Kvaternaari setetes on põhjavee lateraalne liikumiskiirus hinnatud vahemikku 0,001-0,15 m/ööpäevas (kruusas isegi 10-15 m/ööpäevas; Perens jt., 2012).</p>	1
	Toitumine ja režiim	<p>Otepää, Karula ja Haanja kõrgustikult kui põhilistelt toitealadelt toimub aastaringne põhjaveevool madalamatesse piirkondadesse. Põhjavee netoinfiltratsiooniks nendel kõrgustikel on hinnatud 90-150 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Toitumise intensiivsus sõltub põhjaveekogumit katvate Kvaternaari setete koostisest. Savika</p>	1

		pinnakattega liigniisketel aladel põhjavee toitumist ei toimu või on see vähene. Veetasemete kõikumise amplituudid jäävad põhjaveekihtides enamasti vahemikku 0,5–2,5 m.	
<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi põhjavesi on valdavalt Ca-HCO₃-tüüpi, vees lahustunud mineraalainete sisaldusega 0,2–0,6 g/L. Põhjavee kloriidide sisaldus on valdavalt <25 mg/L. Nitraatide sisaldus aluspõhjalistes põhjaveekihtides on väike, kuid allikates ja madalates Kvaternaari kaevudes esineb kohati joogivee piirsisaldusest suurema nitraadi sisaldusega põhjavett (kuni 90 mg/L; seirekaevude järgi keskmine sisaldus kogumis 26 mg/L; Koit jt., 2023; Tamm & Leisk, 2024). Sealjuures on liivakivide avamusalal infiltratsioon väiksem kui karbonaatkivimitega seotud nitraaditundlikul alal, mille tõttu võib mullast väljaleostuva NO₃⁻ sisaldus olla lokaalselt siin isegi suurem, sest pinnakattes esinevate põhjaveekihtide veevahetus on aeglane (Metsur & Tamm, 1994). Üldistatult võib öelda, et NO₃⁻ sisaldused, mis on suuremad kui 10 mg/L, ei ole looduslikku päritolu ja viitavad inimõjule. Kohati esinevad kogumi madalates kaevudes ja allikates ka suuremad PO₄³⁻ ja P_{üld} sisaldused (vastavalt 0,28 mg/L ja 0,18 mgP/L; Tamm ja Leisk, 2024).</p> <p>Joogivee seisukohast on kogumis üldiseks veekvaliteedi probleemiks suur looduslik raua sisaldus (kuni 26 mg/L, keskmine 1,4 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,2 mg/L; Karro jt., 2020). Põhjavee kasutamisel joogiveena võivad kohati probleemiks olla ka suuremad NH₄⁺ sisaldused (kuni 2 mg/L, keskmine 0,2 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,5 mg/L). Looduslik sulfaadi sisaldused põhjavees võivad ulatuda kuni ~150 mg/L.</p> <p>Kogumi põhjaosas, Rannu–Kallaste teljel on piirkond, kus arseeni sisaldused on suuremad kui joogiveele kehtestatud piirsisaldus 10 µg/L (max 26 µg/L; Karro jt., 2022). Piirkond kulgeb enamvähem paralleelselt Aruküla lademe avamuse piiriga. Ennekõike esinevad suuremad arseeni sisaldused puurkaevudes, mis on vähemal või rohkemal määral avatud ka Narva lademe</p>	3-6

		<p>savikatesse kivimitesse (Karro jt., 2022). Lisaks arseenile võib kogumis leiduda looduslikke raskemetallide sisaldusi (nt Ni, Mo), mis ületavad ohtlikele ainetele kehtestatud künnisarve (Savitskaja jt., 1996). Looduslikult baariumi sisaldused võivad kogumi lõunaosa Kesk-Devoni põhjaveekihtides küündida kuni 1000 µg/L (Koit j., 2023). Ba allikaks on K-päevakivide lahustumine (Raidla jt., 2026).</p> <p>Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm & Leisk, 2024).</p>	
	<p><i>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</i></p>	<p>Kuna olulisi veepidemeid põhjaveekogumil ei lasu, levib kogumis tänapäevastest sademetest tekkinud põhjavesi. Seda kinnitavad ka mõõdetud $\delta^{18}\text{O}$ väärtused (–10,5 kuni –13,2‰), mis on sarnased tänapäevastele sademetele (Välkmann jt., 1992; Savitskaja jt., 1996; Raidla jt., 2016; Vaikmäe jt., 2020; Koit jt., 2023). Nende väärtuste järgi kuulub kogum pigem aktiivse veevahetuse vööndisse. Kogumi keemiline koostis on valdavalt kujunenud Devoni liivakivide kaltsiit-tsemendi (CaCO_3) lahustumisel värskelt infiltreerunud pinnavete toimet. Infiltreerumisel sügavamale on lisandunud dolomiidi lahustumine, mis on põhjavee keemilisse koostisse lisanud Mg^{2+}. Kvaternaari setete Ca-HCO_3-tüüpi koostis pärineb moreenis sisalduvatest karbonaatsetest mineraalidest. Põhjavees esinev suur looduslik raua sisaldus viitab redutseerivate tingimuste esinemisele kogumiga seotud põhjaveekihtides. Sulfaadi allikaks on tõenäoliselt püriidi oksüdatsioon. Kohati tuvastatud suuremad arseni sisaldused võivad olla seotud Devoni savides esinevate raua oksiidide, hüdroksiidide ja püriidiga, kus arseen võib esineda jälgelemendilise lisandina (Karro jt., 2022).</p>	7

<p style="text-align: center;"><u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p style="text-align: center;">Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1047200_2 Ahja Hilba jõest Tartu-Räpina-Väraska maantee sillani • 1047200_1 Ahja lähtest Hilba jõeni • 1047200_3 Ahja Tartu-Räpina-Väraska maantee sillast suudmeni • 1040900_2 Amme Kaiavere järvest suudmeni • 1009500_1 Antsla Ojalepä ojani • 1009500_2 Antsla Ojalepä ojust suudmeni • 1036500_1 Elva Kaarnaajani • 1036500_2 Elva Kaarnaajast suudmeni • 1039000_1 Ilmatsalu • 1005100_1 Iskna • 1015300_1 Jõku • 1036800_1 Kaarnaaja • 1051200_1 Kargaja lähtest Rehemetsa peakraavini • 1004900_1 Karioja (Võhandu) • 1036200_1 Kavilda lähtest Uueküla-Annikoru teeni 22163 • 1036200_2 Kavilda Uueküla-Annikoru teest 22163 suudmeni • 1004600_1 Koreli • 1053700_1 Kääpa lähtest Kaiu järveni • 1010000_2 Lambahanna Kobela-Antsu teest 25252 suudmeni • 1010000_1 Lambahanna lähtest Kobela-Antsu teeni 25252 • 1047900_1 Leevi Piigaste-Sulaoja maantee sillani • 1047900_2 Leevi Piigaste-Sulaoja maantee sillast suudmeni • 1049500_1 Lutsu lähtest Varrõperä ojani • 1049500_2 Lutsu Varrõperä ojust suudmeni • 1045700_1 Mõra • 1006600_1 Mäda jõgi lähtest Rebasmäe ojani • 1006600_2 Mäda jõgi Rebasmäe ojust suudmeni • 1048800_1 Orajõgi lähtest Põlva ringteeni 87 • 1048800_2 Orajõgi Põlva ringteest 87 suudmeni • 1012100_3 Pedeli Pika tn sillast suudmeni • 1012100_2 Pedeli riigipiirist Pika tn sillani (Pedele_2/Pedeli_2) • 1012600_1 Piiri • 1000200_2 Piusa Tõiva ojust suudmeni • 1044400_1 Porijõgi lähtest Sipe ojani
--	---	--

		<ul style="list-style-type: none"> • 1044400_2 Porijõgi Sipe ojast suudmeni • 1013100_1 Purtsi • 1021200_1 Pühaste • 1012300_1 Rautina • 1021500_1 Rõngu • 1016500_1 Tarvastu • 1001900_1 Tuhkvitsa lähtest Tuhkvitsa paisuni • 1018000_2 Tännasilma Äрма jõest suudmeni • 1007200_1 Veerksu • 1018200_1 Viru • 1009200_1 Visela lähtest Visela-Kassi teeni 25107 • 1009200_2 Visela Visela-Kassi teest 25107 suudmeni • 1003000_1 Võhandu lähtest Pühajõeni • 1003000_5 Võhandu Paidra paisust Virosi ojani • 1003000_2 Võhandu Pühajõest Vagula järveni • 1003000_7 Võhandu Röpina paisust suudmeni • 1003000_4 Võhandu Vagula järvest Paidra paisuni • 1003000_6 Võhandu Virosi ojast Röpina paisuni • 1008200_1 Väike Emajõgi lähtest Pringi-Restu teeni 23136 • 1008200_3 Väike Emajõgi Pedeli jõest suudmeni • 1008200_2 Väike Emajõgi Pringi-Restu teest 23136 Pedeli jõeni • 1004700_1 Väiso • 1013700_2 Õhne Ikepera ojast Käärilmäe-Koorküla maantee Koorküla sillani (Õhne_2/Om • 1013700_3 Õhne Käärilmäe-Koorküla maantee Koorküla sillast suudmeni • 1013700_1 Õhne lähtest Ikepera ojani • 1018300_1 Ärmä lähtest Virastuojani • 1018300_2 Ärmä Virastuojast suudmeni • 1010200_1 Ärnu
--	--	---

	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	<ul style="list-style-type: none"> • VEE2084700 <i>Agali järv</i> • VEE2102200 <i>Ahvenjärv (Päidla Ahvenjärv)</i> • VEE2092100 <i>Asema järv</i> • VEE2113900 <i>Beresje Umbjärv</i> • VEE2130520 <i>Hilibiniidü järv</i> • VEE2090400 <i>Holstre järv</i> • VEE2120000 <i>Inni järv</i> • VEE2103800 <i>Jaanuse järv</i> • VEE2117300 <i>Jäävä järv</i> • VEE2133300 <i>Kaadsijärv</i> • VEE2059100 <i>Kaanjärv (Alatskivi Kaanjärv)</i> • VEE2138600 <i>Kaasjärv</i> • VEE2115700 <i>Kadajärv</i> • VEE2118400 <i>Kadastiku järv</i> • VEE2129100 <i>Kalijärv (Lasva Kalijärv)</i> • VEE2101700 <i>Kalmejärv</i> • VEE2084300 <i>Karijärv</i> • VEE2127500 <i>Karsna järv</i> • VEE2120700 <i>Kauru järv</i> • VEE2121000 <i>Kirgjärv</i> • VEE2132900 <i>Kogröjärv (Tohvri Kogröjärv)</i> • VEE2105600 <i>Koljaku järv</i> • VEE2135100 <i>Konnumäe järv</i> • VEE2132700 <i>Korijärv / Koosa järv</i> • VEE2082900 <i>Kosilase järv</i> • VEE2058800 <i>Kuningvere järv</i> • VEE2100400 <i>Kurejärv</i> • VEE2121800 <i>Kuritse järv</i> • VEE2103700 <i>Kurnakese järv</i> • VEE2116900 <i>Kuulja järv</i> • VEE2101500 <i>Köverjärv (Päidla Köverjärv)</i> • VEE2123200 <i>Kövvõrjärv (Kooraste Kövvõrjärv)</i> • VEE2105100 <i>Kärnjärv (Otepää Kärnjärv)</i> • VEE2128500 <i>Kärnjärv (Pindi Kärnjärv)</i> • VEE2145300 <i>Külajärv (Plaani Külajärv)</i> • VEE2117900 <i>Laanemõtsa järv</i> • VEE2129400 <i>Leeväti järv</i> • VEE2093201 <i>Linajärv</i> • VEE2116700 <i>Linaleojärv</i> • VEE2134800 <i>Linnajärv (Karula Linnajärv)</i> • VEE2124100 <i>Löödla järv</i> • VEE2114000 <i>Lüübnitsa Umbjärv</i>
--	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> • VEE2133800 Mikilä järv • VEE2083200 Mudajärv (Nõmme Mudajärv) • VEE2102000 Mõisajärv (Päidla Mõisajärv) • VEE2101200 Mõrtsuka järv • VEE2104800 Mäha järv • VEE2116010 Nauska järv • VEE2118900 Nihujärv • VEE2101300 Nõuni järv • VEE2105200 Nüpli järv • VEE2128400 Paidra järv • VEE2109900 Palojärv (Ihamaru Palojärv) • VEE2100600 Pangodi järv • VEE2105000 Peräjärv (Arula Peräjärv) • VEE2142300 Peräjärv (Plaani Peräjärv) • VEE2116600 Petäjärv • VEE2108400 Piigandi järv • VEE2128200 Pikkjärv (Tsolgo Pikkjärv) • VEE2117100 Pikre järv • VEE2104200 Pilkuse järv • VEE2106300 Pugu järv • VEE2099700 Põhtjärv • VEE2144100 Põldalotsõ järv • VEE2100500 Päästjärv • VEE2119800 Pülme järv • VEE2132300 Rautina järv • VEE2115600 Riiska järv • VEE2117000 Roksi järv • VEE2116000 Rooni järv • VEE2101600 Räbi järv • VEE2130510 Saarõpää järv • VEE2117400 Sarapuu järv • VEE2106500 Savijärv (Ivaste Savijärv) • VEE2133000 Savijärv (Karula Savijärv) • VEE2111300 Sikuti järv • VEE2139300 Soodi järv / Vodi järv • VEE2102100 Suurjärv / Näkijärv • VEE2084800 Tamme järv • VEE2129510 Tegova järv • VEE2133600 Tollari järv • VEE2104300 Trepimäe järv • VEE2117700 Udsu järv • VEE2121600 Uhtjärv
--	--	---

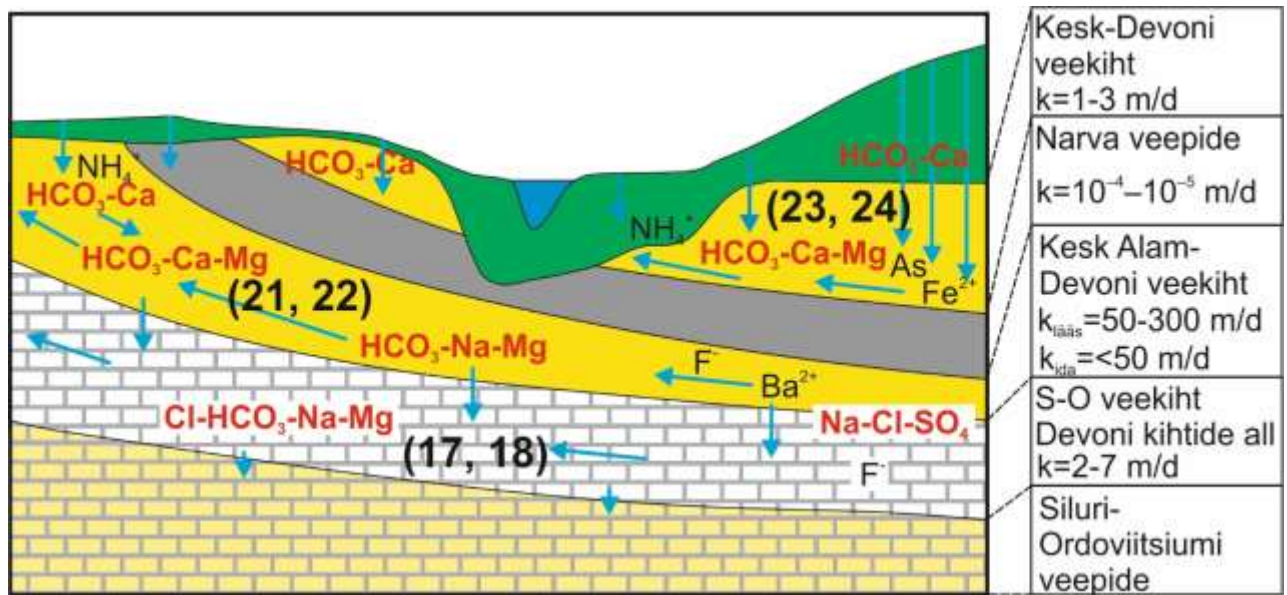
		<ul style="list-style-type: none"> • VEE2123800 <i>Uiakatsi järv</i> • VEE2100700 <i>Umbjärv (Illi Umbjärv)</i> • VEE2107700 <i>Valgjärv (Otepää Valgjärv)</i> • VEE2118000 <i>Valgjärv (Koorküla Valgjärv)</i> • VEE2129700 <i>Valgõjärv (Nohipalo Valgõjärv)</i> • VEE2100000 <i>Vanamõisa järv (Tõrva Vanamõisa järv)</i> • VEE2144300 <i>Vaskna järv</i> • VEE2099400 <i>Veisjärv</i> • VEE2134300 <i>Viitka järv</i> • VEE2117200 <i>Vilgjärv</i> • VEE2117800 <i>Virtsjärv</i> • VEE2108500 <i>Vähkjärv (Piigandi Vähkjärv)</i> • VEE2118910 <i>Väike Nihujärv</i> • VEE2100800 <i>Väike Umbjärv (Illi Väike Umbjärv)</i> • VEE2133210 <i>Väikene Mustjärv</i> • VEE2133500 <i>Õdri järv</i> • VEE2085300 <i>Äijärv (Kalli Äijärv)</i> • VEE2139500 <i>Üvvärjärv</i>
--	--	--

	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_001 Sauniku oja (Kuningaoja) lähtesoo • PSMÖS_002 Mülke soo • PSMÖS_048 Ojajärve soo ja ümbritsevad kuplitevahelised sood • PSMÖS_049 Visela allikasood • PSMÖS_051 Puusepa lammisoo • PSMÖS_052 Raagsilla oja äärne allikasoo • PSMÖS_053 Tabina järvesoo • PSMÖS_054 Mustoja lammisood • PSMÖS_055 Määsovitsa-Velna-Podmotsa sood • PSMÖS_056 Lüübnitsa-Beresje-Audjassaare sood • PSMÖS_057 Rápina poldri sooniidud • PSMÖS_058 Niitsiku allikasood • PSMÖS_059 Järvepää-Pääväkese lammisood • PSMÖS_060 Kahkva-Niitsiku allikasood ja sooniidud • PSMÖS_065 Mõtuse oja äärne soomets • PSMÖS_066 Rubine soomets • PSMÖS_067 Soontaga Emajõe-äärne allikasoo • PSMÖS_068 Kooba oja allikasoo • PSMÖS_069 Kortina soo • PSMÖS_070 Päidlapalu suur allikasoo • PSMÖS_071 Tinni oja allikasoo • PSMÖS_072 Kolmjärve-Tõukajärve sood • PSMÖS_073 Mägestikult kirdesse jäävad soometsad • PSMÖS_074 Palu jõe äärsed soometsad • PSMÖS_075 Rostepää sooniit • PSMÖS_076 Veerksu oja allikasoo • PSMÖS_077 Petsopehme soo • PSMÖS_078 Parapalo soo • PSMÖS_079 Pedaspää soomets • PSMÖS_080 Piirissaare sood • PSMÖS_081 Ahja jõe äärsed madal-sood • PSMÖS_082 Viisli lammisoo • PSMÖS_083 Kavandult läände jääv soo • PSMÖS_084 Nõo Karujärve kagukalda soo • PSMÖS_085 Tatra lammisoo • PSMÖS_086 Tatra jõe alalmjooksu lammisood • PSMÖS_087 Vana-Kuuste põhjapoolne madal-soo • PSMÖS_088 Reola jõe lammisoo • PSMÖS_089 Aardla soo • PSMÖS_090 Aardlapalu soo • PSMÖS_091 Keeri-Karijärve sood
--	--	--

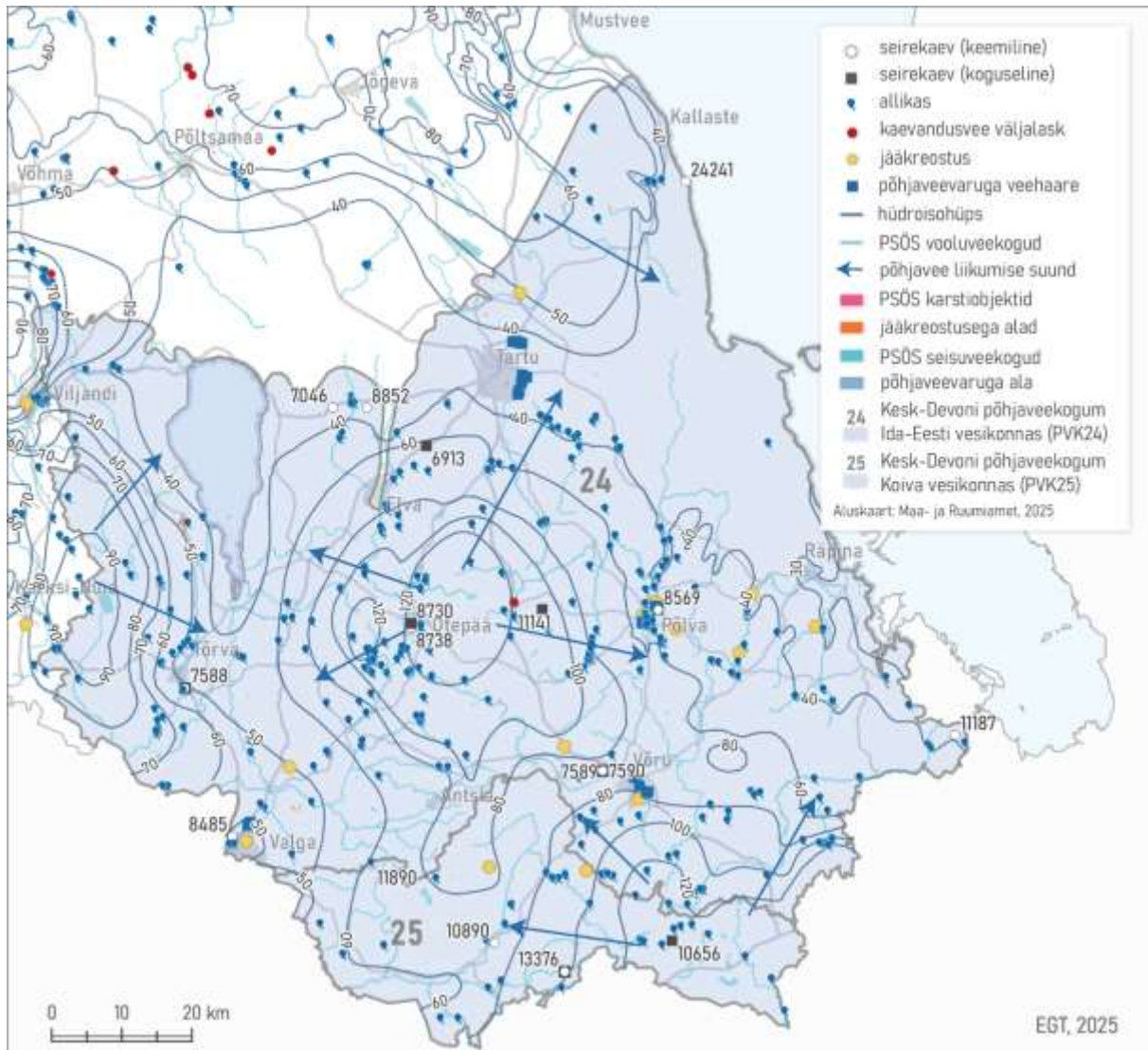
		<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_092 Mäeotsa-Mäeselja luhasoo • PSMÖS_093 Kannu luhasoo • PSMÖS_094 Amme jõe luhasoo • PSMÖS_097 Verevi-Sangla soometsad • PSMÖS_105 Alajõest loodesse jäävad soometsad • PSMÖS_106 Selgiselt lõunasse jäävad soometsad • PSMÖS_107 Välgi-Kivinõmme soomets • PSMÖS_109 Ahunapalust itta jääv soomets • PSMÖS_110 Emajõe Suursoo lääneosa soometsad • PSMÖS_111 Pruksi oja allikasoo • PSMÖS_112 Rebaste soo • PSMÖS_124 Pühaste Kurematsi allikasoo • PSMÖS_125 Illi allikasood • PSMÖS_126 Praaga mets • PSMÖS_127 Osõtsuu • PSMÖS_128 Väänastu oja soo • PSMÖS_129 Luke-Kolga allikasoo • PSMÖS_130 Mammaste allikasood • PSMÖS_131 Veerksu oja allikasood • PSMÖS_132 Käooru allikasood • PSMÖS_517 Paistu soo keskosa • PSMÖS_519 Mõnnaste-Mustapali luhasoo • PSMÖS_520 Viljandi-Väikemõisa luhasoo • PSMÖS_523 Tännasilma Pendre madalsoomets • PSMÖS_524 Tammissaare soo ja Parika raba lõunaosade vahele jääv soomets • PSMÖS_581 Ruudiküla-Vasara luhasoo
--	--	---

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Halb Test 1 tulemusena halvas seisundis: kahes seirekaevus on ületatud NH ₄ ⁺ sisaldusele kehtestatud piirväärtus (0,5 mg/l), ning üksikud pestitsiidide määrangud 3 seirekaevust (7588, 7589, 8569), mille mõjuulatus on summaarselt üle 20 % ning mille 6 a keskmised pestitsiidide sisaldused on üle piirväärtuse.
	Üldseisund	Halb

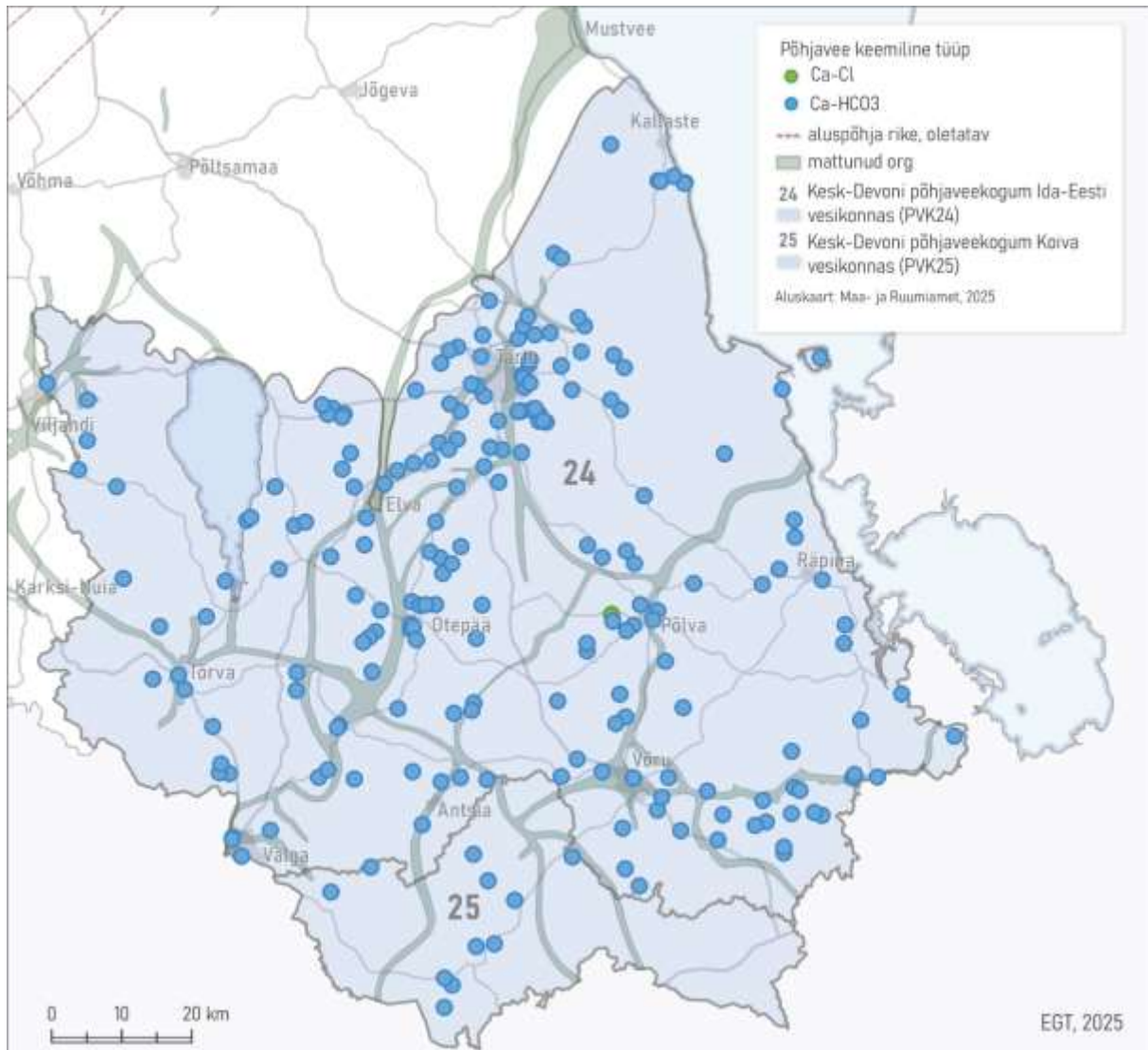
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	2228835
	Põhjavee kinnitatud varu	16235
	Põhjaveevõtt 2023. a	12352
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	3883
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	2212600
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	2216483



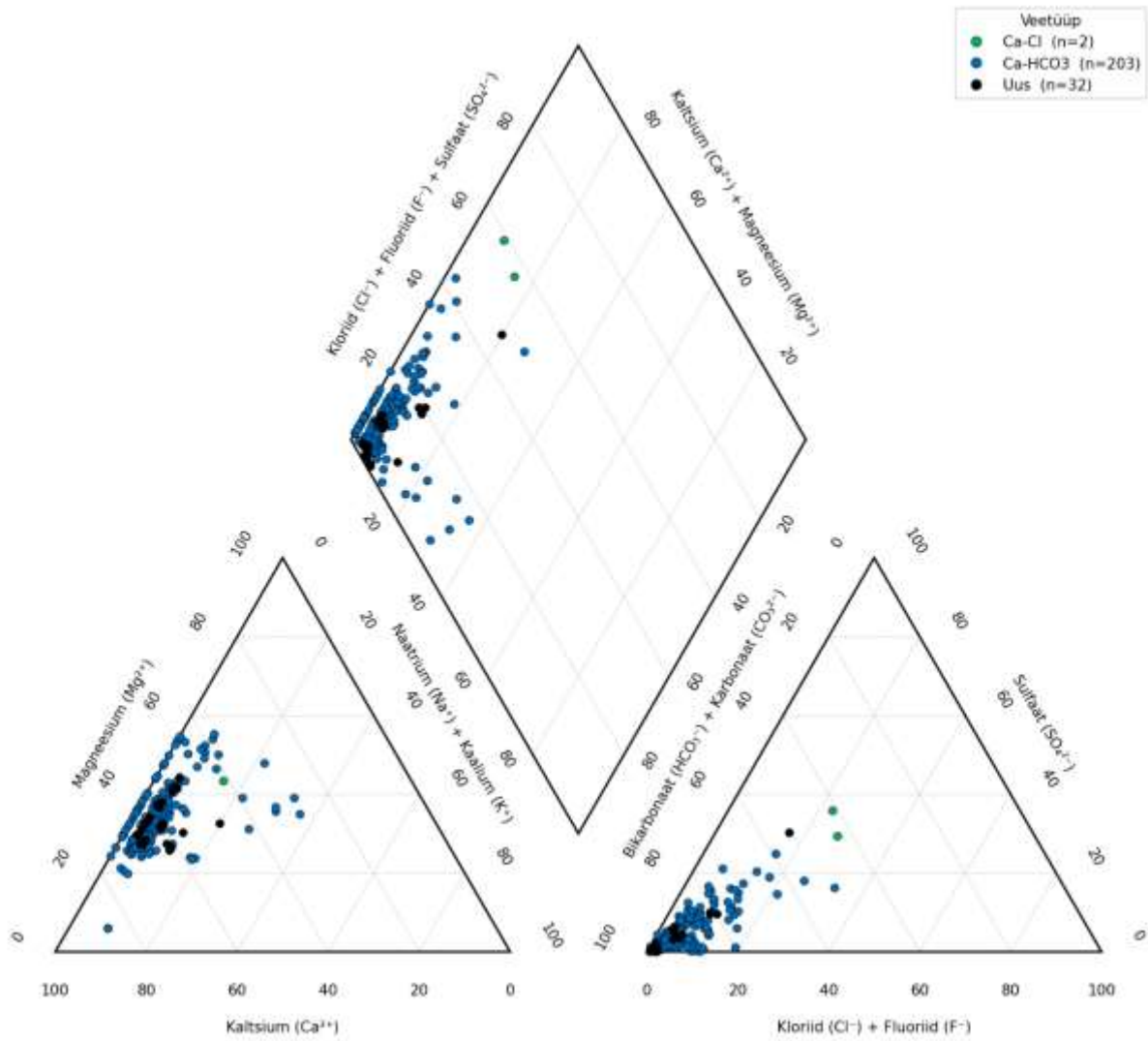
Joonis 1. Devoni kihtide all paikneva Siluri-Ordoviitsiumi Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumi, Kesk-Alam Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna ning Kesk-Devoni Lääne-Eesti vesikonna ja Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 18, 21-22, 23-24) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



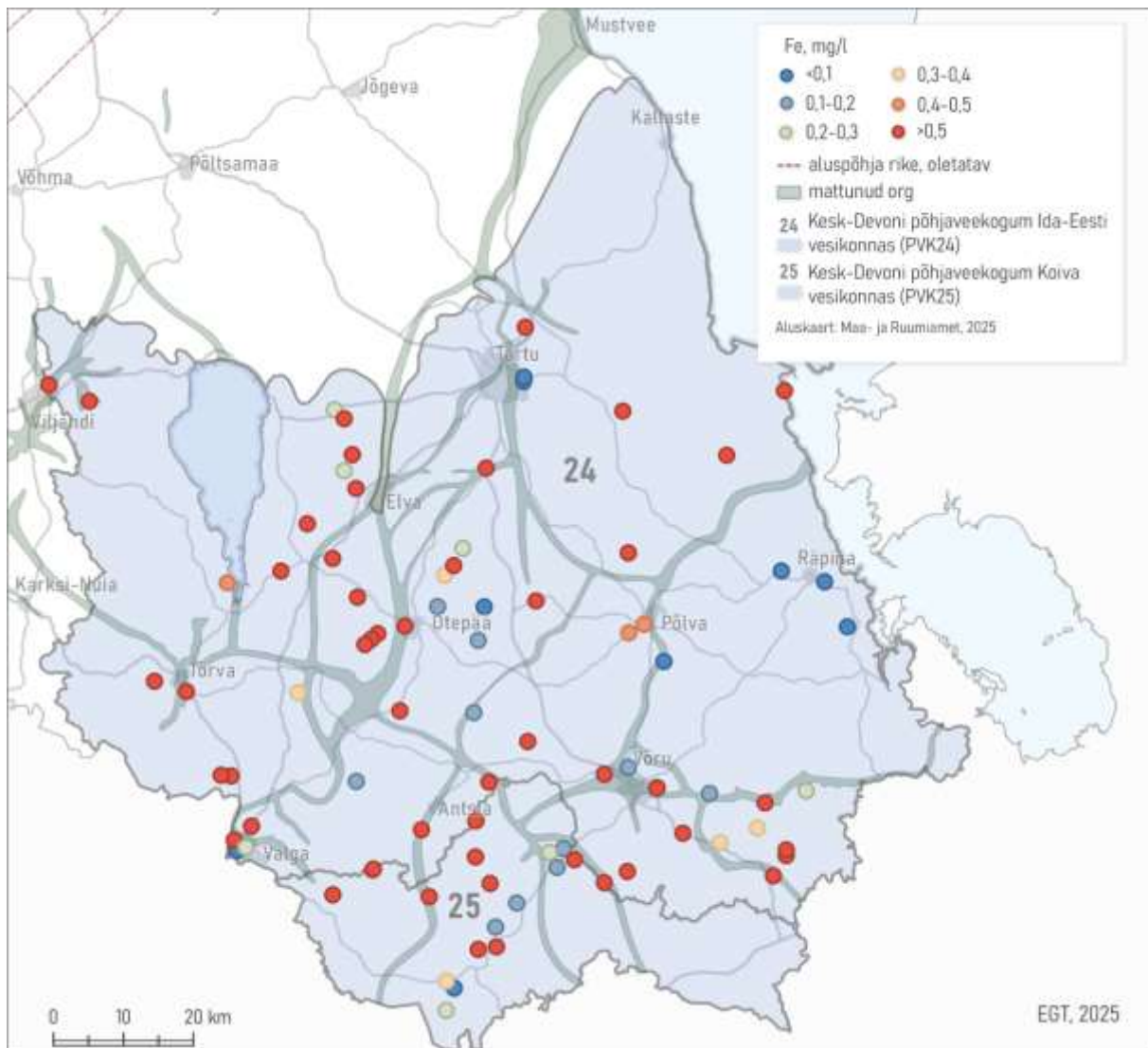
Joonis 2. Kesk-Devoni Ida-Eesti ja Koiva vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 24, 25) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteem.



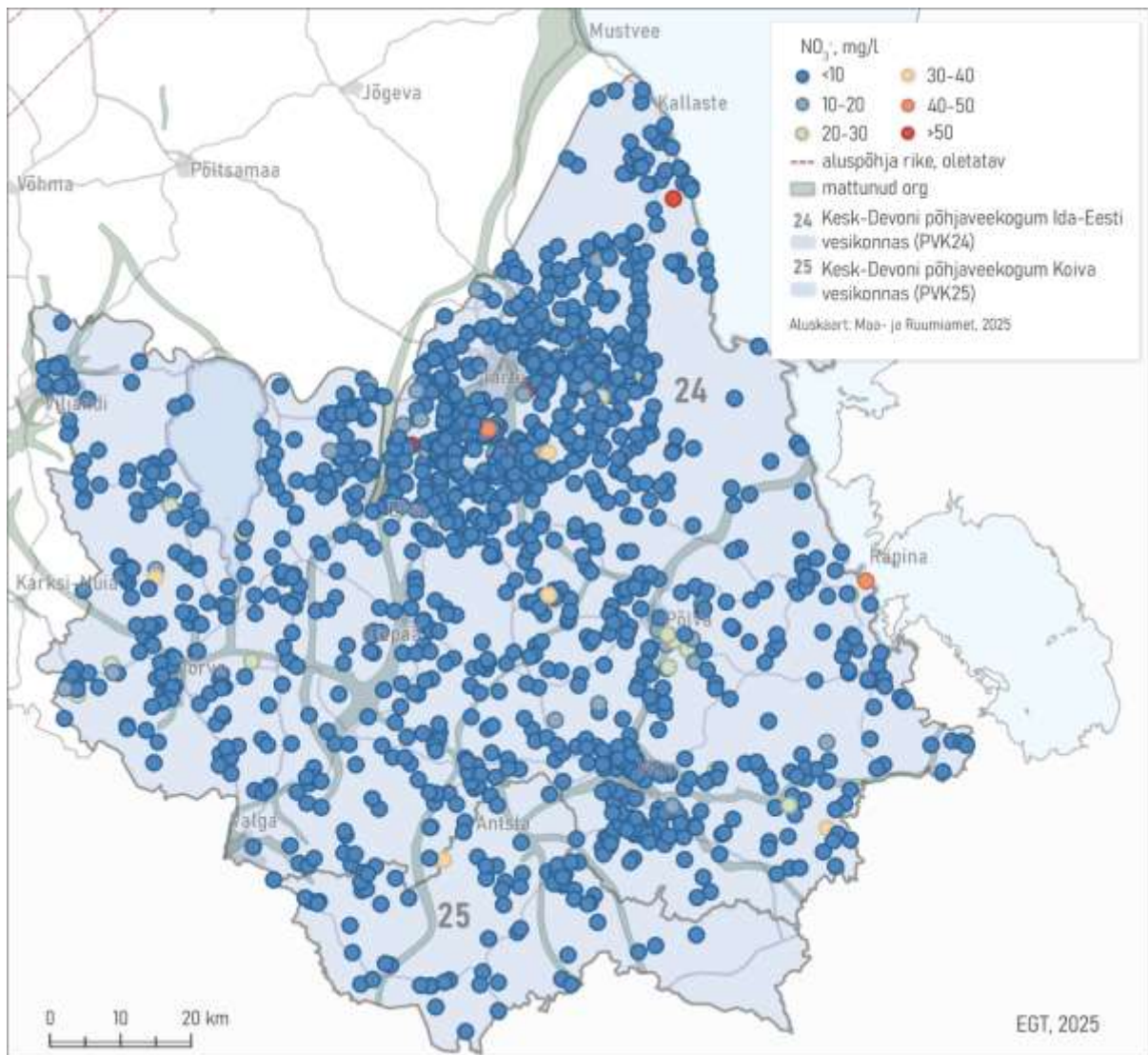
Joonis 3. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonna ja Koiva vesikonna põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



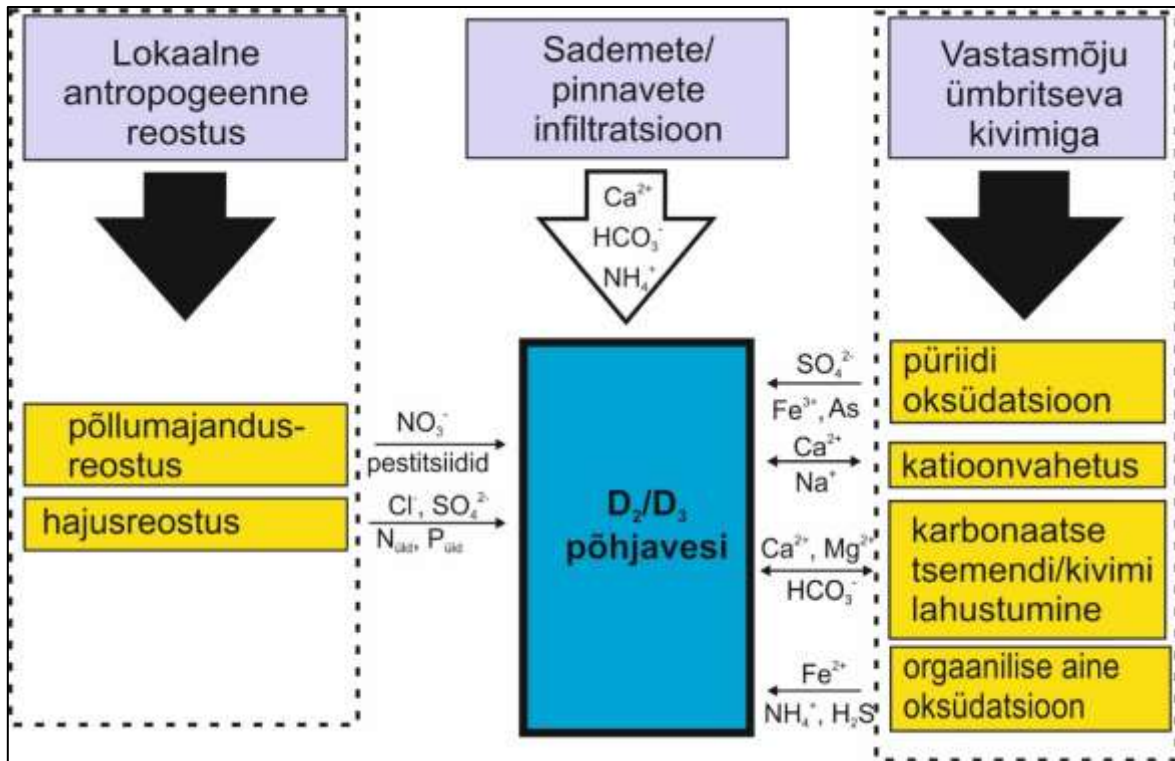
Joonis 4. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonna ja Koiva vesikonna põhjaveekogumi põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonna ja Koiva vesikonna põhjaveekogumi põhjavee nitraadi sisaldus.



Joonis 7. Kesk-Devoni Ida-Eesti, Lääne-Eesti, Koiva vesikonna (D_2) ja Ülem-Devoni (D_3) põhjaveekogumite (PVK nr. 23–26) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karro, E., Veeperv, K., Hiiob, M., Uppin, M., 2020. The occurrence and geological sources of naturally high iron in the Middle Devonian aquifer system, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 69 (4), 281–294. DOI: 10.3176/earth.2020.17.
- Karro, E., Paat, R., Männik, M., 2022. Arseni levik ja seda kontrollivad tegurid Tartumaa põhjavees. Tartu Ülikool, Tartu.
- Koit, O., Retiķe, I., Bikše, J., Terasmaa, J., Tarros, S., Abreldaal, P., Babre, A., Hunt, M., Pärn, J., Vainu, M., Marandi, A., Sisask, K., Lode, E., Männik, M., 2023. Hydrochemical signatures of springs for conceptual model development to support monitoring of transboundary aquifers. *Groundwater for Sustainable Development*, 21, 100927. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100927.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. Kogumikus: *Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A.* Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Metsur, M., Tamm, I., 1994. Põllumajanduslik hajureostus lämmastikühenditega Eestis. Keski-Suomen vesi- ja ympäristopiiri, AS Maves, Järva maavalitsuse keskkonnauuringud, Jyväskylä.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Raidla, V., Lode, E., Vaasma, T., Kapanen, G., Vandell, E. 2026. Baariumi taustakontsentratsiooni uuring pinnaveekogumites 2024–2025. Lõpparuanne. Tallinn, Tallinna Ülikool.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Jashtšuk, S., 1996. Keskdevoni-siluri veekompleksi põhjavee kvaliteedi uurimistöö. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrol. Res.* 47, 814–834.
- Välkmann, S., Savva, V., Otsmaa, M., Boldõreva, N., Simm, D., 1992. Tartu põhjaveevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF 4606

PVK 25. Kesk-Devoni põhjaveekogum Koiva vesikonnas

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
25	Koiva vesikond	Avatud, liivakivi avamus	Kvaternaari, Kesk-Devoni	Valgamaa, Võrumaa	1322

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Kogumiga seotud veekihid koosnevad Aruküla, Gauja ja Burtnieki lademe pruunikatest peeneteralisest liivakivist ja aleuoliidist, milles esinevad savi vahekihid. Kogumiga loetakse seotuks ka aluspõhjal lasuvad Kvaternaari veekihid, millest olulisim on fluvioglatsiaalsetes setetes paiknevad veekihid (eriteraline kruus ja liiv ning kohati veerised) Võru maakonnas Haanja ja Varstu vallas (endine Kvaternaari Ruusmäe-Krabi põhjaveekogum nr. 39), mis esinevad enamasti läätsedena moreeni sees (Perens jt., 2012).	1
	Kogumi paksus	Valdavalt 150–280 m, ulatudes lõunapiiril ~280 meetrini olenevalt aluspõhja katvate Kvaternaari setete paksusest.	1
	Lasuv veepide	Põhjaveekogumi lääneosa on kaetud suhteliselt vettpidavate, valdavalt liivsavisest moreenist koosnevate kvaternaarisetetega, mille filtratsioonikoefitsient on 0,1–1,0 m/ööpäevas. Põhjaveekogumi idaosas on aluspõhjalised veekihid kaetud Snetnaja Gora–Amata savika veepidemega, mille paksus on 8–10 m (Perens & Vallner, 1997).	1
	Lamav veepide	Põhjaveekogumi lamavaks veepidemeks on Narva regionaalne veepide, mis koosneb savikast aleuoliidist, merglist, savist ja dolomiitmerglist. Veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient on 10 ⁻⁴ –10 ⁻⁵ m/ööpäevas, kohati 10 ⁻⁶ m/ööpäevas või veelgi väiksem (Perens & Vallner, 1997). Savi vahekihte on sageli täheldatud ka Gauja ja Burtnieki lademe piiril.	1
	Põhjavee survepind	Haanja kõrgustikul on aluspõhjaliste põhjaveekihtide põhjavee survepind 112–122 m maapinnast (absoluutkõrgusel 120–123 m), kuid reljeefi nõgudes	2

		ulatub survepind kohati üle maapinna. Vabapinnalistes Kvaternaari põhjaveekihtides kõigub põhjaveetase maapinnast 0,5 kuni 60 m sügavusel (keskmiselt 10 m sügavusel; Perens jt., 2012).	
--	--	--	--

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Kogumi põhjavee liikumissuunad määravad Karula ja Haanja kõrgustikud. Karula kõrgustikult on põhjaveevool lõuna ja ida suunas, Haanja kõrgustikult lõuna ja lääne suunas. Kohalikuks väljealaks on kõrgustike vahel paiknev Mustjõgi.	2
	Filtratsioonikoefitsient	Põhjaveekogumi lateraalne filtratsioonikoefitsient on üsna ühtlane – 1–3 m/ööpäevas aluspõhja kivimites ja keskmiselt 5 m/ööpäevas kogumiga seotud Kvaternaari setetes (Perens jt., 2012). Põhjaveekihtide veejuhtivus on aga seevastu võrdlemisi muutlik (30–300 m ² /d), suurenedes kogumi paksuse kasvuga lõunasuunas (Perens jt., 2012). Lõuna-Eesti kõrgustikel on hüdrauliline gradient valdavalt 0,0001–0,01 piires ja põhjavee lateraalne liikumiskiirus liivakivides on 0,02–0,2 m/ööpäevas, transversaalse liikumise kiiruseks on hinnatud 0,001–0,005 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Kvaternaari setetes on põhjavee lateraalseks liikumiskiiruseks hinnatud 0,001–0,15 m/ööpäevas (kruusas isegi 10–15 m/ööpäevas; Perens jt., 2012).	1
	Toitumine ja režiim	Karula ja Haanja kõrgustikelt kui põhilistelt toitealadelt toimub aastaringne põhjaveevool madalike, nõgude ja kohaliku vooluveevõrgu suunas. Põhjavee netoinfiltratsiooniks nendel kõrgustikel on hinnatud 90–150 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Toitumise intensiivsus sõltub põhjaveekogumit katvate Kvaternaari setete koostisest. Savika pinnakattega liigniisketel aladel põhjavee toitumist ei toimu või on see vähene. Veetasemete kõikumise amplituudid jäävad enamasti vahemikku 0,3–2,0 m.	2

Põhjaveekoostis	Keemiline koostis	Põhjaveekogumi põhjavesi on valdavalt Ca-HCO ₃ -tüüpi, mineraalsusega 0,2–0,6 g/L. Põhjavee kloriidi	3–6
------------------------	--------------------------	---	-----

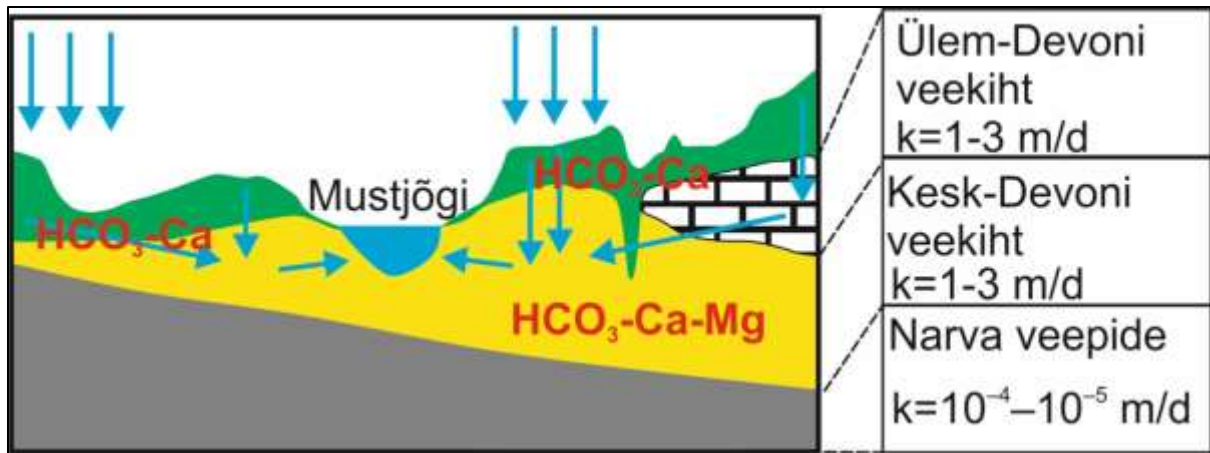
		<p>sisaldused on valdavalt kuni 25 mg/L. Nitraat enamiku puurkaevude vees puudub või jäävad alla 10 mg/L. Lokaalselt madalates Kvaternaari kaevudes ja suurte põllumassiivide vahetusläheduses võivad selle sisaldused aga ületada joogiveele kehtestatud piirsisaldust 50 mg/L (Metsur & Tamm, 1994; Koit jt., 2021). Joogivee seisukohast on kogumi suurimaks kvaliteediprobleemiks suur looduslik raua sisaldus (kuni 4,4 mg/L, keskmine 1,4 mg/L; Perens jt., 2012; Karro jt., 2020), mis ületavad kordades joogiveele lubatud piirsisaldust (0,2 mg/L). Looduslik sulfaatide sisaldus kogumi põhjavees on väike ja võivad ulatuda kuni ~20 mg/L. Looduslikult baariumi sisaldused võivad kogumi Kesk-Devoni põhjaveekihtides küündida kuni 800 µg/L (Koit j., 2021, 2023).</p> <p>Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulist kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm & Leisk, 2024).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Kuna olulisi veepidemeid põhjaveekogumil ei lasu, levib kogumis tänapäevastest sademetest tekkinud põhjavesi. Seda kinnitavad ka mõõdetud $\delta^{18}\text{O}$ väärtused (–10 kuni –12‰), mis on sarnased tänapäevastele sademetele (Vaikmäe jt., 2020; Koit jt., 2021, 2023). Nende väärtuste järgi kuulub kogum pigem aktiivse veevahetuse vööndisse. Kogumi keemiline koostis on valdavalt kujunenud Devoni liivakivide kaltsiit-tsemendi (CaCO_3) lahustumisel värskelt infiltreerunud pinnavete toimet. Infiltreerumisel sügavamale on lisandunud dolomiidi lahustumine, mis on põhjavee keemilisse koostisse lisanud Mg^{2+}. Kvaternaari setete Ca-HCO_3-tüüpi vee koostis pärineb moreenis sisalduvatest karbonaatsetest mineraalidest. Põhjavees esinev suur looduslik raua sisaldus viitab redutseerivate tingimuste esinemisele kogumiga seotud põhjaveekihtides. Sulfaadi allikaks on tõenäoliselt püriidi oksüdatsioon.</p>	7

<u>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	Vooluveekogud: <ul style="list-style-type: none"> • 1158200_1 Pähni • 1154300_1 Ujuste (Ujuste/Kai?upe)
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	<ul style="list-style-type: none"> • VEE2136700 Suur-Apja järv / Koobassaare järv • VEE2134500 Suur Saarjärv • VEE2141300 Tuuljärv • VEE2137500 Ubajärv • VEE2136100 Vihmjärv / Tarupedäjä järv • VEE2136000 Ähijärv
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> • PSMÖS_044 Hallimäe luhasoo • PSMÖS_045 Matsi allikasood • PSMÖS_046 Labassarõ soo • PSMÖS_047 Puhastiku soomets • PSMÖS_050 Lükkä Lammassaare sooniit • PSMÖS_061 Tiba soo • PSMÖS_062 Apja soo • PSMÖS_063 Apja Valgepalu soomets • PSMÖS_064 Köstrisoo • PSMÖS_133 Plaagi-Kogrejärve soometsad

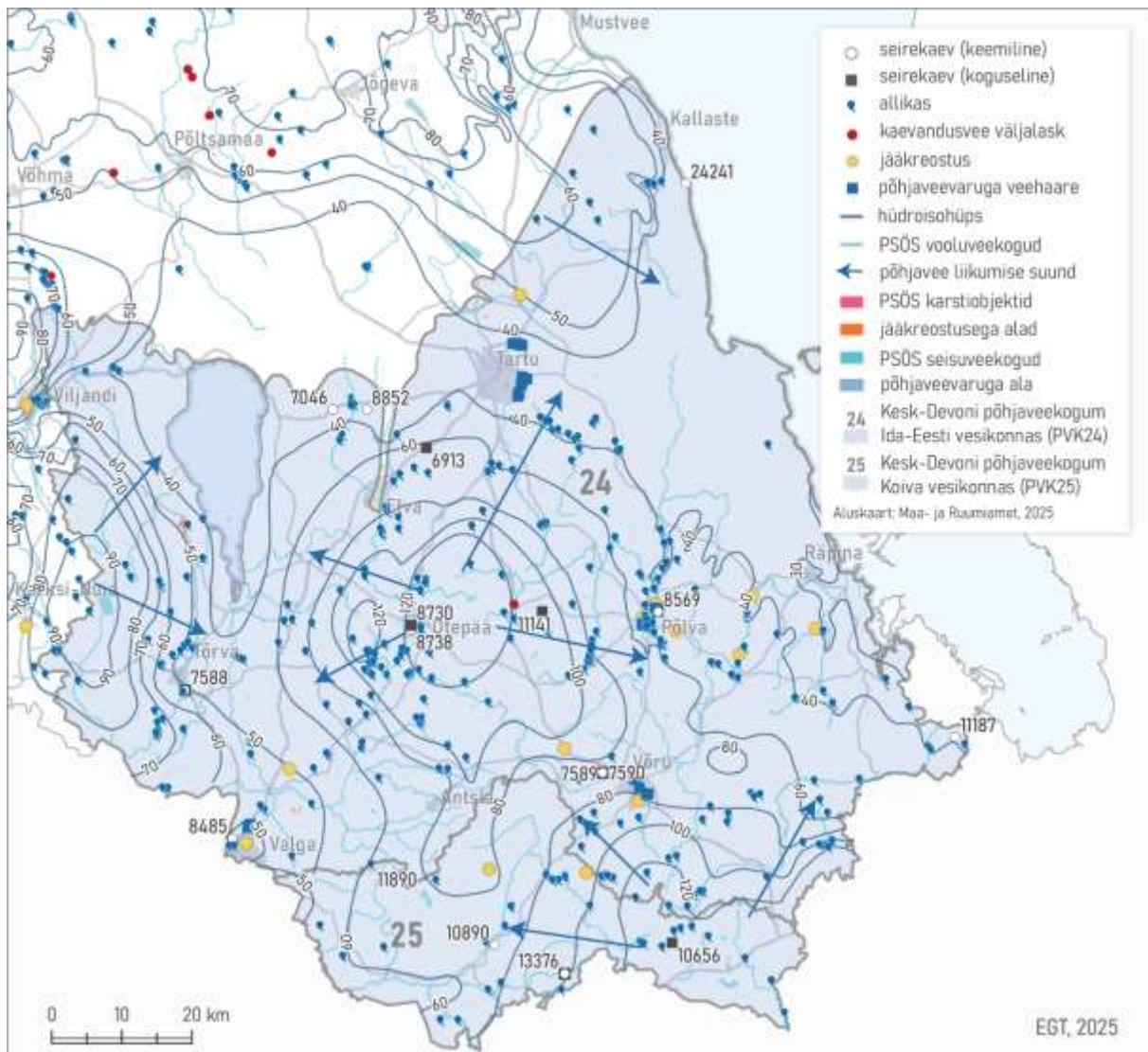
<u>Seisundi hinnang</u> (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

<u>Põhjaveevarud</u> (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	536689
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2023. a	223
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	

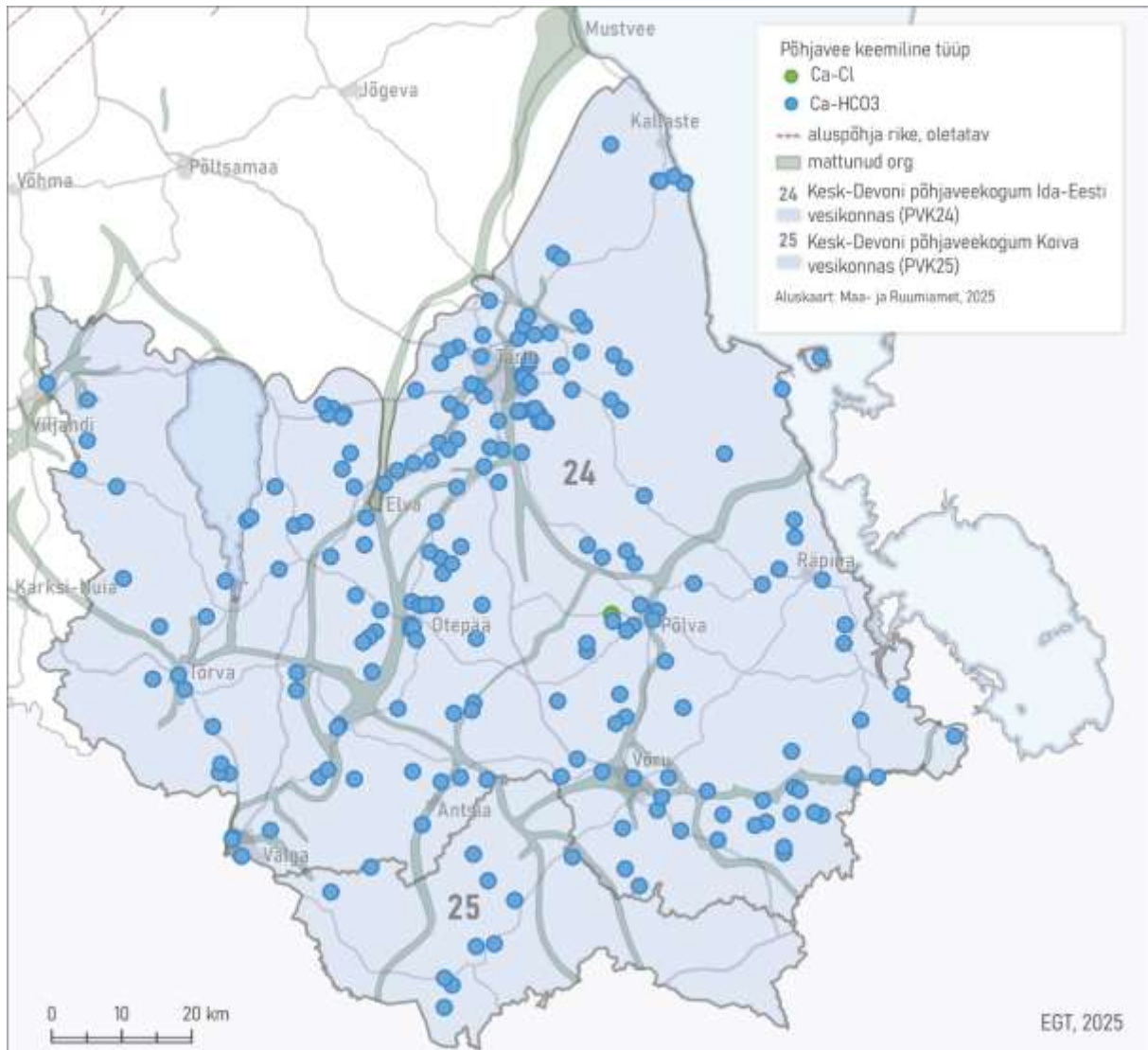
	Minimaalne looduslik vaba ressurs	536689
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	536465



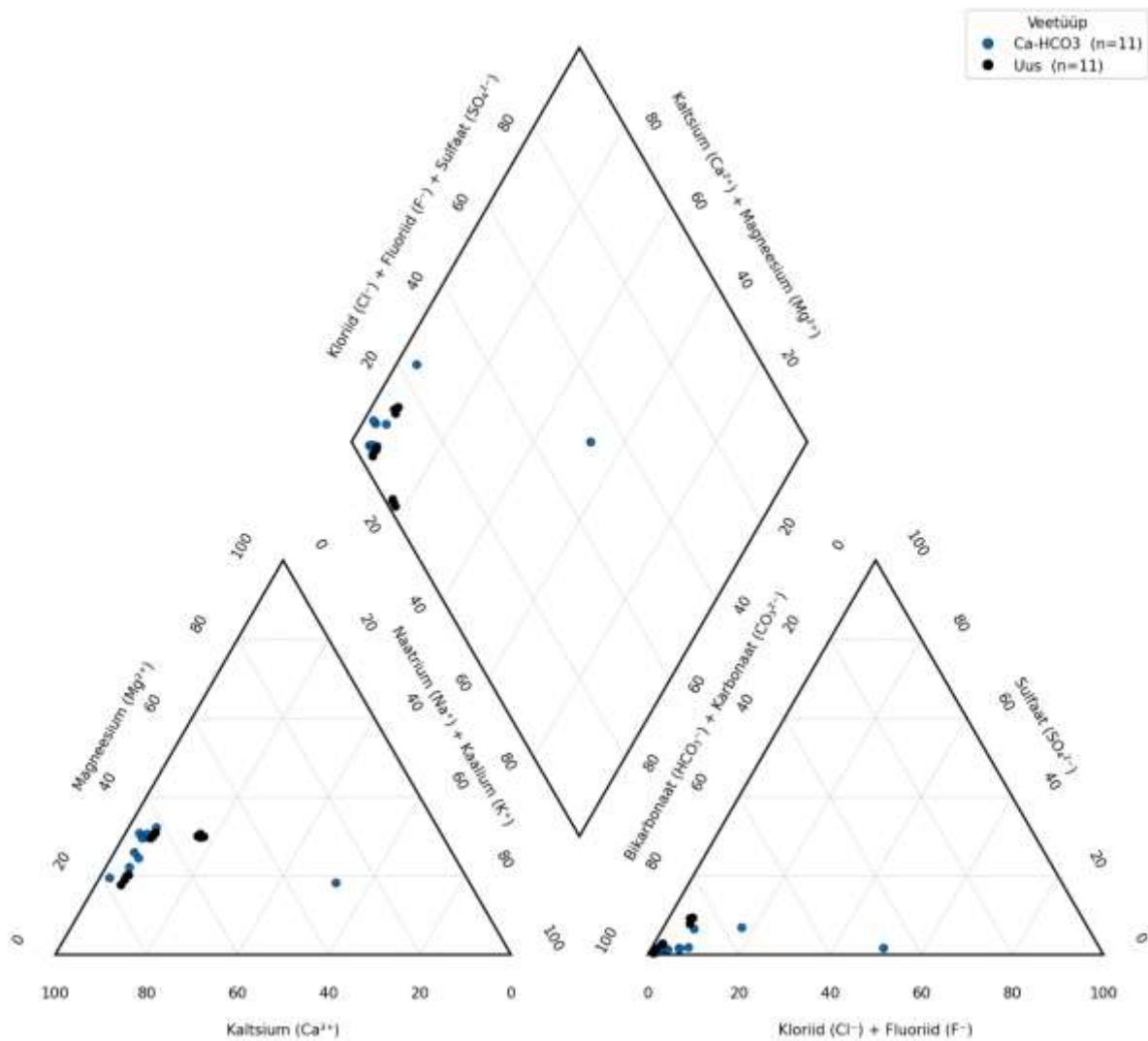
Joonis 1. Kesk-Devoni Koiva vesikonna ning Ülem-Devoni põhjaveekogumite (PVK nr. 25, 26) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



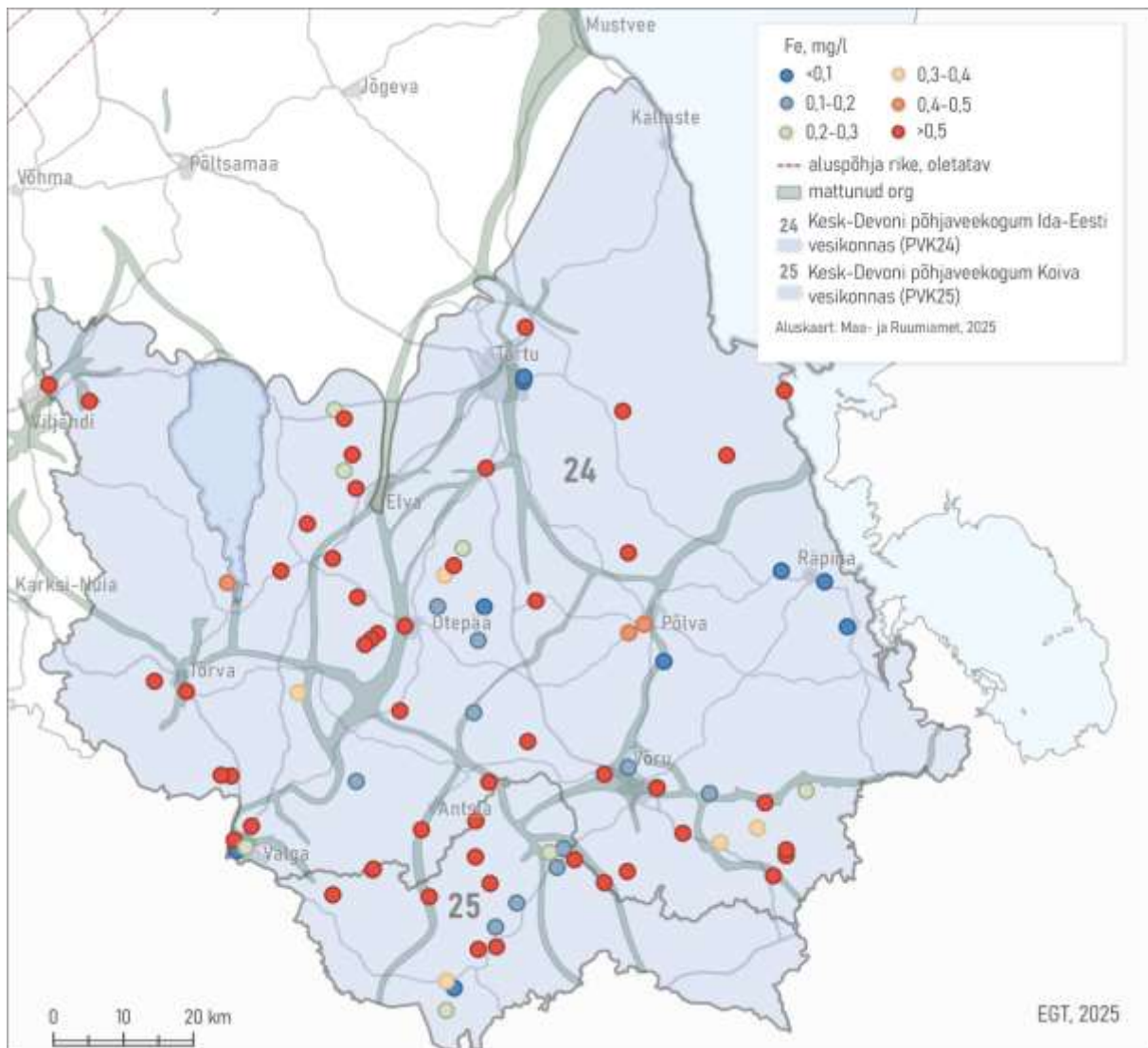
Joonis 2. Kesk-Devoni Ida-Eesti ja Koiva vesikonna põhjaveekogumite (PVK nr. 24, 25) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PKS – põhjaveekogumiga seotud.



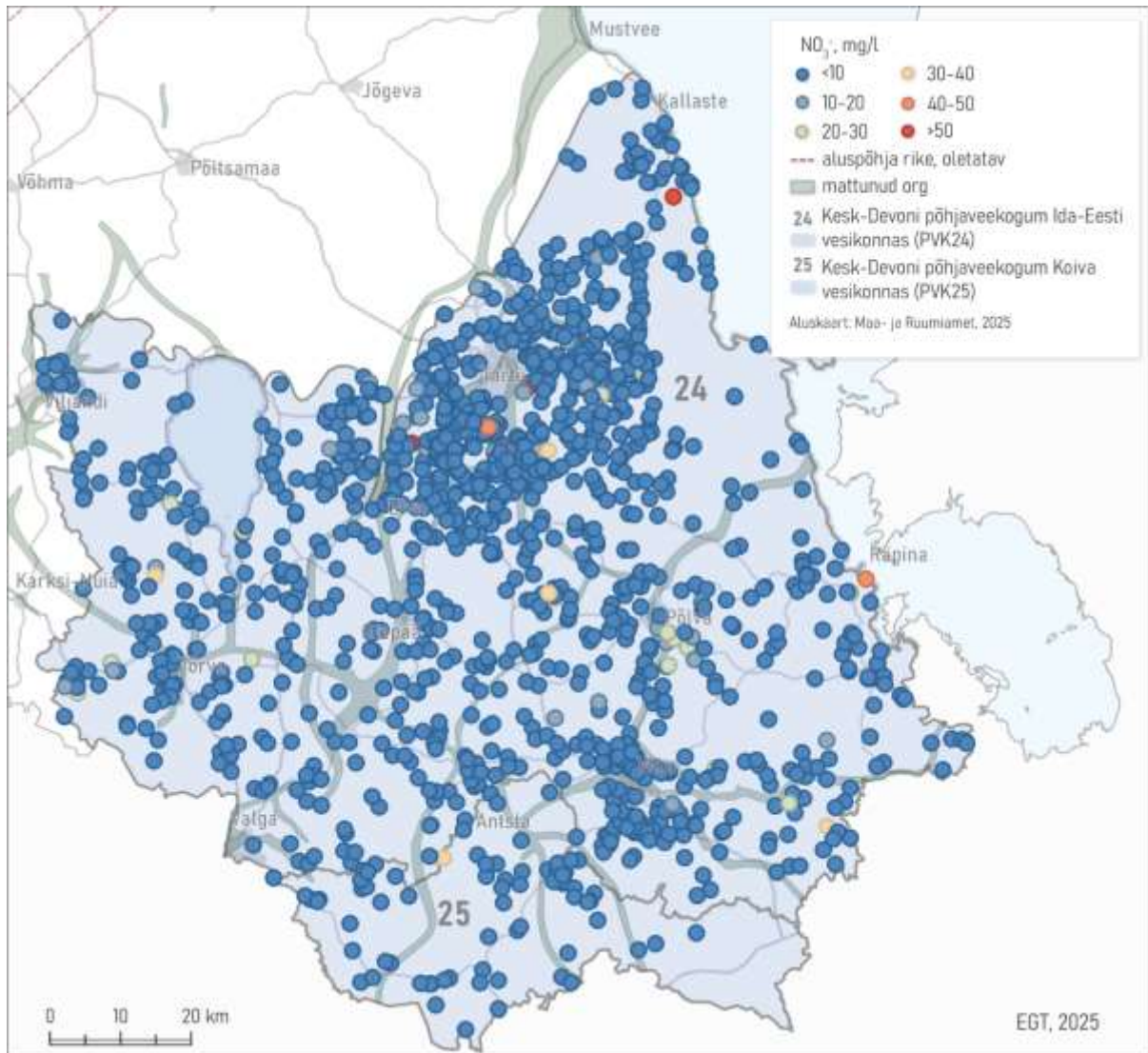
Joonis 3. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonnas ja Koiva vesikonna põhjaveekogumites esinevad põhjavee keemilised tüübid.



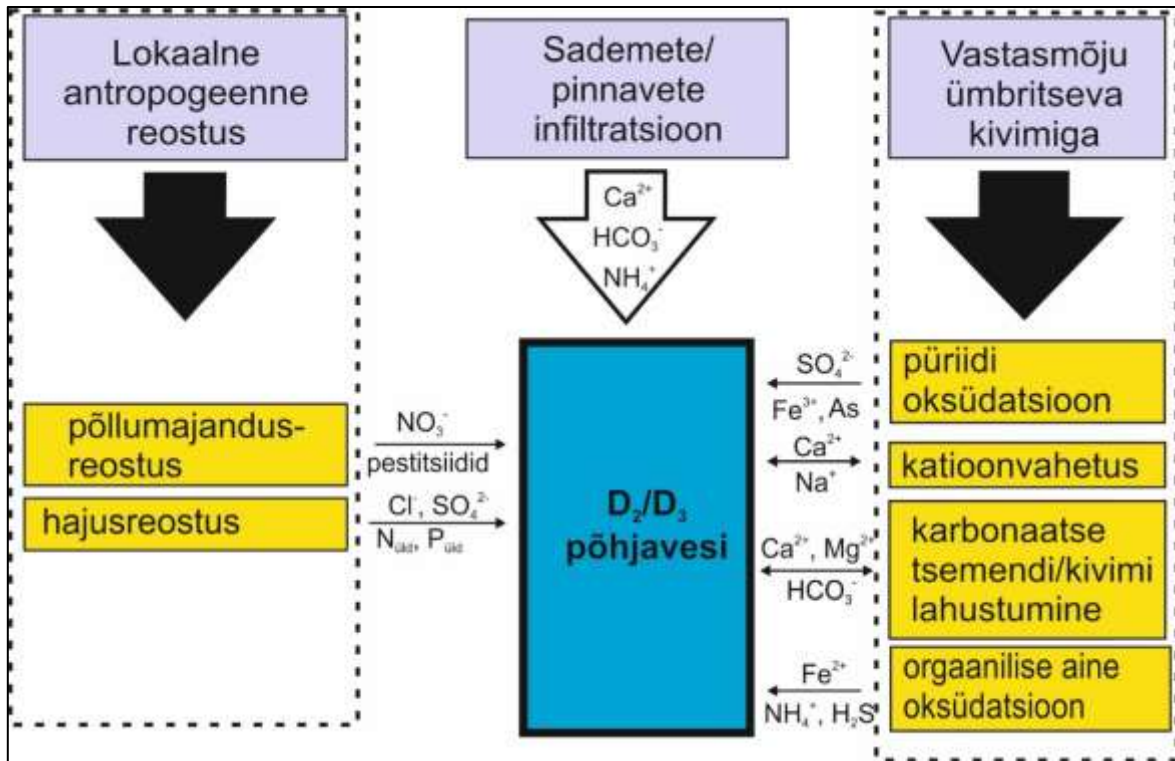
Joonis 4. Kesk-Devoni Koiva vesikonna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonna ja Koiva vesikonna põhjaveekogumi põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonna ja Koiva vesikonna põhjaveekogumi põhjavee nitraadi sisaldus.



Joonis 7. Kesk-Devoni Ida-Eesti, Lääne-Eesti, Koiva vesikonna (D_2) ja Ülem-Devoni (D_3) põhjaveekogumite (PVK nr. 23–26) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Karro, E., Veeperv, K., Hiiob, M., Uppin, M., 2020. The occurrence and geological sources of naturally high iron in the Middle Devonian aquifer system, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 69 (4), 281–294. DOI: 10.3176/earth.2020.17.
- Koit, O., Tarros, S., Pärn, J., Küttim, M., Abreldaal, P., Sisask, K., Vainu, M., Terasmaa, J., Retike, I., Polikarpus, M., 2021. Contribution of local factors to the status of a groundwater dependent terrestrial ecosystem in the transboundary Gauja-Koiva River basin, North-Eastern Europe. *Journal of Hydrology*, 600, 126656. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126656.
- Koit, O., Retike, I., Bikše, J., Terasmaa, J., Tarros, S., Abreldaal, P., Babre, A., Hunt, M., Pärn, J., Vainu, M., Marandi, A., Sisask, K., Lode, E., Männik, M., 2023. Hydrochemical signatures of springs for conceptual model development to support monitoring of transboundary aquifers. *Groundwater for Sustainable Development*, 21, 100927. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100927.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. *Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–145.*
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrol. Res.* 47, 814–834.

PVK 26. Ülem-Devoni põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
26	Ida-Eesti/Koiva vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari, Ülem-Devoni	Valgamaa, Võrumaa	726,1

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Põhjaveekihtide ümbriskivim koosneb valdavalt Plavinase kihistiku paksukihilistest kohati dolomiidistunud lubjakividest ning nendel lasuvatest Kvaternaari setetest. Põhjaveekogumi alumine osa koosneb Snetnaja Gora kihistiku domeriidist ja savist, mida käsitletakse ka suhtelise veepidemena.		1
	Kogumi paksus	Kogumiga seotud aluspõhjaliste põhjaveekihtide paksus on valdavalt 30–40 m. Kvaternaarisetete paksus on valdavalt 5–10 m, kohati kuni 20 m.		1
	Lasuv veepide	Põhjaveekompleks lasub suhteliselt vettpidavate liivsavi moreenist koosnevate kvaternaarisetete all, mille filtratsioonikoefitsient on 0,1–1,0 m/ööpäevas.		1
	Lamav veepide	Lamava veepideme moodustavad Snetnaja Gora kihistiku domeriidid ja savid.		1
	Põhjavee survepind	Põhjavesi on valdavalt vabapinnaline. Veetase paikneb 20–30 m sügavusel maapinnast. Veetaseme absoluutkõrgus on enamasti vahemikus 165–175 m.		2

<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Põhjavee veelahkmealaks on Haanja kõrgustik, kust maapinnalähedane põhjaveevool suundub lõunasse ja läände kõrgustiku servaalade poole. Põhjavee väljealad on kohalikud jõed. Põhjavesi infiltrerub transversaalse põhjaveevooluna ka allpool lamavasse Kesk-Devoni põhjaveekogumisse.		2
	Filtratsioonikoefitsient	Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on 30–300 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee lateraalne liikumiskiirus võib ulatuda 1–10 m/ööpäevas, karstunud karbonaatkivimite puhul isegi kuni 50 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).		1

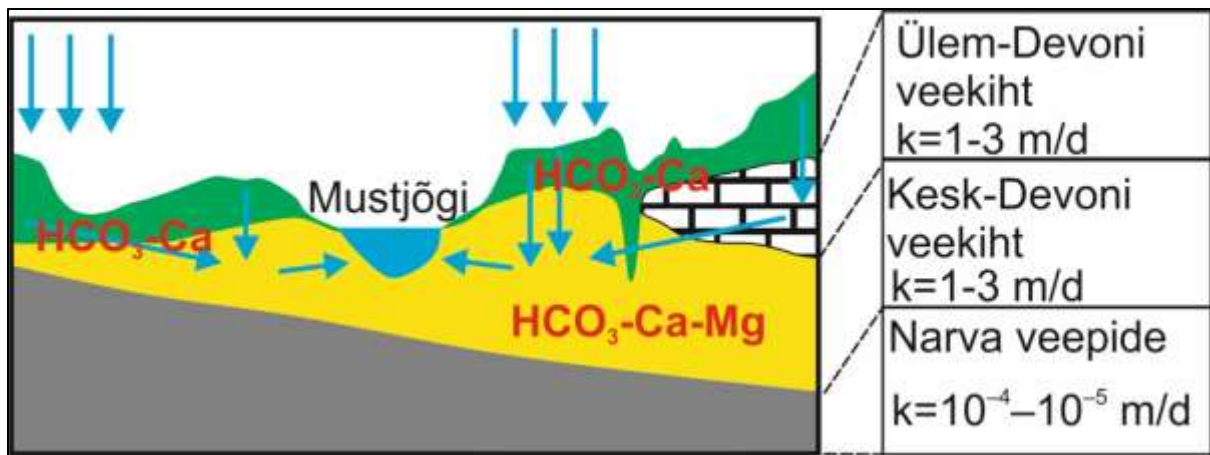
	Toitumine ja režiim	Haanja kõrgustikult ja kohalikest paeplatoodelt kui põhilistelt toitealadelt toimub aastaringne põhjaveevool reljeefi madalamatesse piirkondadesse. Põhjavee netoinfiltratsiooniks Haanja kõrgustikul on hinnatud 90-250 mm/aastas (Vallner & Porman, 2016). Suuremad väärtused on iseloomulikud kõrgustiku laele ja väiksemad selle nõlvadele. Toitumise intensiivsus sõltub eelkõige põhjaveekogumit katvate Kvaternaari setete koostisest. Savika pinnakattega liigniisketel aladel põhjavee toitumist ei toimu või on see vähene.	2
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	Põhjaveekogumi põhjavesi on valdavalt Ca-HCO ₃ -tüüpi, mineraalsusega 0,2–0,6 g/L. Põhjavee kloriidi sisaldused jäävad valdavalt alla 15 mg/L. Nitraadi sisaldused enamike puurkaevude vees on väga väikesed või puuduvad ning kontsentratsioonid ei ole enamasti suuremad kui 10 mg/L. Lokaalselt põldude läheduses võib kogumi madalates kaevudes esineda ka sellest suuremaid väärtusi (Koit jt., 2023). Joogivee seisukohast on kogumi suurimaks kvaliteediprobleemiks suur looduslik raua sisaldus (kuni 3 mg/L, keskmine 1,8 mg/L), mis ületavad kordades joogiveele lubatud piirsisaldust (0,2 mg/L). Põhjavee kasutamisel joogiveena võivad kohati probleemiks olla suuremad ammooniumi sisaldused (kuni 2 mg/L, keskmine 0,2 mg/L; joogivee piirsisaldus 0,5 mg/L). Looduslik sulfaadi sisaldus kogumi põhjavees on väike ja võib ulatuda kuni ~20 mg/L. Põhjaveekogumi seisundi näitajate osas olulisi kasvusuundumusi ei esine ja läviväärtusi ei ole ületatud (Tamm ja Leisk, 2024).	3-5
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	Kuna olulisi veepidemeid põhjaveekogumil ei lasu, levib kogumis tänapäevastest sademetest tekkinud põhjavesi. Seda kinnitavad ka mõõdetud δ ¹⁸ O väärtused (–10,8 kuni –12,2‰), mis on sarnased tänapäevastele sademetele (Raidla jt., 2016; Vaikmäe jt., 2020; Koit jt., 2021, 2023). Nende väärtuste järgi kuulub kogum pigem aktiivse veevahetuse vööndisse. Kogumi keemiline koostis on valdavalt kujunenud karbonaatsete mineraalide (peamiselt kaltsiidi) lahustumisel värskest infiltrerunud vee toimel.	6

		Infiltrerumisel sügavamale on lisandunud dolomiidi lahustumine mis on põhjavee keemilisse koostisse lisanud Mg ²⁺ . Põhjavees esinev suur looduslik raua sisaldus viitab redutseerivate tingimuste esinemisele kogumiga seotud põhjaveekihtides. Sulfaadi allikaks on tõenäoliselt püriidi oksüdatsioon ja kipsi ilmingud kivimis.	
--	--	---	--

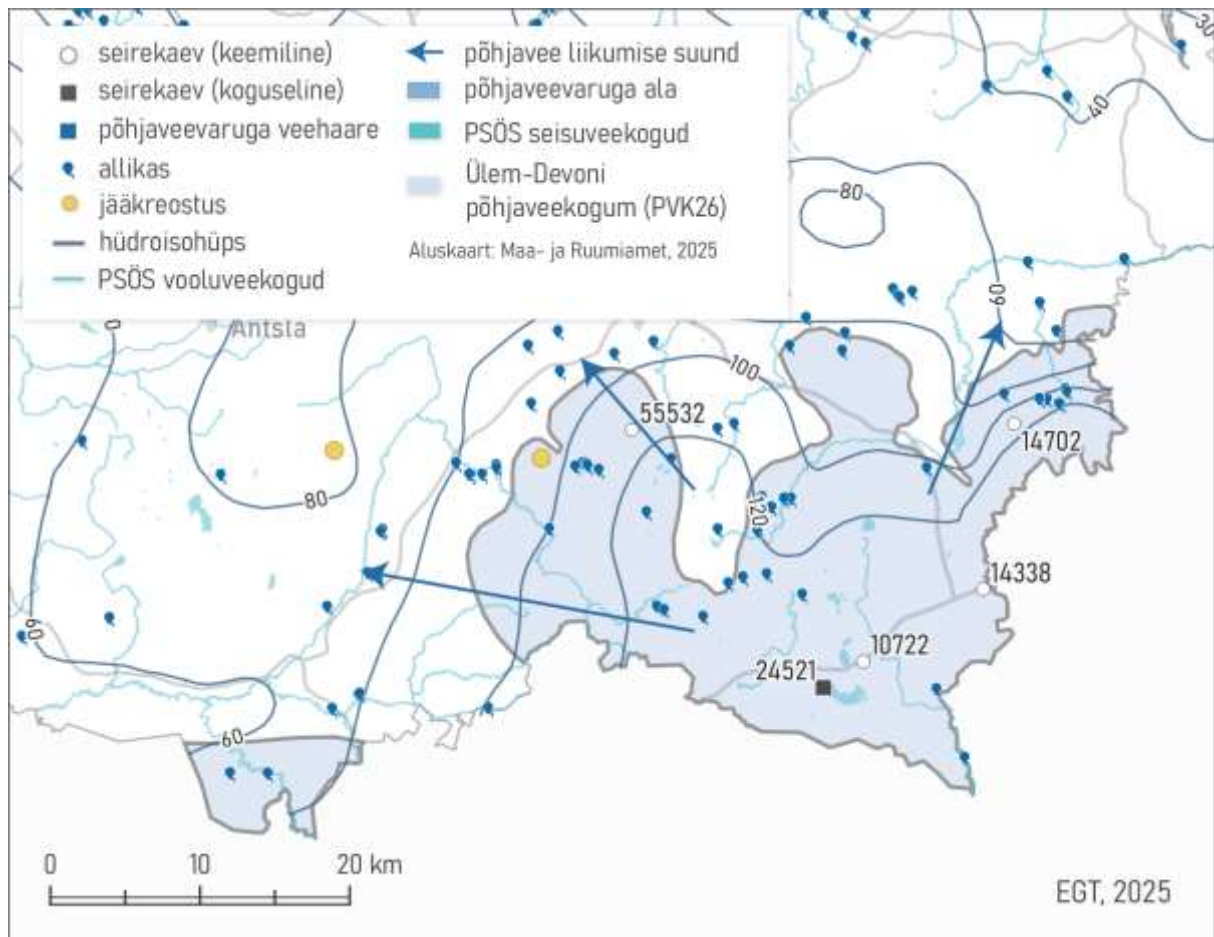
Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	Vooluveekogud: <ul style="list-style-type: none"> • 1155700_1 Pärlijõgi lähtest Saarlase paisuni (Pärlijõgi/Pärlijõgi_1) • 1155700_2 Pärlijõgi Saarlase paisust suudmeni • 1158000_2 Vaidva riigipiirist (Nakri maatüki servas) suudmeni (Vaidava_2/Vaidava_2)
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	<i>Põhjaveekogumiga seotud seisuveeökosüsteemid:</i> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2154000 Sõdaalonõ järv • VEE2141200 Tuhkrijärv • VEE2140500 Valgjärv (Rõuge Valgjärv) • VEE2141100 Vihtla järv • VEE2140900 Väikjärv • VEE2151710 Väiku-Palkna järv <i>Põhjaveekogumiga seotud olulised karstiobjektid:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Tsiistre karstinõod
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea
Põhjaavevaru	Looduslik ressurss	221586

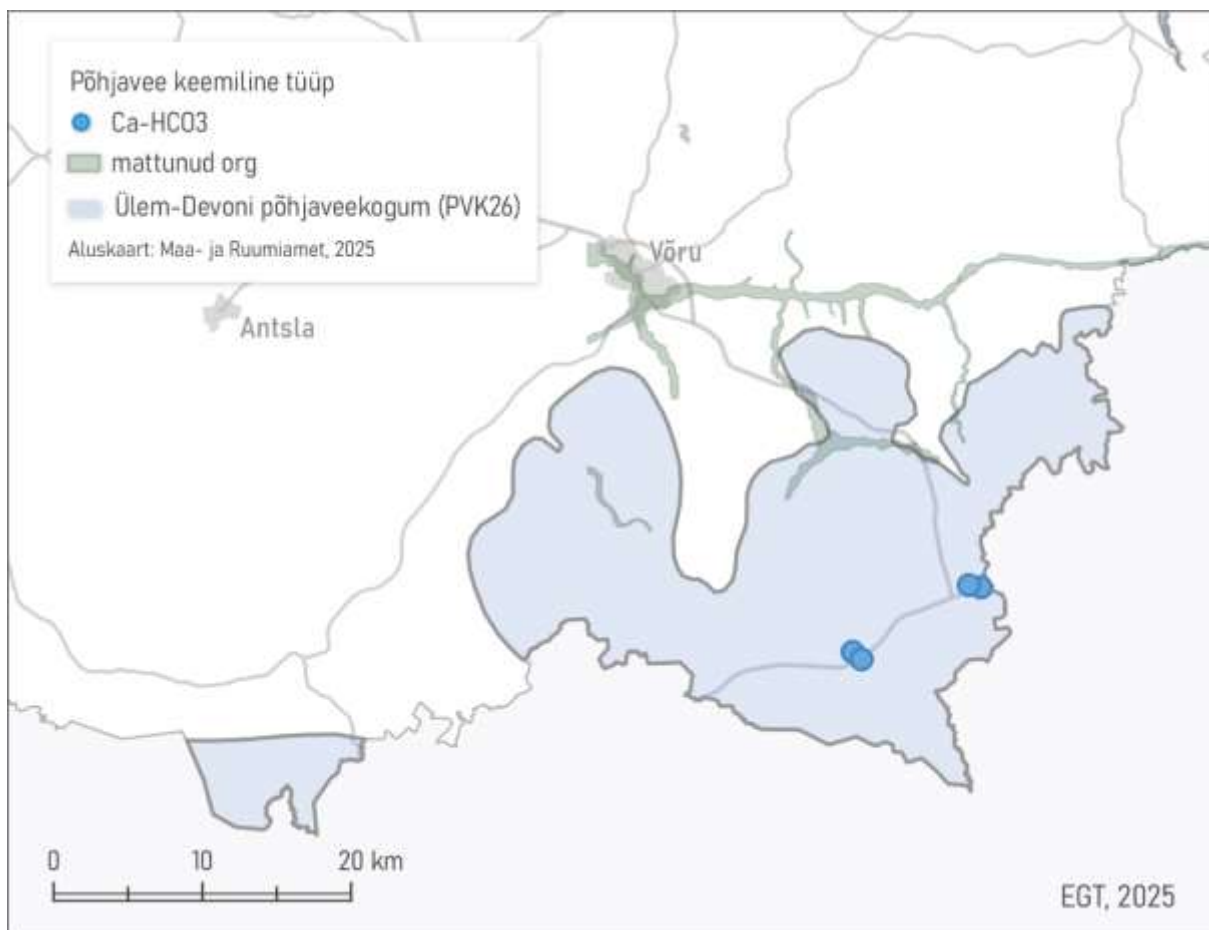
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2017. a	95
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	221586
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	221491



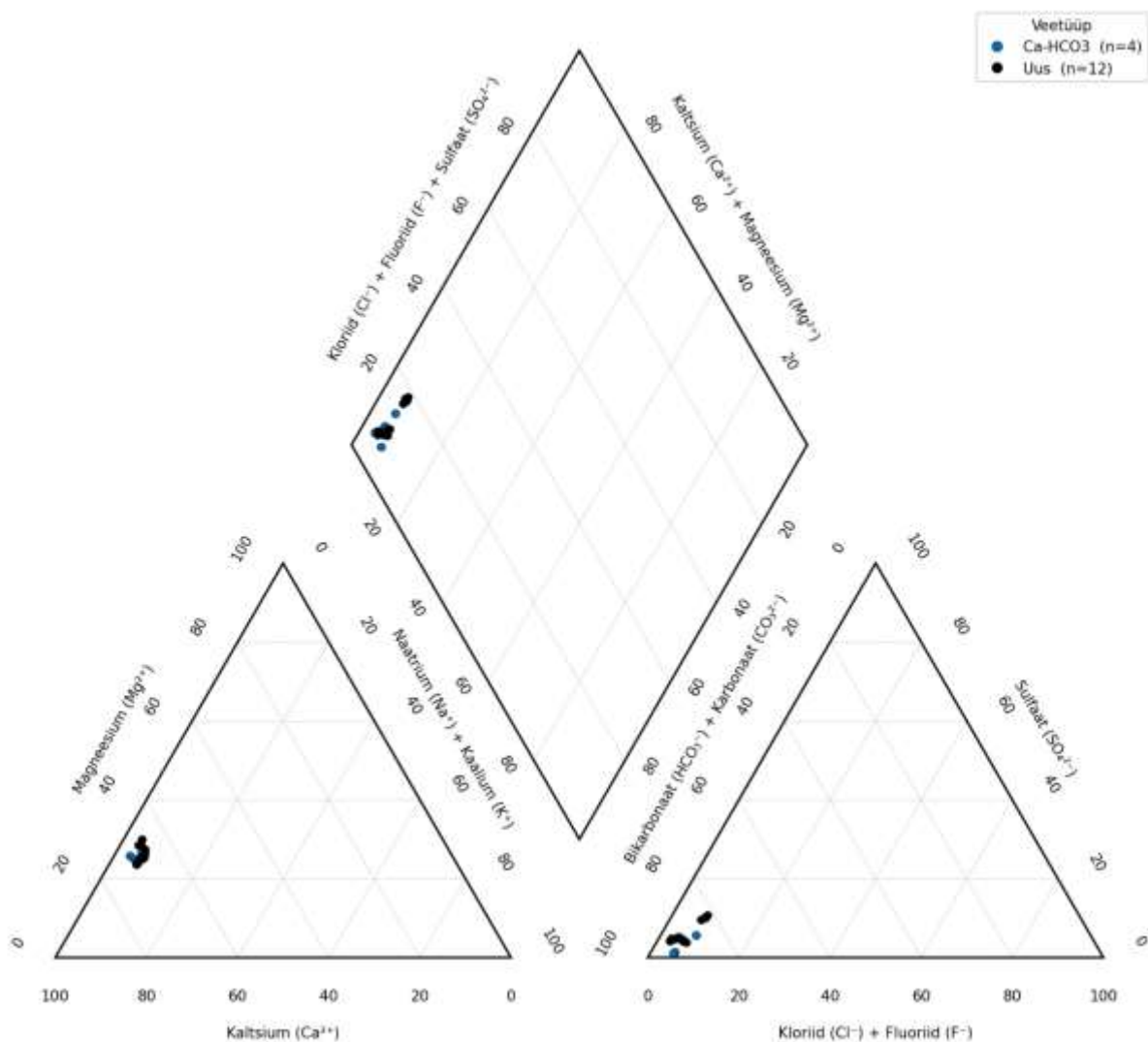
Joonis 1. Kesk-Devoni Koiva vesikonna ning Ülem-Devoni põhjaveekogumite (PVK nr. 25, 26) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



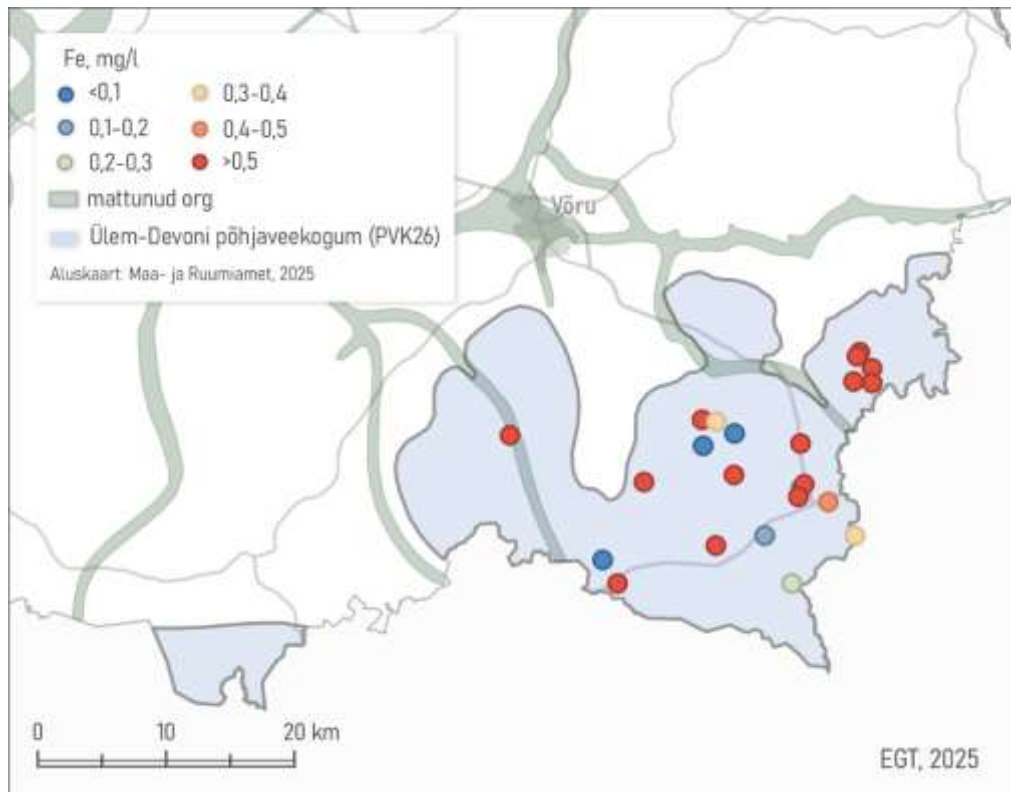
Joonis 2. Ülem-Devoni põhjaveekogumi (PVK nr. 26) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



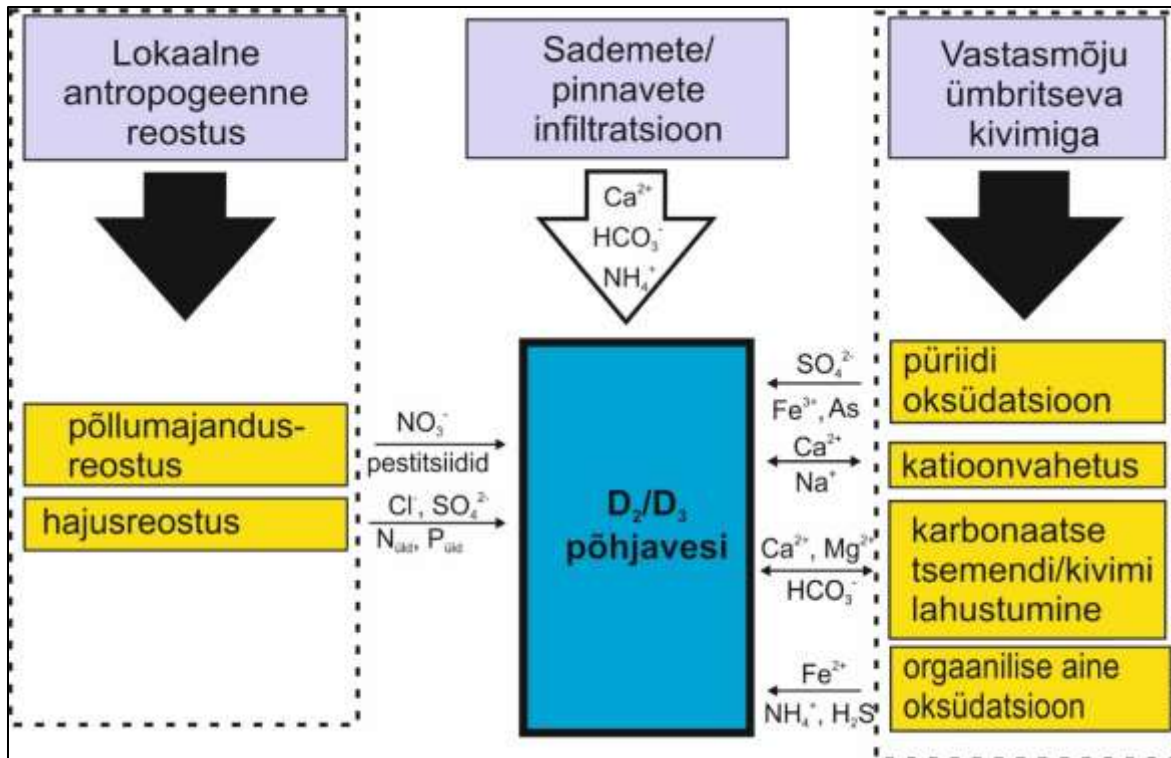
Joonis 3. Ülem-Devoni põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. ÜlemDevoni põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 5. Ülem-Devoni põhjaveekogumi põhjavee raua sisaldus.



Joonis 6. Kesk-Devoni Ida-Eesti, Lääne-Eesti, Koiva vesikonna (D_2) ja Ülem-Devoni (D_3) põhjaveekogumite (PVK nr. 23–26) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

- Koit, O., Tarros, S., Pärn, J., Küttim, M., Abreldaal, P., Sisask, K., Vainu, M., Terasmaa, J., Retike, I., Polikarpus, M., 2021. Contribution of local factors to the status of a groundwater dependent terrestrial ecosystem in the transboundary Gauja-Koiva River basin, North-Eastern Europe. *Journal of Hydrology*, 600, 126656. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126656.
- Koit, O., Retike, I., Bikše, J., Terasmaa, J., Tarros, S., Abreldaal, P., Babre, A., Hunt, M., Pärn, J., Vainu, M., Marandi, A., Sisask, K., Lode, E., Männik, M., 2023. Hydrochemical signatures of springs for conceptual model development to support monitoring of transboundary aquifers. *Groundwater for Sustainable Development*, 21, 100927. DOI: 10.1016/j.gsd.2023.100927.
- Perens, R., Vallner, L., 1997. Water-bearing formation. *Kogumikus: Geology and Mineral Resources of Estonia (toimetajad) Raukas, A., Teedumäe, A. Estonian Academy Publishers, Tallinn*, 137–145.
- Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M., 2012. Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine. OÜ Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvāns, A., Kohán, B., Lelgus, M., Martma, T., Mokrik, R., Popovs, K., Vaikmäe, R., 2016. A $\delta^{18}\text{O}$ isoscape for the shallow groundwater in the Baltic Artesian Basin. *Journal of Hydrology* 542: 254–267.
- Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.
- Vaikmäe, R., Martma, T., Ivask, J., Kaup, E., Raidla, V., Rajamäe, R., Vallner, L., Mokrik, R., Samalavičius, V., Kalvāns, A., Babre, A., Marandi, A., Hints, O., Pärn, J., 2020. Baltikumi põhjavee isotoop-geokeemia andmebaas. Geoloogia instituut, Tallinn Tehnikaülikool. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Vallner, L., Porman, A., 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrol. Res.* 47, 814–834.

PVK 27. Kvaternaari Vasavere põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
27	Ida-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari	Ida-Virumaa	73,26

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Kogum paikneb Kurtna mõhnastikus ja Vasavere mattunud ürgorus levivates muutliku paksusega Kvaternaari setetes. Vasavere ürgorg moodustab ligi poole põhjaveekogumi pindalast. Ürgorgu täidavad limnoglatsiaalne, ning ürgoru keskosas ka fluvioglatsiaalne keskmise- ja jämedateraline liiv. Läbilõike alumises osas esinevad liiv, kruus ja veerised. Põhjaveekogumi lääneosas levivad liivast koosnevad mõhnastikud ja kogumi idaosas soostunud tasandik.		1
	<i>Kogumi paksus</i>	Kogumi paksus on väga muutlik, kõikides vahemikus 5–77 m (Perens jt., 2012). Setete paksus on kõige suurem Vasavere mattunud oru keskosas. Kurtna mõhnastiku piires on vettandvate setete paksus valdavalt 15–20 m (Perens jt., 2012).		1
	<i>Lasuv veepide</i>	Vettandvate liiva- ja kruusasetete peal väljapeetud veepide praktiliselt puudub ja maapinnalt esimene põhjaveekiht on kas kaitsmata või nõrgalt kaitstud.		1
	<i>Lamav veepide</i>	Vettandvaid kihte ümbritseb suhteliselt vettpidav moreenikompleks, mille filtratsioonikoefitsient on 0,01–1,0 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).		1
	<i>Põhjavee survepind</i>	Sõltub reljeefist ja asub valdavalt 2–5 m sügavusel maapinnast (absoluutkõrgusel 40–45 m; Perens jt., 2012).		2

<u>Hüdrod</u> <u>ünaami</u> <u>ka</u>	<i>Voolusuunad</i>	Põhjavee liikumise suuna määrab Kurtna mõhnastik kui peamine lokaalne toiteala. Mõhnastiku kõrgematelt liivaaladelt liigub põhjavesi lääne ja ida	2
---	---------------------------	---	---

		suunas, aga samuti Vasavere veehaarde poole (Perens jt., 2012).	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Kogumit moodustavate setete filtratsioonikoefitsient varieerub vahemikus 1–175 m/ööpäevas, olles keskmiselt 15 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on muutlik ning on sõltuvalt mõõtmiseks kasutatud puurkaevu konstruktsioonist väärtusega 30–300 m²/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjaveevoolu kiirus sõltub hüdraulilisest gradiendist ja on suurim Vasavere veehaarde ümbruses. Valdav põhjavee liikumise kiirus fluvioglatsiaalsetes liivades on 0,02–0,2 m/ööpäevas.</p>	1
	Toitumine ja režiim	<p>Kogumis olev põhjavesi toitub peamiselt kohalikest sademetest, aga kohati kogumi põhjaosas ka Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi põhjaveest ja sellega seotud pinnaveest (Perens jt., 2012).</p> <p>Vasavere põhjaveekogum on lasuva Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogumiga ning külgneva Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumiga hüdrauliliselt seotud. Veetasemete kõikumise amplituudid kevadise ja sügise kõrgveetaseme ja suvise ning talvise madalveetaseme vahel jäävad enamasti vahemikku 0,3–1,0 m (Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjaveekogumi veetasemeid on mõjutanud veevõtt Vasavere veehaardest. Minimaalsed põhjaveetasemed esinesid 1990date aastate keskel, mille järgnes veetasemete taastumise periood kuni 2010date aastate alguseni. Uus põhjaveetasemete languse periood oli 2013–2016 (langus 1 kuni 1,5 m), sest suures veevõtt Vasavere veehaardest (Terasmaa jt., 2019; Karro jt., 2021). Alates 2016. aastast on põhjaveetasemed u 0,5 kuni 1 m võrra tõusnud (Karro jt., 2021). Perioodil 2018–2023 on kogumi põhjaveetasemed stabiliseerunud (Tamm & Leisk, 2024).</p>	2

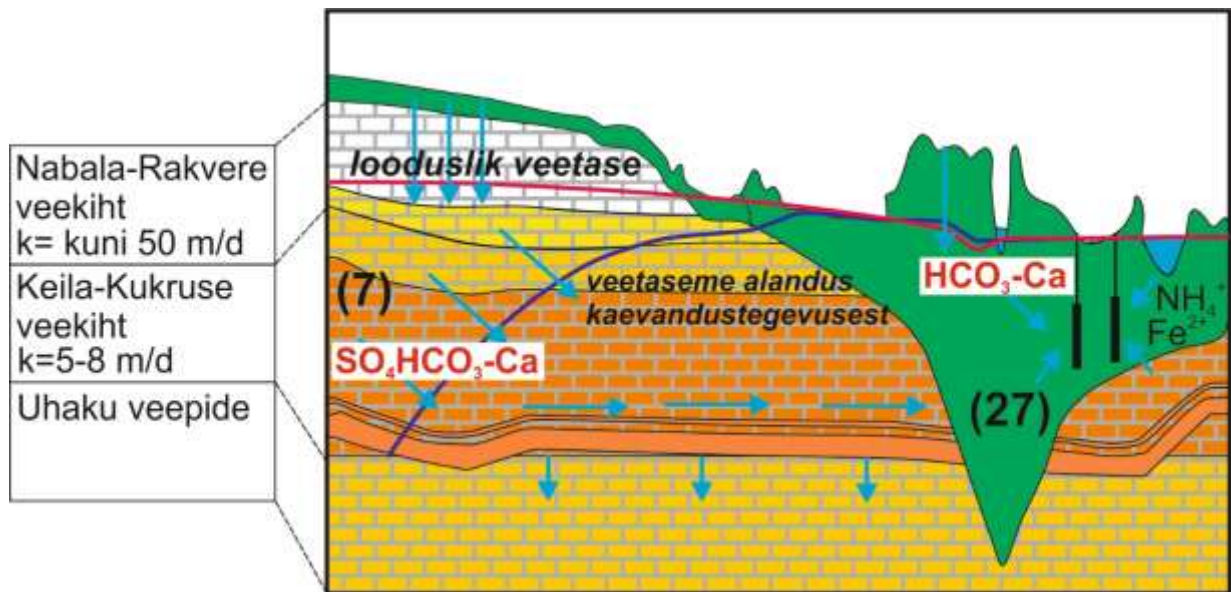
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi põhjavesi on valdavalt Ca-HCO₃-tüüpi, mineraalsusega 0,2–0,5 g/l (Perens jt., 2012). Kogumi vetele on omane neutraalne või nõrgalt happeline pH (6,2 kuni 7,5) kuid üksik juhuna on registreeritud ka pH 5 kogumi ida piiril, Sirgala karjääri lähikonnas (Karro jt., 2021). Samast proovist saadi arseeni sisalduseks 13 µg/L, mis tavapäraselt jäävad kogumis alla 2 µg/L. Baariumi sisaldused kogumis varieerusid vahemikus 54–1200 µg/L kuid jäävad valdavalt alla 400 µg/L (Karro jt., 2021).</p> <p>Loodusliku aeroobse keskkonna ja laialdase soode leviku tõttu esinevad kogumi põhjavees suured NH₄⁺ sisaldused (kuni 10 mg/l) ja KHT näitajad (kuni 89,7 mgO₂/L). Nitraadi sisaldused on enamasti väiksemad kui 3 mg/L (Karro jt., 2021). Põhjaveekogumi vesi on raua- ja mangaanirikas, kõrgeimad nimetatud elementide maksimaalsed sisaldused ulatuvad vastavalt väärtusteni 26 mg/L ja 5200 µg/L (joogivee piirsisaldused vastavalt 0,2 mg/L ja 50 µg/L). Kogumi põhja ja lõuna osas ning sealsetest kogumiga seotud pinnaveekogudest on leitud suuremaid, kogumile mitte omaseid SO₄²⁻ sisaldusi (Terasmaa jt., 2019), mis viitavad aktiivsete ja suletud põlevkivikaevanduste mõjule.</p> <p>Ohtlikest orgaanilistest ainetest on kogumi põhjaveest leitud korduvalt naftaprojekte, 1-aluselisi fenooli ja PAH-e (Tamm & Leisk, 2024).</p>	3-5
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	<p>Kogumi põhjavee δ¹⁸O on sarnane Eesti sademete isotoopkoostisele (δ¹⁸O väärtused vahemikus -9,8 kuni -12,3‰; Karro jt., 2021), mis kinnitab põhjaveekogumi täielikku kuulumist aktiivsesse veevahetuse võõndisse. Samas näitavad mitmed Vasavere veehaarde või veehaarde lähedusse jäävate puurkaevude vete isotoopvahekorrad tugevat auramise efekti. Ilmselt pärineb nende vesi olulises osas Pannjärve liivakarjäärist. Ka puuduvad neis kaevudes kogumile nii omased suured KHT väärtused, mis samuti viitab sealse põhjavee pärinemisele hästi segunenud veekogust.</p> <p>Kogumi põhjavee keemilise koostise kujunemist on mõjutanud karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumine nii Kvaternaari setetes kui</p>	6

		<p>ümbritsevates Ordoviitsiumi karbonaatkivimites ning vastastikmõju soovete ja kaevandustest väljapumbatud veega. Soovete mõju indikaatoriks on suuremad raua, ammoniumi kontsentratsioonid ning suuremad KHT näitajad. Happeline keskkond loob täiendavad eeldused metallide mobiliseerumiseks. Kaevandusvete mõju iseloomustab eelkõige sulfaatiooni sisaldus nii kogumis kui sellega seotud pinnaveekogudes. Kurtna järvede vees on SO_4^{2-} sisaldused põlevkivi kaevandamise mõjul suurenenud looduslikult tasemelt 1-7 mg/L kontsentratsioonideni 160-260 mg/L (Erg, 2005).</p> <p>Uuringud on näidanud, et kõrged NH_4^+ sisaldused ja KHT näitajad on põhjaveekogumis pigem lokaalse iseloomuga ja seonduvad eelkõige pinnaveekogude lähedusega, kus paiknevad ka enamik põhjaveekogumi keemilise seisundi hinnangu aluseks olevad riikliku põhjaveeseire kaevud. Seega võib suure tõenäosusega väita, et järvede hapnikuvaestest settekihtidest pärineva vee valgumine puurkaevudesse ning sellega kaasnev orgaanilise materjali sissekanne põhjavette võib olla üheks põhjaveekogumi vee NH_4^+ sisalduste ja KHT näitajate mõjutajaks (Karro jt., 2021).</p>	
--	--	--	--

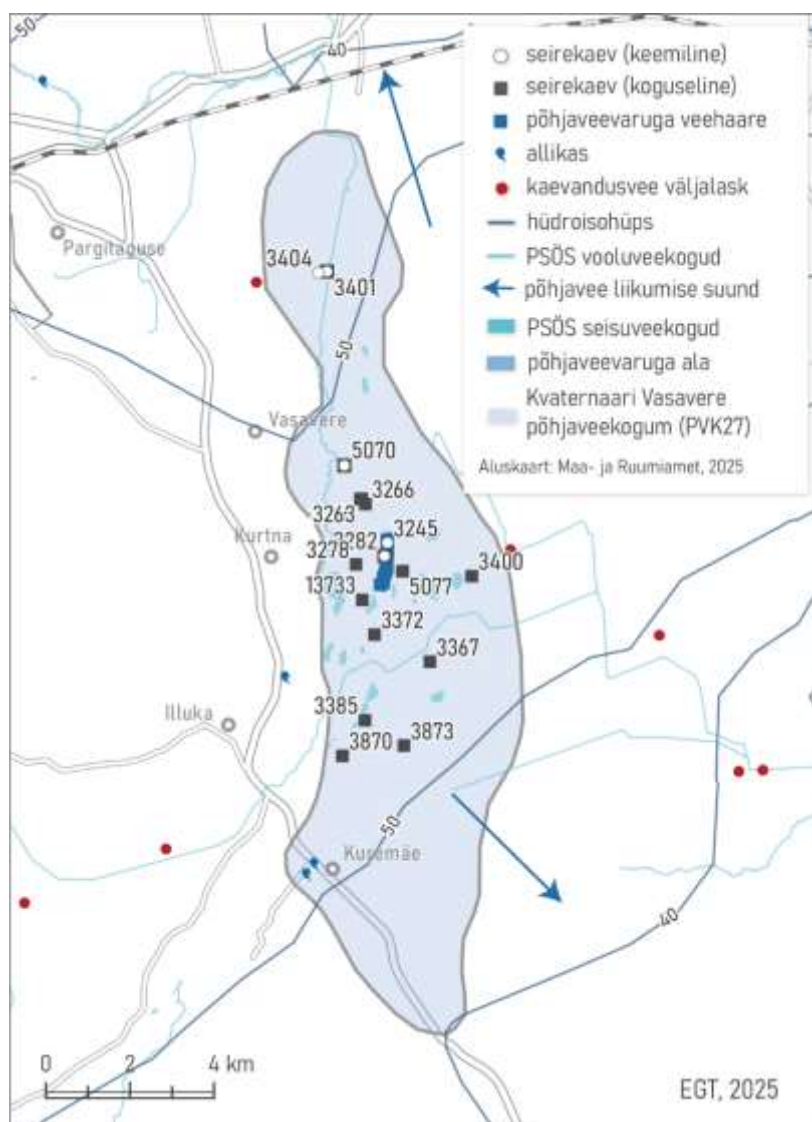
<p><u>Seosed pinnaja maismaa- ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)</p>	<p>Seotud vooluvee- ökosüsteemid</p>	<p>-</p>
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p><i>Kogumiga seotud seisuveeökosüsteemid:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • VEE2025800 Suurjärv (Kurtna Suurjärv) • VEE2025900 Valgejärv (Kurtna Valgejärv) • VEE2027700 Väike Linajärv (Kurtna Väike Linajärv)
	<p>Seotud maismaaökosüsteemid</p>	

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Halb <i>PVK halvas koguselises (Test 7) seisundis: Kurtna järvede ja põhjavee seoste kontseptuaalse mudeli ning seiretulemuste analüüsil leiti, et Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumist veevõtu negatiivne koguseline mõju põhjaveekogumist sõltuvatele Martiska järvele ja Kuradijärvele on igakülgset tõendatud (Terasmaa et al. 2019)</i>
	Keemiline seisund	Halb <i>PVK halvas keemilises (Test 1 ja 3) seisundis: NH_4^+ ja PHT_{Mn} kõrgeenenud sisaldustest ning üldisest kasvutrendist põhjaveekogumis;</i>
	Üldseisund	Halb

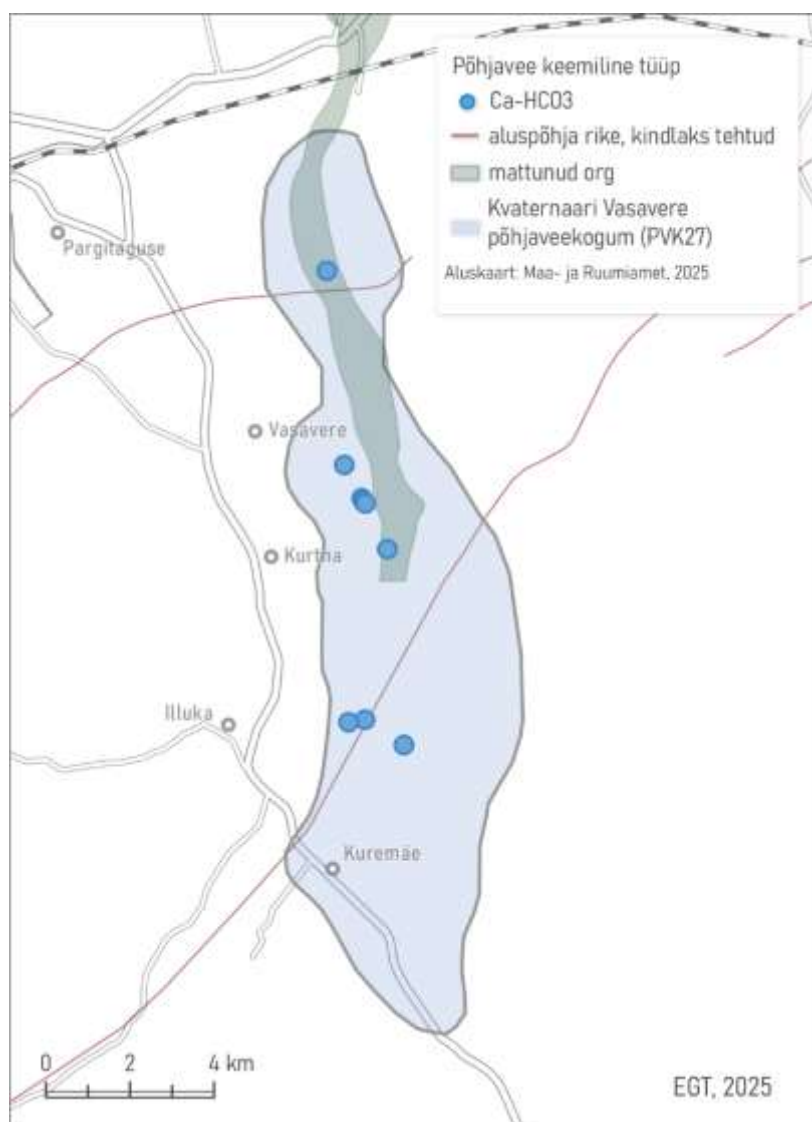
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	13725
	Põhjavee kinnitatud varu	8000
	Põhjaveevõtt 2023. a	5841
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	2159
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	5725
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	7884



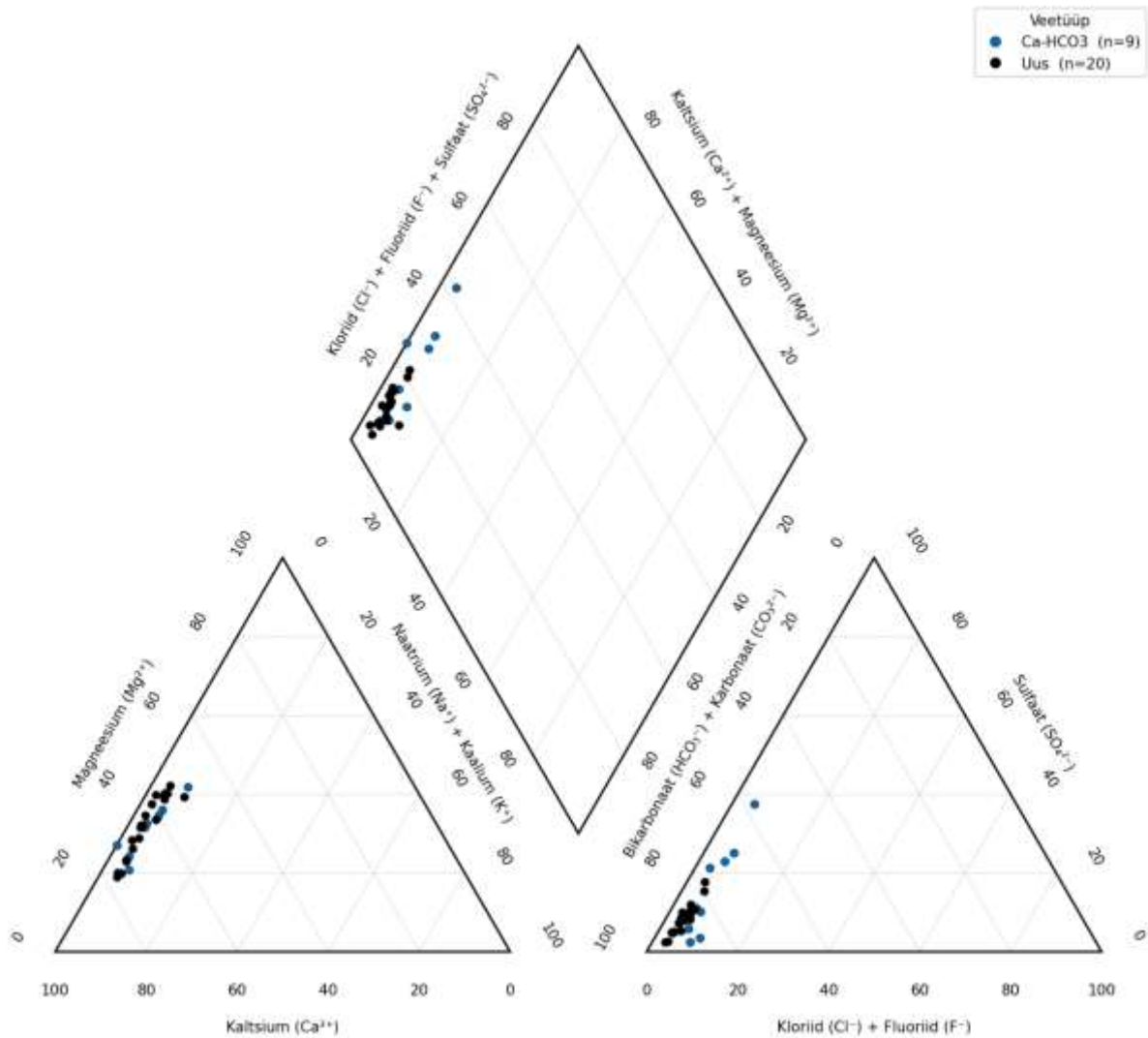
Joonis 1. Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi (PVK nr. 27) kontseptuaalse mudeli läbilõige.



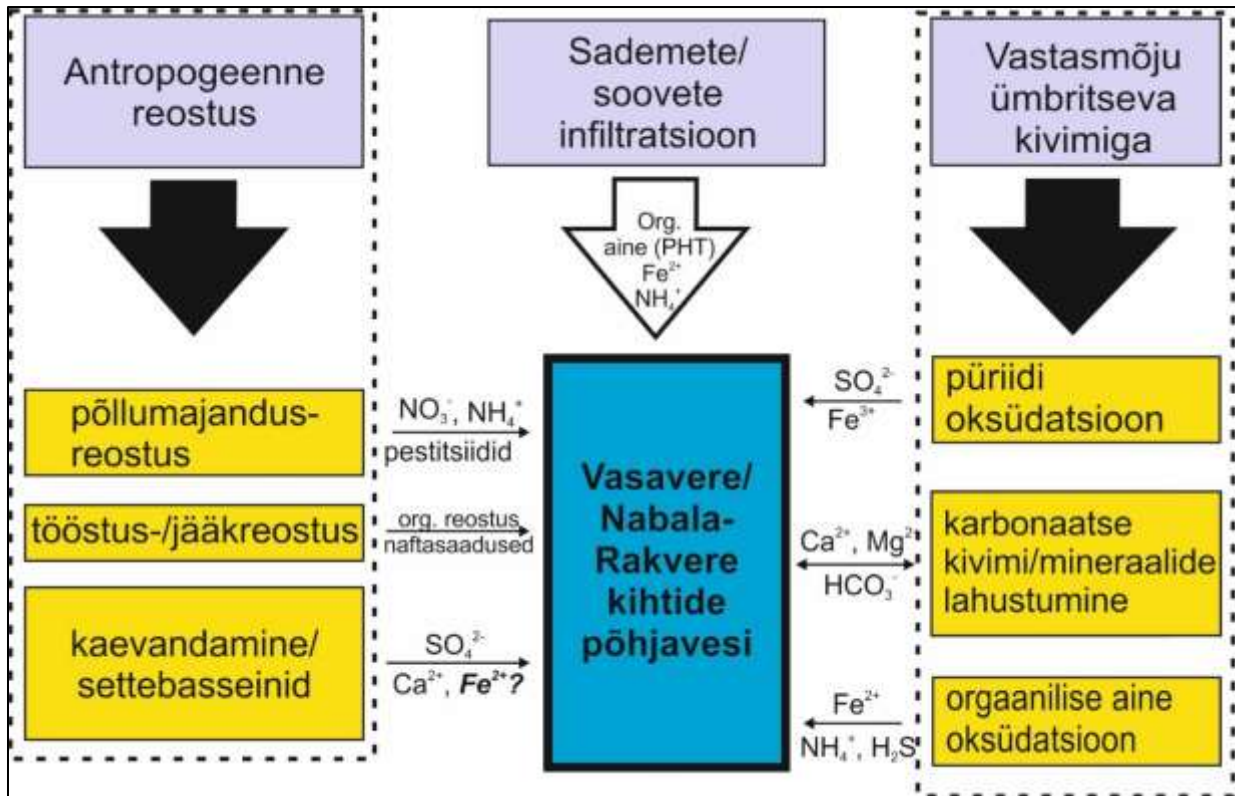
Joonis 2. Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi (PVK nr. 27) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad Eesti regionaalsest põhjaveemudelist (Vallner & Porman, 2016). PKS – põhjaveekogumiga seotud.



Joonis 3. Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 4. Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 6. Kvaternaari Vasavere põhjaveekogumi ja esimese aluspõhjalise Nabala Rakvere põhjaveekihi Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogumi koosseisus (PVK nr. 7, 27) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

Erg, K., 2005. Groundwater sulphate content changes in Estonian underground oil shale mines. Energia- ja geotehnika dissertatsioonid AAED02. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, Tallinn.

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

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

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditudliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

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

PVK 28. Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
28	Ida-Eesti vesikond	Avatud, liivakivi avamus	Kvaternaari	Tartumaa	8,85

				JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Kogumi moodustab Raadi-Maarjamõisa ürgorg, koo sellega piirnevate aladega. Litoloogilises koostises valdab erineva genesiga (glatsiofluviaalne, glatsiaalne) segateraline liiv kruusa, veeriste ja munakatega. Kohati esineb liivmoreeni (Polikarpus jt., 2017).		
	Kogumi paksus	Põhjaveekogumi paksus on väga muutlik, kõikudes vahemikus 30-75 m suurenedes mattunud oru keskosa suunas. Edelasuunas muutub org sügavamaks.		
	Lasuv veepide	Põhjaveekogum on vettpidavate setetega praktiliselt katmata ja nõrgalt kaitstud või kaitsmata.		
	Lamav veepide	Enamasti on vettandvad kihid ümbritsetud suhteliselt vettpidava moreenikompleksiga, mille filtratsioonikoefitsient on 0,01–1,0 m/ööpäevas. Olenevalt mattunud oru konkreetsest läbilõikest võib lamavaks veepidemeks olla ka Aruküla lademe savikad kihid ning mattunud ürgoru sügavamas osas isegi Narva lademe merglid.		
	Põhjavee survepind	Sõltub reljeefist kõigub piirides 1–30 m, valdavalt 10–15 m maapinnast (absoluutkõrgusel ~34-40 m; Polikarpus jt., 2017).		1

<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Põhjaveekogum on hüdrauliliselt seotud külgneva Kesk-Devoni põhjaveekogumiga Lääne-Eesti vesikonnas (nr. 24). Toitumine toimub sademetest ja Kesk-Devoni veekihtidest transiitvooluna saabuvast veest. Põhjavee liikumise suund on määratud põhjaveekogumit läbiva Emajõe ja töötava Meltsiveski veehaarde puurkaevude asendiga, mis	1
-----------------------	--------------------	--	---

		täielikult drenivad kogu põhjaveekogumi loodusliku ressursi.	
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	<p>Põhjaveekogumi liivade ja kruusade filtratsioonikoefitsient on valdavalt ~70 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on võrdlemisi muutlik, kuid ülekaalus on väärtused >1000 m²/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p> <p>Põhjaveevoolu liikumise kiirus sõltub eelkõige põhjaveevoolu hüdraulilisest gradiendist, mis tähendab, et võrreldes põhjaveekogumit läbivate ürgorgudega on põhjavee liikumise kiirus veehaarde suunas suurem (Perens jt., 2012). Põhjavee tegelik liikumiskiirus liivades on 0,001–0,15 m/ööpäevas, kruusakihtides on liikumise kiiruseks hinnatud 10–15 m/ööpäevas (Perens jt., 2012).</p>	
	Toitumine ja režiim	<p>Põhjaveekogum toitub avamusalal sademeveest ja Kesk-Devoni põhjaveekogumist transiitvooluna saabuvast veest. Raadi-Maarjamõisa oru piires toitub valdavalt Kvaternaari veekompleksi sademete veest, drenides ümbritsevat Kesk-Devoni veekompleksi ning väljavooluks on Emajõgi. Emajõgi on küll väljavoolualaks, kuid jõe põhja katab paks viirsavide kiht, mis takistab oluliselt liiva-kruusas volava vee jõudmist Emajõkke. Veetasemed viitavad, et põhjaveekogum toitub ka Toomeoru poolt tulevast veest (Polikarpus jt., 2017).</p> <p>Pikaajaliste vaatlusridade minimaalne aastane kõikumine on olnud 0,1-2,8 m ja keskmiselt 0,84 m (Perens jt., 2012).</p>	

Põhjavee koostis	Keemiline koostis	<p>Põhjaveekogumi vesi on valdavalt Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tüüpi, mineraalsusega 0,7–0,8 g/L (Perens jt., 2012). Vett iseloomustab suur karedus (7,5-9,5 mg-ekv/L). Põhjaveekogumi vee kvaliteet on aastaid olnud mõnevõrra suurenenud NO₃-sisaldusega, ulatudes 20–40 mg/L. Joogivee seisukohast on kogumi suurimaks kvaliteediprobleemiks peetud suurt looduslikku raua sisaldust, kuid laiaulatuslikum uuring (n=75; Polikarpus jt. 2017), tuvastas vaid kaks juhtu, kus raua sisaldus</p>	2, 3, 4
-------------------------	--------------------------	--	---------

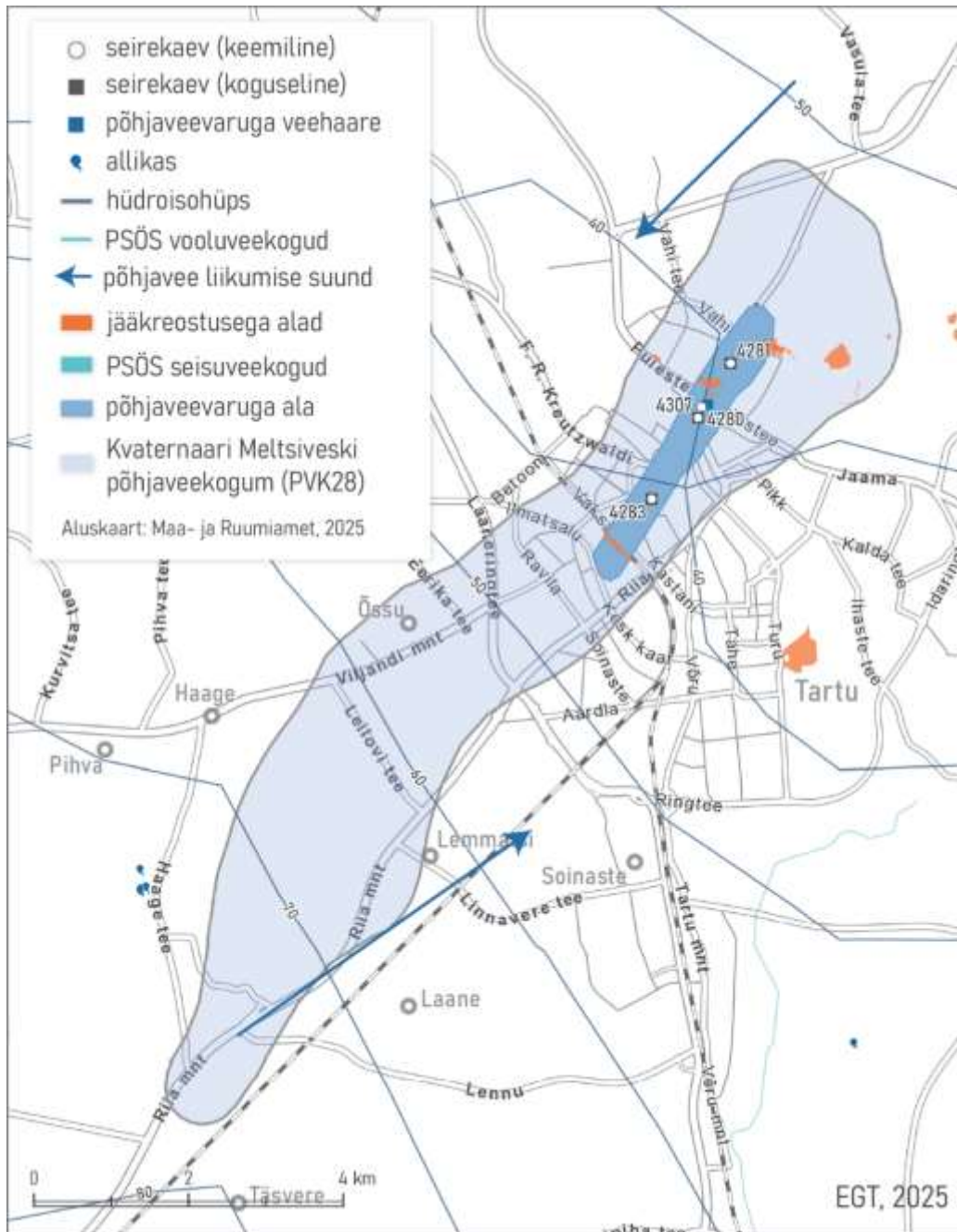
		<p>ületas piirsalduse 0,2 mg/L. Sulfaatide sisaldus kogumi põhjavees on keskmiselt ~50 mg/L.</p> <p>Riiklik põhjaveeseire kogumi keemilise seisundi näitajate osas olulisi kasvusuundumusi ei ole leidnud. Põhjaveekogumi vesi kujuneb osaliselt linnastunud alal ning sellest tulenevalt on selles suurenenud sulfaadi ja kloriidi sisaldused ning ohtlike orgaaniliste ainete (pestitsiidid, herbitsiidid, ravimijäägid) sisaldused põhjavees. Üksikutes seirepuuraukudes võib täheldada kloriidi sisalduse tõusutrendi. Naftasaadusi, fenoole ega PAH kogumi vees ei leitud (Tamm & Leisk, 2024).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Kuna olulisi veepidemeid põhjaveekogumil ei lasu siis levib kogumis tänapäevastest sademetest tekkinud põhjavesi. Seda kinnitavad ka mõõdetud $\delta^{18}\text{O}$ väärtused ($-11,3$ kuni $-12,2\text{‰}$), mis on sarnased tänapäevastele sademetele (Välkmann jt., 1992; Raidla jt., 2016). Nende väärtuste järgi kuulub kogum aktiivse veevahetuse vööndisse.</p> <p>Vee üldise keemilise koostise määrab Kesk-Devoni põhjaveekogumist pärinev Ca-Mg-HCO₃-tüüpi vesi, mis on kujunenud karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumise ja väiksemal määral ka püriidi oksüdatsiooni tulemusel. Kohati tuvastatud suuremad arseni sisaldused võivad olla seotud Devoni savides esinevate raudoksiidide ja -hüdroksiidide ning püriidiga, kus arseen võib esineda jälgelemendilise lisandina. Vesi kujuneb valdavalt linnastunud alal, kus on hulgaliselt nii punkt kui hajukoormusallikaid. Sellest ka kõrged NO₃⁻ ja suhteliselt kõrged Cl⁻ sisaldused. Viimane pärineb ilmselt eelkõige lumetõrje vahenditest talveperioodil.</p>	<p>5</p>

<p>Seosed pinna- ja maismaa-ökosüsteemidega</p>	<p>Seotud vooluvee-ökosüsteemid</p>	<p>Ei ole</p>
	<p>Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid</p>	<p>Ei ole</p>

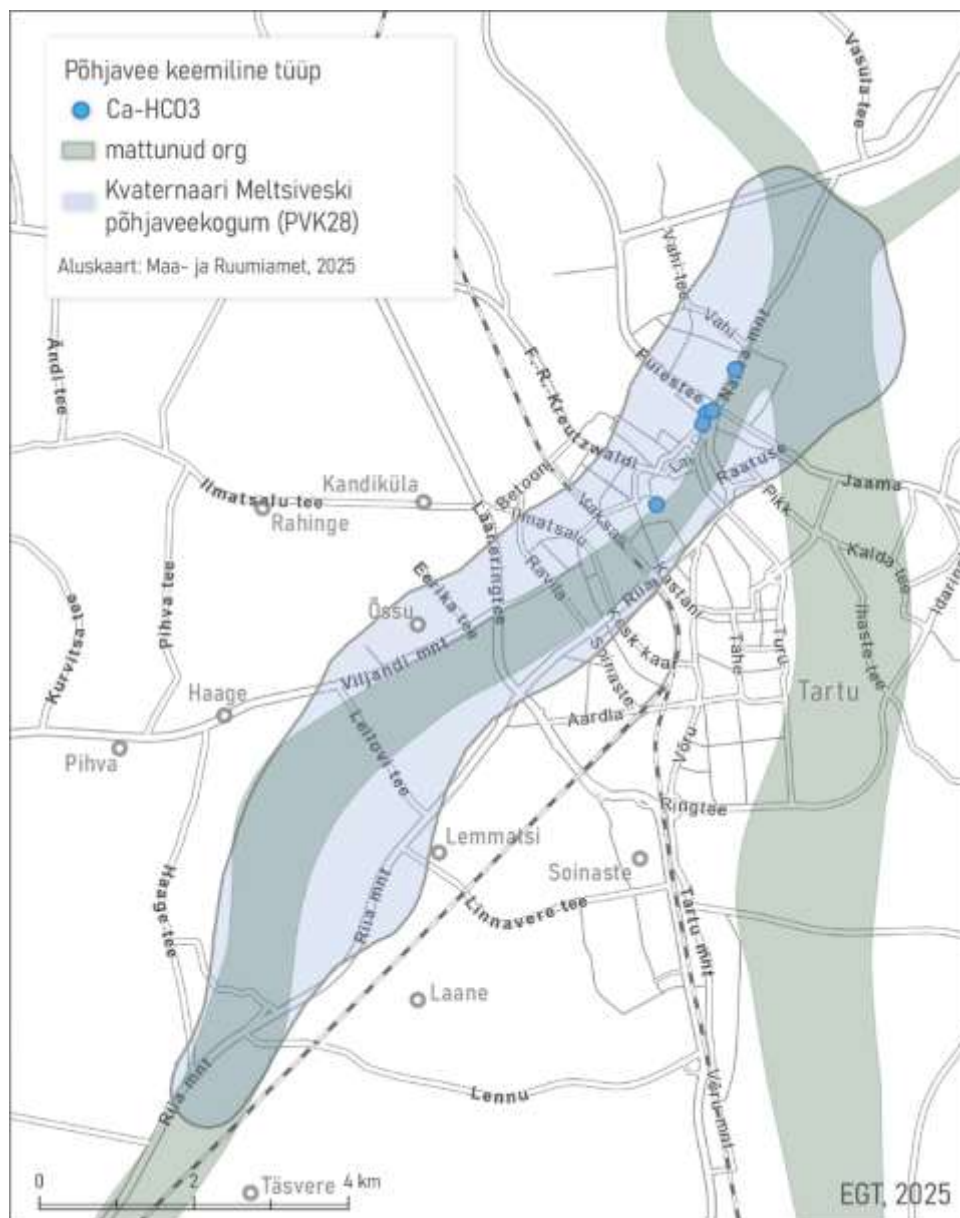
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole
--	-----------------------------------	--------

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

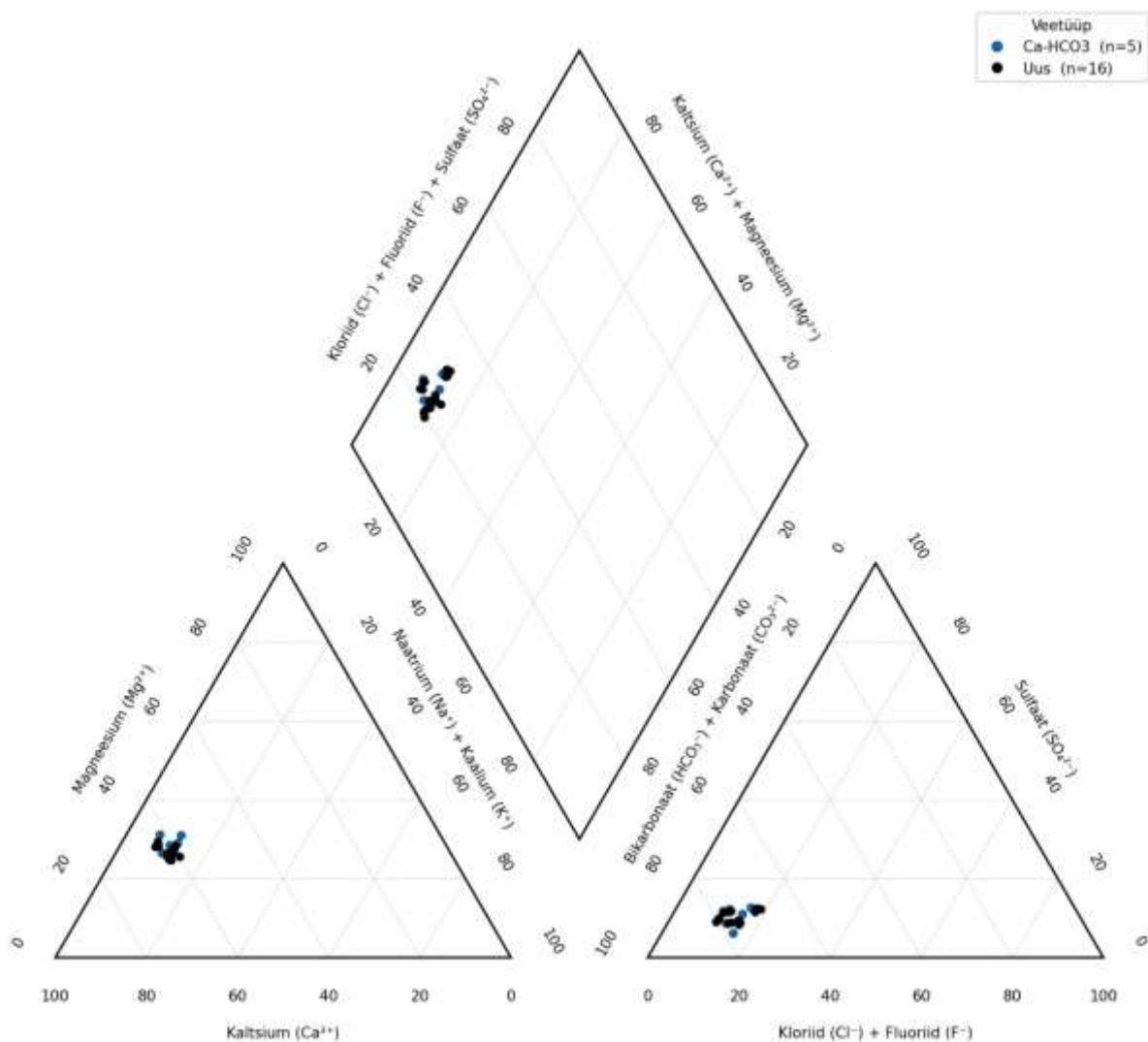
Põhjaveevarud (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	16745
	Põhjavee kinnitatud varu	7500
	Põhjaveevõtt 2017. a	5897
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	1603
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	9245
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	10848



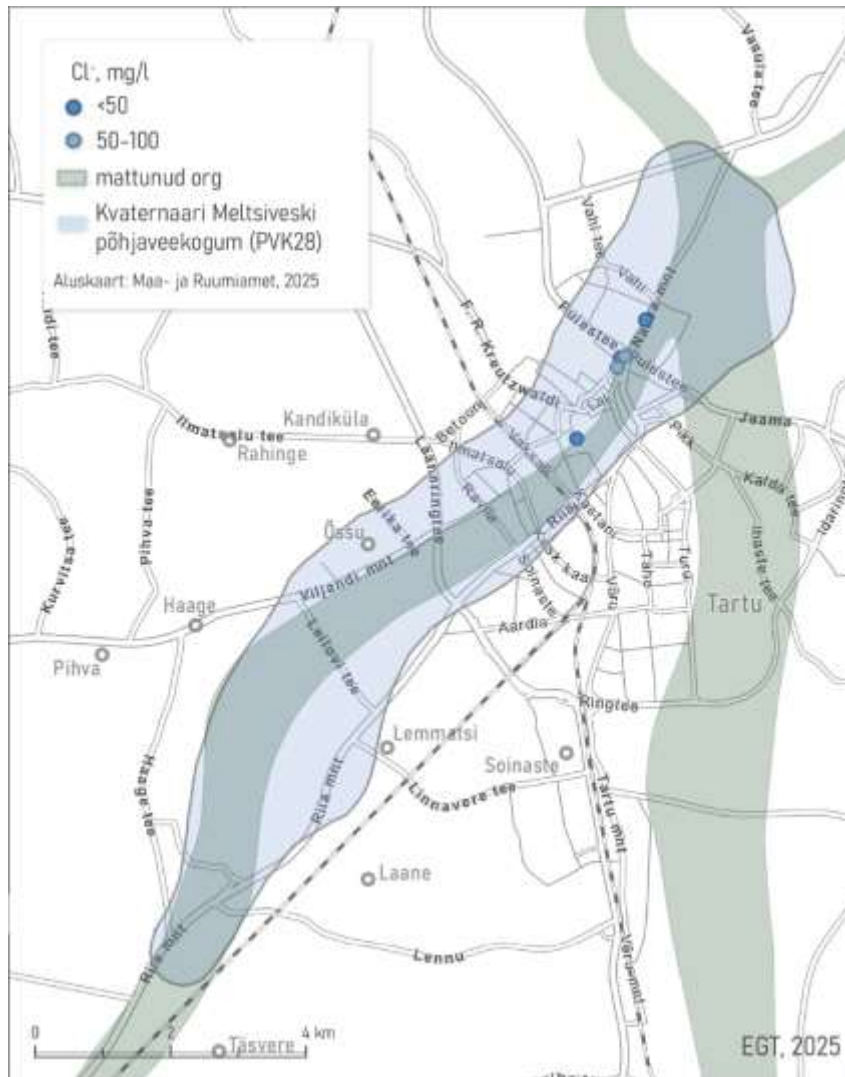
Joonis 1. Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogumi (PVK nt. 28) pindalaline kontseptuaalne mudel. Hüdroisohüpsid pärinevad eelmisest samateemalisest uuringust (Perens jt., 2012). PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



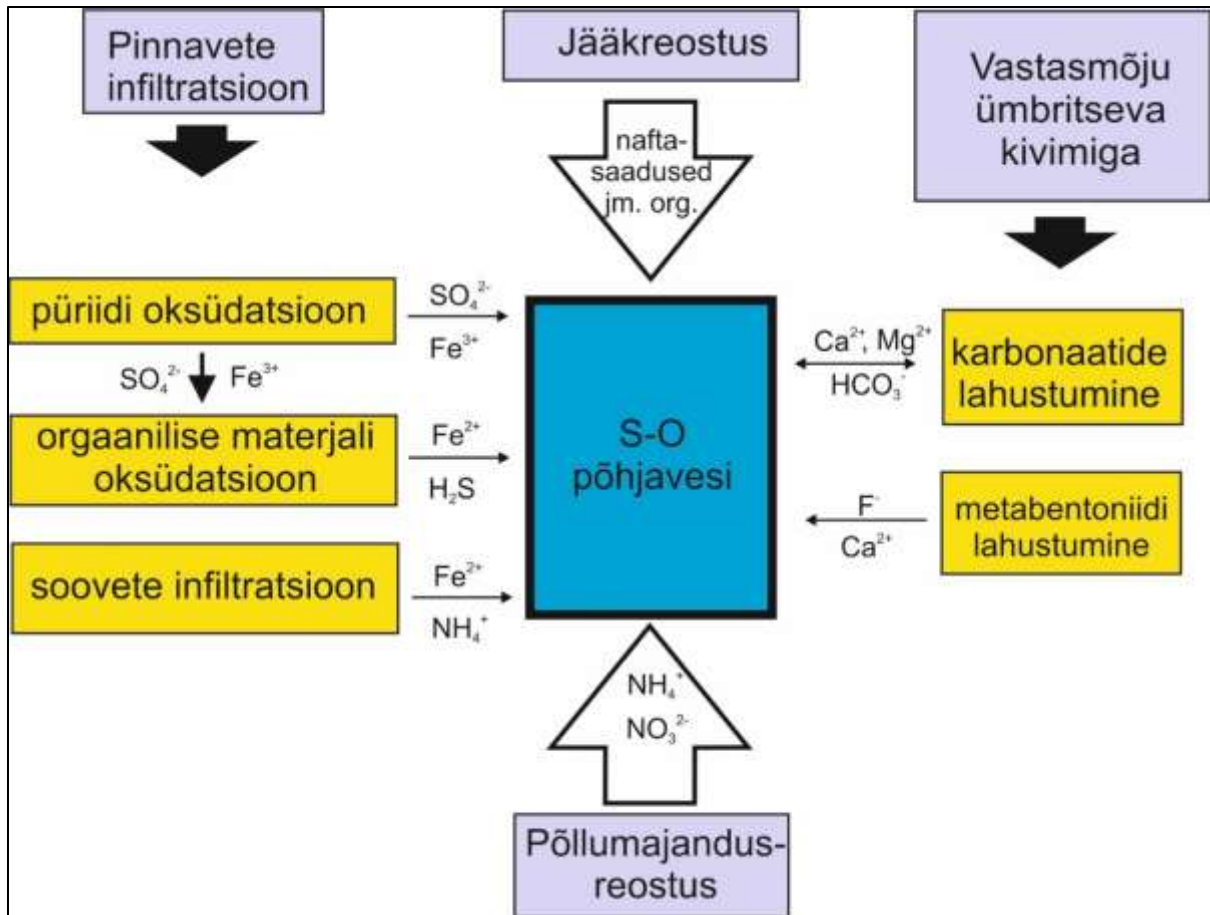
Joonis 2. Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid



Joonis 3. Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane.



Joonis 4. Kvaternaari Meltsiveski põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 5. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

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

Polikarpus, M., Karro, E., Jõelet, A., Rooni, K., 2017. Tartu linna põhjaveevarude ümberhindamine aastani 2045. Tartu Ülikool, Tartu.

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

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

Välkmann, S., Savva, V., Otsmaa, M., Boldõreva, N., Simm, D., 1992. Tartu põhjaveevaru hinnang. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF 4606

PVK 29. Kvaternaari Männiku-Pelguranna põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
29	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, karbonaatkivimite avamus	Kvaternaari	Harjumaa	114,7

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	<i>Kivimite litoloogiline koostis</i>	Männiku-Pelguranna põhjaveekogumi moodustavad loode–kagusuunaliselt väljavenitatud kontuuridega hajusalt esinevad, valdavalt erineva geneesiga ja muutliku paksusega fluvioglatsiaalsed setted Tallinna linnas ning Saku, Kiili ja Rae vallas (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumi põhjaosas jagunevad veekihid kolme mattunud ürgoru vahel (Mustamäe-Pelguranna, Kesklinna ja Harku). Vettandvate kihtide litoloogilises koostises valdavad liiv, kruus ja veerised, Nõmme-Männiku sandur- ja deltasetted koosnevad valdavalt liivast.	
	<i>Kogumi paksus</i>	Vettandvad setted paiknevad erinevates ürgorgudes eri sügavustel. Harku orus esinevad vettandvad liivad, kruusad ja veerised kahel sügavusel: 25–50 m ja 80–115 m. Vettandvate kihtide paksused on üldjuhul 25–35 m. Samades piirides on vettandvate kihtide paksus ka teistes orgudes ja Nõmme-Männiku sandurtasandikul (Perens jt., 2012).	
	<i>Lasuv veepide</i>	Liustiku sulamisveest settinud liiva- ja kruusaalade põhjaveekiht on praktiliselt katmata ja kogum on nõrgalt kaitstud või kaitsmata. Mustamäe-Pelguranna, Kesklinna ja Harku ürgorgudes paiknevad veekihid on sageli teatud ulatuses kaetud jääjärveliste savidega. Üksikud veekihid on eraldatud ka erinevatel tasemetel esinevate moreenist koosnevate veepidemetega.	
	<i>Lamav veepide</i>	Enamasti on vettandvad kihid ümbritsetud suhteliselt vettpidava moreenikompleksiga, mille filtratsioonikoefitsient on 0,01–1,0 m/ööpäevas.	

	Põhjavee survepind	Nõmme-Männiku sandurtasandikul valdavalt 10–15 m, maksimaalselt 25 m maapinnalt (Perens jt., 2012). Tiskre oja ja Harku järve ääres, aga ka Mustamäel ja Õismäel esineb ka survelisi arteesiakaeve.	1
--	---------------------------	---	---

Hüdrodünaamika	Voolusuunad	Põhjavee liikumise suund on määratud Nõmme-Männiku sandurtasandiku kui põhilise toiteala asendiga, kust põhjaveevool toimub põhja suunas Kopli ja Kakumäe lahe poole (Perens jt., 2012). Kohalikuks väljalaks võib olla ka sandurtasandiku loodenõlva märgistav astang.	1
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Põhjaveekogumi liivade ja kruusade filtratsioonikoefitsient on valdavalt 5–10 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on muutlik, kuid ülekaalus on väärtused 50–300 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveevoolu liikumise kiirus sõltub eelkõige põhjaveevoolu hüdraulilisest gradiendist, kuid põhjavee tegelik liikumiskiirus liivades on 0,001–0,15 m/ööpäevas, kruusakihtides on liikumise kiiruseks hinnatud 10–15 m/ööpäevas.	
	Toitumine ja režiim	Nõmme-Männiku sandurtasandikult kui põhiliselt toitealalt toimub aastaringne põhjaveevool madalamatesse piirkondadesse – Harku ja Lilleküla tasandikule ning sealsetesse mattunud ürgorgudesse (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumi veetasemetes võib täheldada kevadisele suurveeajale iseloomulikku maksimumi, mida fikseeritakse tavaliselt aprilli lõpus, ja sujuvat langust kevadisest maksimumist suvisele miinimumile. Veetasemete kõikumise amplituud ületab harva 0,5–1,5 m (Perens jt., 2012).	

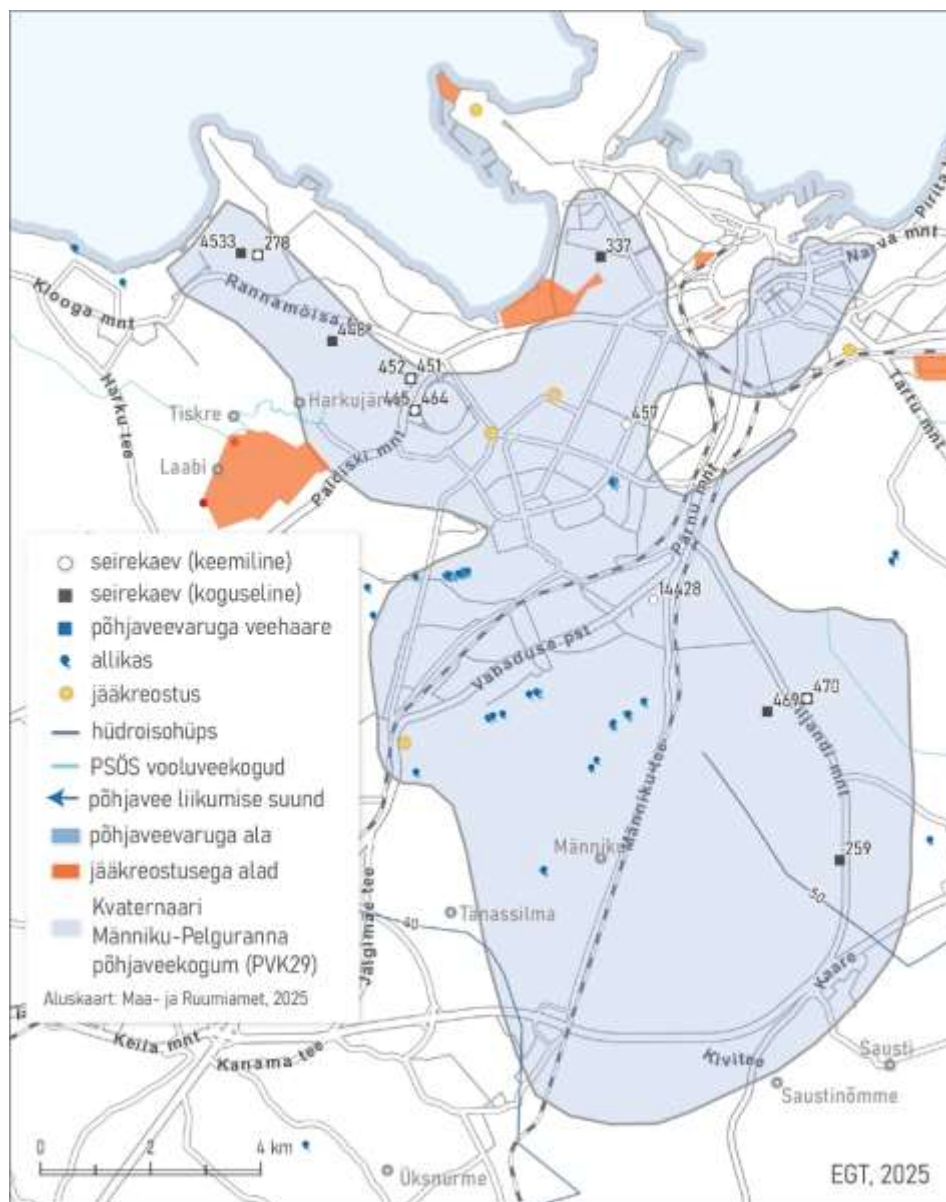
Põhjavee koostis	Keemiline koostis	Põhjaveekogumi põhjavesi on valdavalt Ca-Mg-HCO ₃ -tüüpi, mineraalsusega 0,2–0,4 g/L (Perens jt., 2012). Kogumi põhjaosas esineb ka Ca-Cl- ja Na-Cl-tüüpi vett. Põhjaveekogumi põhjavee NO ₃ ⁻ sisaldusega on väikesed ulatudes maksimaalselt 5 mg/L. Kohati on kogumis	2, 3, 4
-------------------------	--------------------------	--	---------

		<p>täheldatud suuremaid fosforiühendite sisaldusi (PO_4^{3-} 0,2-0,51 mg/l ja $\text{P}_{\text{üld}}$ 0.18-0.23 mgP/L; Tamm & Leisk, 2024). Joogivee seisukohast on kogumi suurimateks kvaliteediprobleemideks suured looduslikud raua (kuni 22 mg/L, keskmine 6 mg/L; joogivee piirsaldus 0,2 mg/L) ja ammooniumi (kuni 3,2 mg/L, keskmine 0,8 mg/L; joogivee piirsaldus 0,5 mg/L) sisaldused, mis ületavad kordades joogiveele lubatud piirsaldust. Kohati esinevad kogumis ka suured KHT väärtused (kuni 10 mg/L; Tamm & Leisk, 2024). Kloriidi sisaldused võivad kogumi põhjavees tõusta kuni ~300 mg/L ja sulfaadi sisaldused kuni ~140 mg/L.</p> <p>Riikliku seire käigus pole kogumis keemilise seisundi näitajate osas olulisi kasvusuundumusi esinenud. Üksikutes seirepuuraukudes võib täheldada kloriidi ja sulfaadi sisalduse vähest tõusutrendi. Kuna kogumi põhjavesi kujuneb valdavalt linnastunud alal, on kõrgeenenud sulfaadi ja kloriidi sisaldused ning ohtlike orgaaniliste ainete (pestitsiidid, herbitsiidid, ravimijäägid, PAH) esinemine põhjavees eeldatav (Tamm & Leisk, 2024).</p>	
	<p>Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel</p>	<p>Põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostis on väga muutlik ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused $-11,7$ kuni $-21,5\text{‰}$; Savitski jt., 1993; Raidla jt., 2009, 2016). Nende väärtuste järgi esineb kogumis nii tänapäevastest sademetest tekkinud põhjavett (vertikaalne vee juurdevool) kui ka liustikutekkelist põhjavett ümbritseva Kambriumi-Vendi põhjaveekogumiga (horisontaalne vee juurdevool).</p> <p>Ca-Mg-HCO_3-tüüpi vesi on kujunenud moreenis ja teistes Kvaternaari setetes esinevate karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumise tulemusena. Põhjavees esinev suur looduslik raua sisaldus viitab redutseerivate tingimuste esinemisele kogumiga seotud põhjaveekihtides. Suuremad kloriidi sisaldused võivad olla seotud linnastunud alaga, kus on hulgaliselt nii punkt kui hajukoormusallikaid ja toimub talvine teede soolamine. Samuti võivad kloriidi suured sisaldused olla seotud vee juurdevooluga Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksist.</p>	5

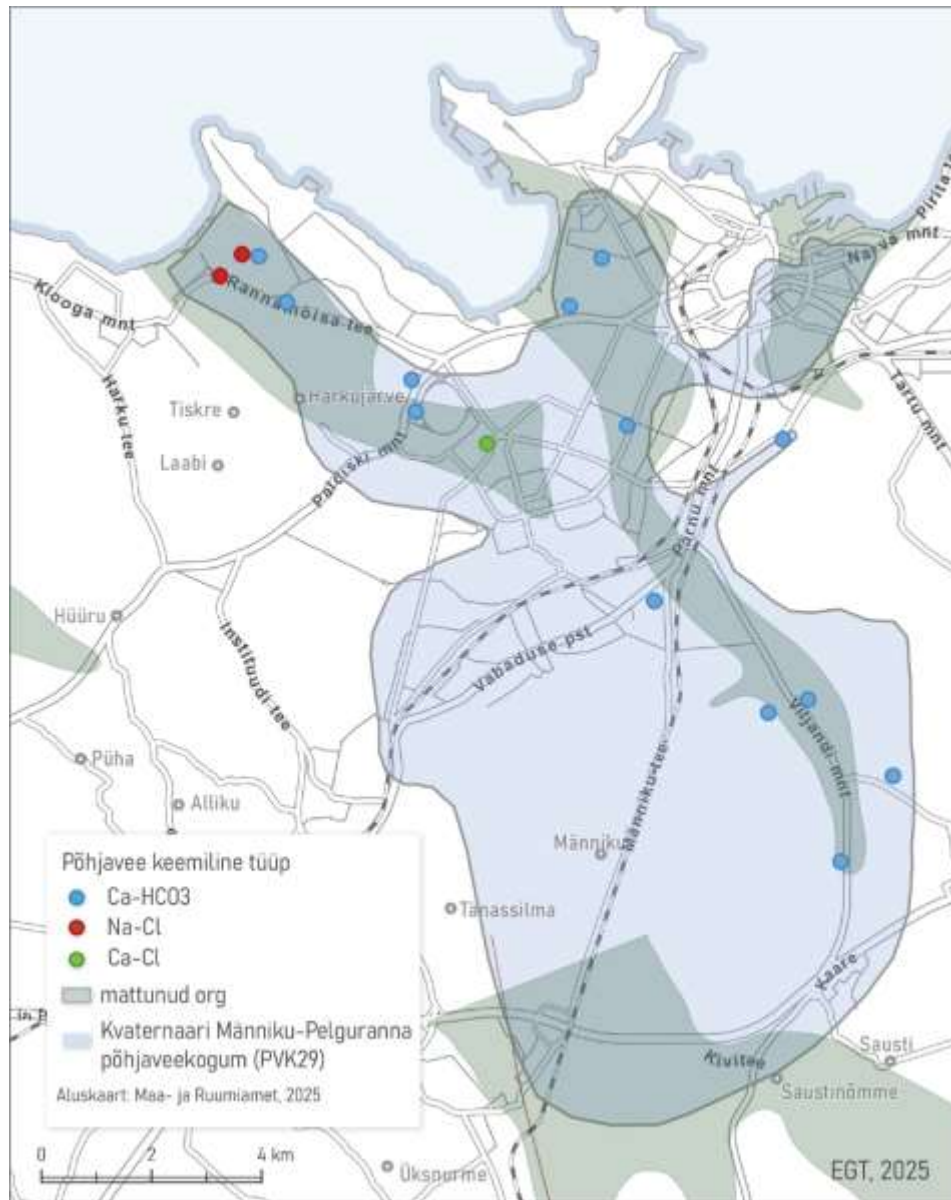
Seosed pinna- ja maismaa- ökosüsteemidega (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee- ökosüsteemid	
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	
	Seotud maismaaökosüsteemid	<ul style="list-style-type: none"> PSMÖS_139 Männiku (Valdeku) raba edelaosa madal- ja õõtsiksoo

Seisundi hinnang (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	Hea
	Üldseisund	Hea

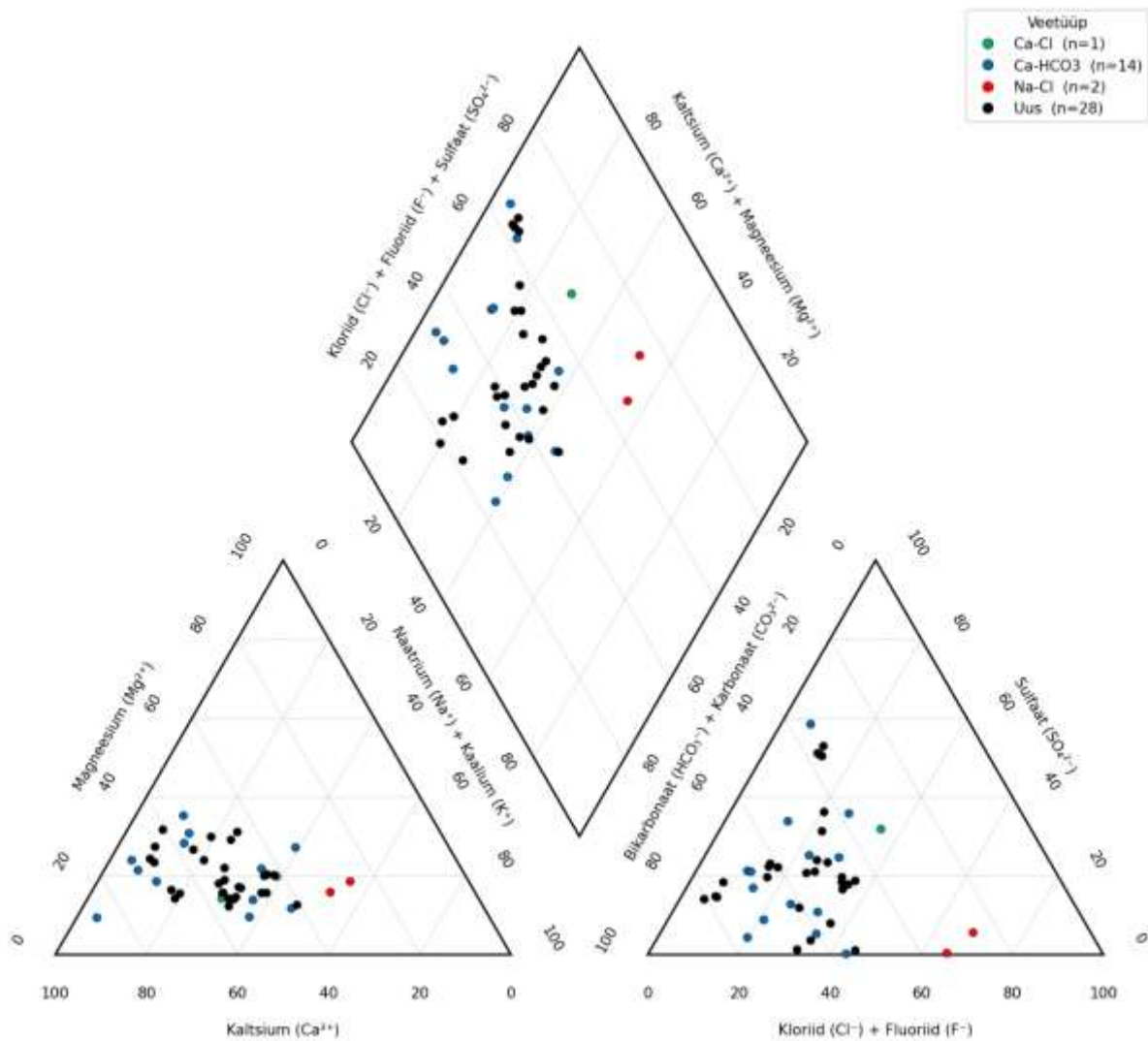
Põhjaveevarud (m³/ööpäevas)	Looduslik ressurss	34168
	Põhjavee kinnitatud varu	-
	Põhjaveevõtt 2017. a	414
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	-414
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	34168
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	33754



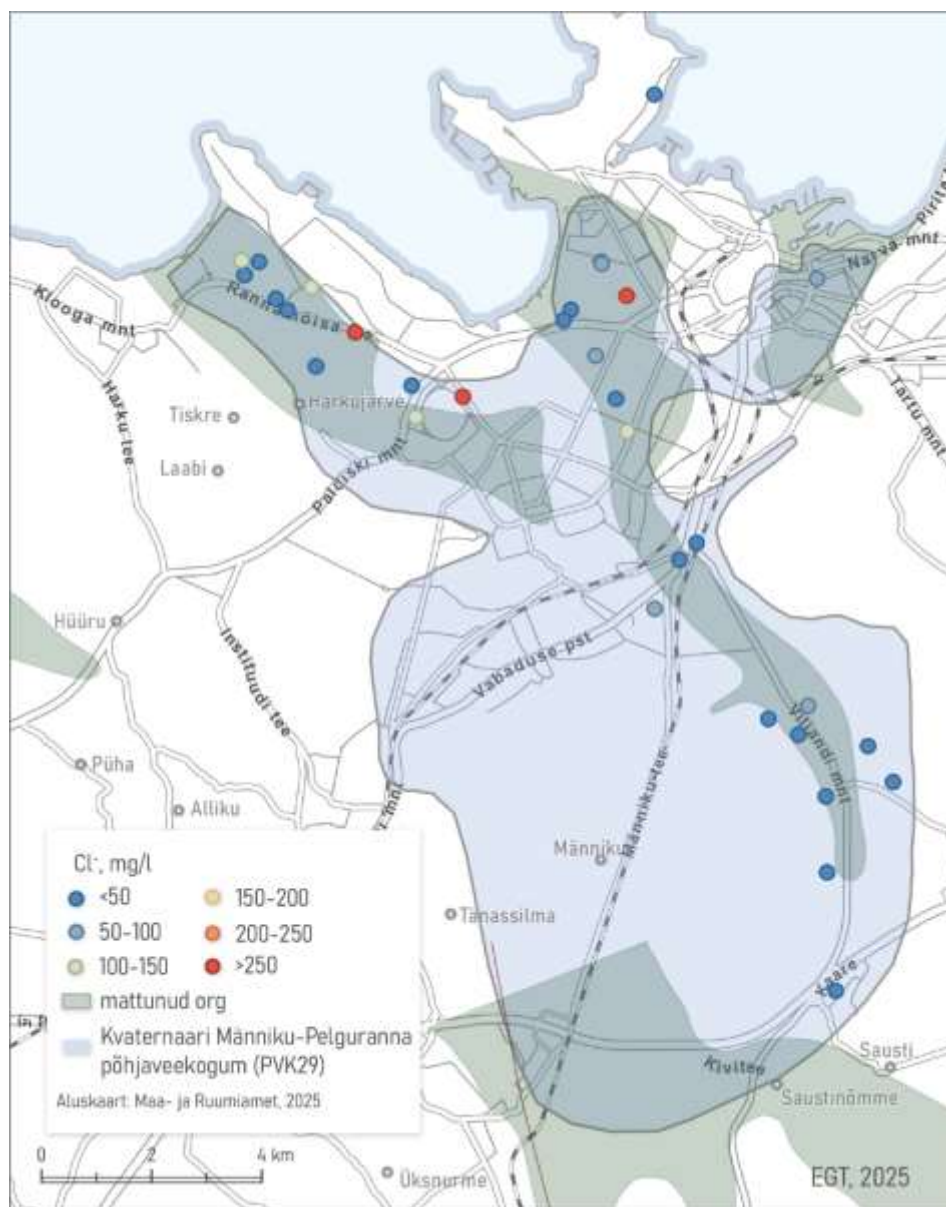
Joonis 1. Kvaternaari Männiku-Pelguranna põhjaveekogumi (PVK nr. 29) pindalaline kontseptuaalne mudel. PSÖS – põhjaveekogumiga seotud ökosüsteemid.



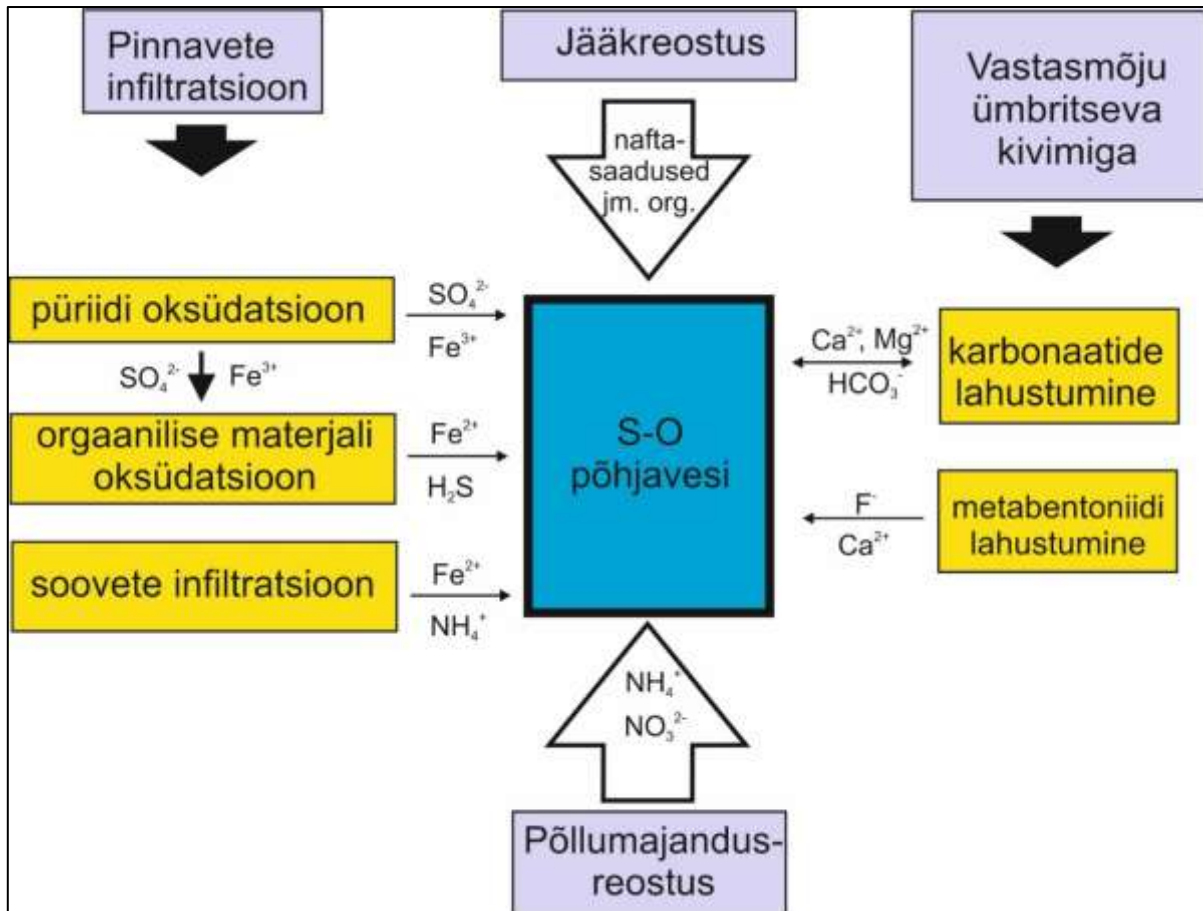
Joonis 2. Kvaternaari Männiku-Pelguranna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 3. Kvaternaari Männiku-Pelguranna põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.



Joonis 4. Kvaternaari Männiku-Pelguranna põhjaveekogumi põhjavee kloriidide sisaldus.



Joonis 5. Siluri Ordoviitsiumi Ida-Viru, Harju, Pandivere ja Adavere-Põltsamaa ning Kvaternaari Meltsiveski ning Männiku-Pelguranna põhjaveekogumite (S-O; PVK nr. 6, 10; 13-16; Q; PVK nr. 28, 29) keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel.

Kasutatud kirjandus

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

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

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

Savitski, L., Viigand, A., Belkina, V., Jaštšuk, S., 1993. Põhjaveevaru hinnang Tallinna veehaaretel. Põhjavee otsing Tallinna ja ümbruse veevarustuseks. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF 4652

Tamm, I., Leisk, Ü., 2024. Põhjaveekogumite ja nitraaditundliku ala põhjavee seire 2023.a. Eesti Keskkonnauuringute Keskus OÜ, Tallinn.

PVK 31. Kvaternaari Prangli põhjaveekogum

PVK nr.	Vesikond	Põhjaveekogumi tüüp	Põhjaveekompleks	Maakond	Pindala (km ²)
31	Lääne-Eesti vesikond	Avatud, saared ja rannik	Kvaternaari	Harjumaa	7,4

			JOONIS
<u>Hüdrogeoloogiline iseloomustus</u>	Kivimite litoloogiline koostis	Väga muutliku terasuurusega liiv ja kruus. Esineb väga peeneteralist liivafraktsiooni, samuti peeneteralist kruusa ja ka orgaanilisi setted (Liivrand, 1991). Mõlemad võivad esineda läätsjate vahekihtidena. Kogumi lõunaosas levivad ka Ediacara vähetsementeerunud liivakivid.	
	Kogumi paksus	Põhjaveekogum levib praktiliselt üle kogu saare, kuid tema tusedam, joogiveena praktilist tähtsust omav ala piirdub saare kesk- ja idaosas esineva liivade levilaga (Kelnase sadam – Idaotsa küla).	
	Lasuv veepide	Meresetete liiva- ja kruusaala poorne vabapinnaline põhjaveekiht on kohati praktiliselt katmata, aga saare geoloogilises läbilõikes esineb kohati ka halva vee veejuhtivusega savi, viirsavi ja moreeni.	
	Lamav veepide	Valdavalt kristalne aluskord.	
	Põhjavee survepind	Põhjavee tase sõltub reljeefist ja on valdavalt absoluutkõrgusel 2–4 m (Perens jt., 2012). Mererannas on veetase ~0 m, kõrgete luidete kohal kuni 8 m üle merepinna (Perens jt., 2018).	1

<u>Hüdrodünaamika</u>	Voolusuunad	Põhjavee liikumise suunad on määratud põhjaveekogumi saarelise asendiga. Saare kõrgematelt liivaaladelt liigub põhjavesi radiaalselt mere suunas.	1
	Filtratsioonikoefitsient ja põhjaveevoolu kiirus	Põhjaveekogumit moodustavate põhjaveekihtide filtratsioonikoefitsient on valdavalt 1–3 m/ööpäevas, keskmiselt 2 m/ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjaveekogumiga seotud põhjaveekihtide veejuhtivus on veekihi paksust arvestades väike –10–50 m ² /ööpäevas (Perens jt., 2012). Põhjavee	

		liikumiskiirus liivades on orienteeruvalt 0,02–0,2 m/ööpäevas Madala lääneranna suunas on vesi vähe liikuv (Perens jt., 2012).	
	Toitumine ja režiim	Põhjavee toitumine on eranditult kohalikest sademetest ning toitumise intensiivsus sõltub Kvaternaari setete koostisest. Veetasemete kõikumise amplituudid jäävad enamasti vahemikku 0,3–1,0 m, keskmiselt 0,5 m (Perens jt., 2012).	1

<u>Põhjavee koostis</u>	Keemiline koostis	Põhjaveekogumi põhjavesi on valdavalt Ca-HCO ₃ tüüpi, vees lahustunud mineraalainete sisaldusega 0,2–0,4 g/L. Joogivee seisukohast on kogumi suurimateks kvaliteediprobleemideks suured looduslikud raua sisaldused (kuni 20 mg/L, keskmine 9 mg/L), KHT väärtused (kuni 50 mg/L) ja madal pH (5,8-6,5), mis ei vasta joogiveele kehtestatud piirsisaldustele (vastavalt 0,2 mg/L, 0,5 mg/L ja 6,5-9,5). Vaatamata mere lähedusele on kloriidi sisaldused suhteliselt väikesed (20–30 mg/L). (Raidla ja Tarros, 2023)	2-3
	Keemilise koostise kujunemise kontseptuaalne mudel	Põhjaveekogumi põhjavee isotoopkoostis on lähedane tänapäevastele sademetele ($\delta^{18}\text{O}$ väärtused $\sim -11,0\text{‰}$; Tarros jt., 2019) ehk kogum kuulub aktiivse veevahetuse vööndisse. Keemiline koostis on valdavalt kujunenud silikaatse settematerjali lahustumisest. Viimane võib-olla ka kogumi veest leitud suuremate Al ³⁺ kontsentratsioonide (0,5 mg/L) allikaks. Saare geoloogiline läbilõige ja põhjavees esinevad väikesed Ca ²⁺ (kuni 10 mg/L), Mg ²⁺ (kuni 9 mg/L) ja HCO ₃ ⁻ (kuni 50 mg/L) kontsentratsioonid näitavad, et karbonaatsete mineraalide (kaltsiit, dolomiit) lahustumise mõju põhjavee keemilisele koostisele on väike. Seega ei toimu sademete infiltreerumisel maapinda olulist pH puhverdumist ja põhjavesi säilitab sademetele omase nõrgalt happelise reaktsiooni (pH väärtused vahemikus 5,8-7,0). Põhjaveekogumi sügavamas osas avaldab mõju Kvaternaari setetes leiduva orgaanilise materjali oksüdeerumine, mistõttu põhjavees on kujunenud väga redutseeruvad tingimused ja seal esineb metaani. Vees leiduvad	

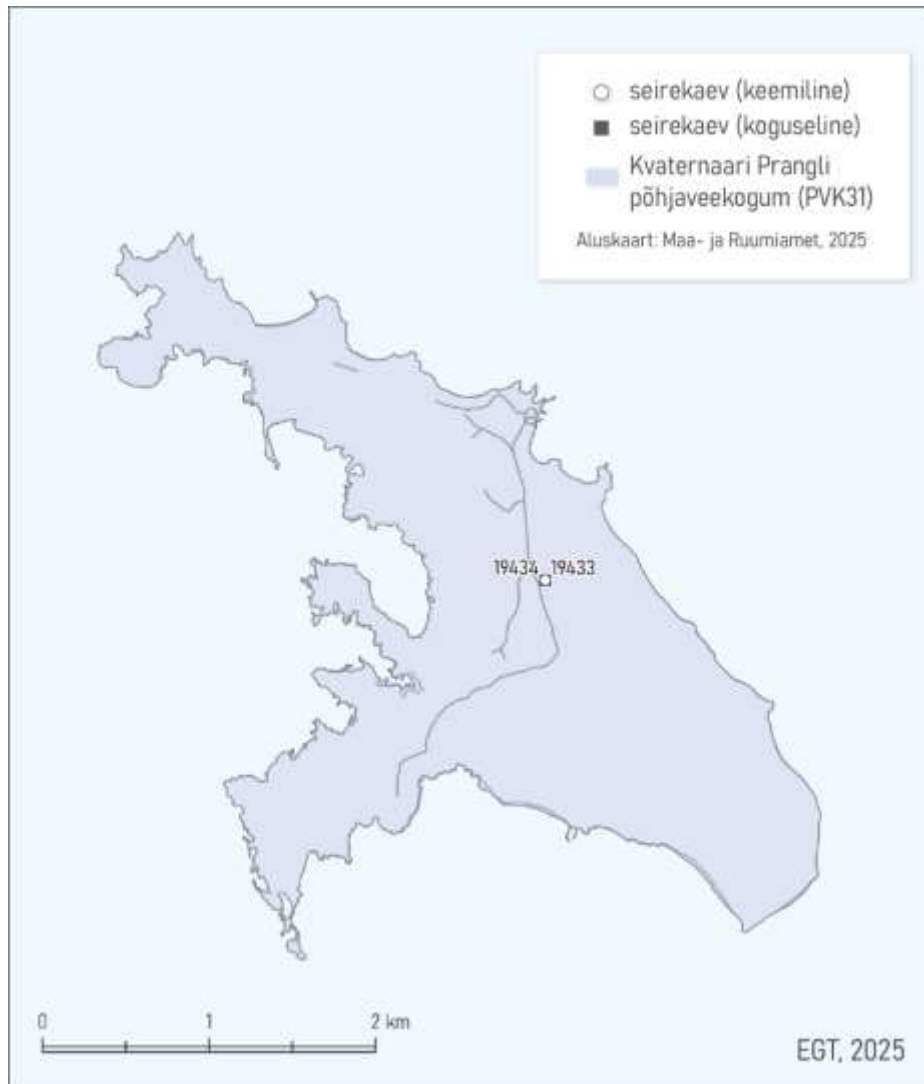
		kõrgemad KHT näitajad võivad olla samuti seotud orgaanilise aine lagunemisega. (Raidla ja Tarros, 2023)	
--	--	---	--

<u>Seosed pinnajärg- ja maismaa-ökosüsteemidega</u> (Vainu, jt. 2025)	Seotud vooluvee-ökosüsteemid	Ei ole
	Seotud seisuveeökosüsteemid ja karstiobjektid	Ei ole
	Seotud maismaaökosüsteemid	Ei ole

<u>Seisundi hinnang</u> (Marandi jt., 2020)	Koguseline seisund	Hea
	Keemiline seisund	<p>Halb</p> <p><i>Halb keemiline seisund (Test 1):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Mõlemas seirekaevus on märkimisväärselt ületatud keemilisele hapnikutarbele kehtestatud piirväärtus (5 mgO/l) ning seirekaevude pH väärtused jäävad pisut allapoole soovituslikku intervalli (6-9); Keemilise hapnikutarbe osas kulgeb trendijoon kehtestatud piirväärtust tähistavast joonest kõrgemal kogu seireperioodi jooksul ning nähtav on trendijoone tõus
	Üldseisund	Halb

<u>Põhjaveevarud</u> (m ³ /ööpäevas)	Looduslik ressurss	740
	Põhjavee kinnitatud varu	
	Põhjaveevõtt 2023. a	28

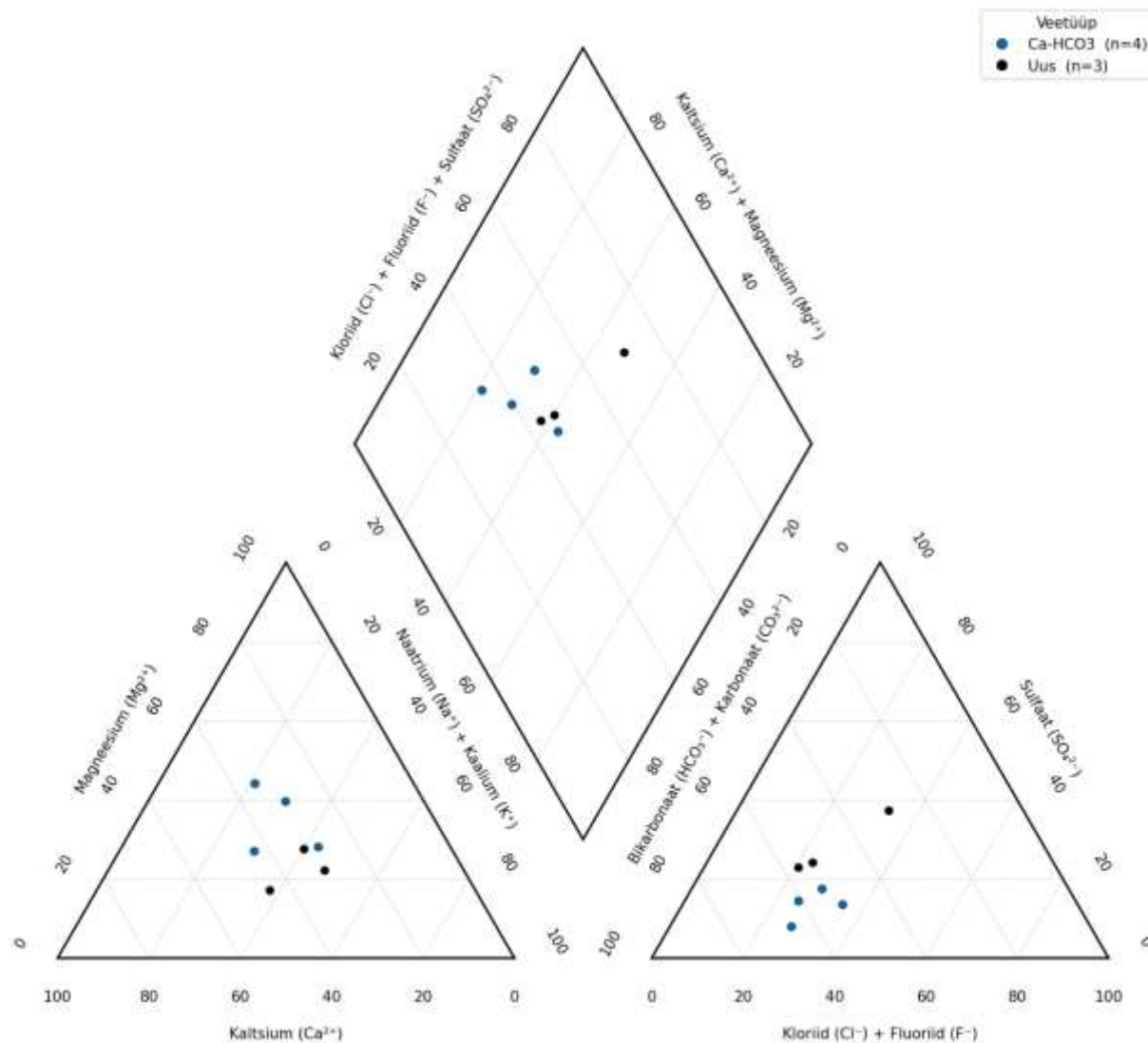
	Kasutuses olev vaba põhjavee kogus	
	Minimaalne looduslik vaba ressurss	740
	Minimaalne looduslik kasutatav veehulk	712



Joonis 1. Kvaternaari Prangli põhjaveekogumi (PVK nr. 31) pindalaline kontseptuaalne mudel.



Joonis 2. Kvaternaari Prangli põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid.



Joonis 3. Kvaternaari Prangli põhjaveekogumis esinevad põhjavee keemilised tüübid Piper'i diagrammil. Veetüübid: Ca-HCO₃ – sinine; Ca-Cl – roheline; Na-HCO₃ – kollane; Na-Cl – punane. Uus tähistab viimase perioodi (2022-2027) tulemusi.

Kasutatud kirjandus

Raidla, V., Tarros, S., 2023. Viimsi valla ja Prangli saare joogi- ja põhjavee seire 2022. aastal. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.

Tarros, S., Pärn, J., Raidla, V. 2019. Viimsi valla ja Prangli saare joogi- ja põhjavee seire 2018. aastal. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere.