

# Eesti hüdrokeoloogilised uurimised 1691–2021

Leo Vallner

Eesti Geoloogiateenistus

## Sissejuhatus

Alates 17. sajandi lõpust kuni praeguseni on kogunenud palju kirjalikke andmeid Eesti põhjaveekeskonna ja selle uurimise kohta. Seda teavet on varem mitmel korral kokkuvõtlikult käsitletud. Vahemikus 1820–1975 avaldatud trükiste ja aastatel 1918–1975 koostatud käsikirjade bibliokirjed, referaadid ning temaatilised kokkuvõtted sisalduvad enamasti koguteoses „*NSVL geoloogiline uuritus*“ (Heinsalu, I. 1969; Heinsalu, I. ja Lugus 1988; Heinsalu, I. ja Neiman 1966, 1987; Heinsalu, I. jt 1974; Klaamann 1968; Männil 1972; Müürisepp 1973, 1977, 1984a, 1984b). Kuni 1985. aastani tehtud hüdrokeoloogia-alased uurimised on refereeritud kogumikus „*Geoloogiateaduste ajalugu Eestis*“ (Karise jt 1986). Suhteliselt põhjaliku ettekujutuse Eesti Geoloogiavalitsuse ja Eesti Geoloogiakeskuse töödest annab raamat „*Eesti Geoloogiakeskus 70/50. Hüdrokeoloogia poolsajand*“ (Vingisaar ja Kivisilla 2008). Veebiportaalis *Eesti Geoloogiafond ja Geokirjandus (Eesti maapõue teavikute register)* oli 2021. a arvele võetud vastavalt 3127 ja 4367 hüdrokeoloogia-alast teavikut.

Kogu selles väga mahukas ja eripalgelises materjalis on ilma täiendavate suuniste ja selgitusteta raske orienteeruda. Ometigi tuleb Eesti põhjaveekihtkonna kestlikuks majandamiseks vajalikul määral tunda kõiki olulisi uuringuid. On tarvis teada, mis kaasaegse teaduse tasemest lähtudes kehtib jätkuvalt või vajab arendamist. Käesolev kirjutus esitab kokkuvõtliku ülevaate Eesti hüdrokeoloogiliste uurimiste tulemustest ja meetodikast süstematiseerituna ühiskonna arenguetappide ning uurimisasutuste kaupa kuni 2022. aastani (k.a). Selle alusel antakse soovitusi seniste uurimiste edendamiseks ja hüdrokeoloogide jätkusuutlikuks ettevalmistamiseks.

## Esimesed märkmed ja episoodilised uurimised

Arheoloogilised väljakaevamised on näidanud, et juba meie ajaarvamise teise sajandi alguses osati Eestis rajada sügavaid kaeve, mis olid raiutud paekihtidesse või kaevatud raketega kindlustatult kobedasse pinnasesse. Vanarahvas suhtus austusega allikatesse. Nende vett peeti puhtuse võrdkujuks ja tervistavaks (Vilbaste, K. 2013). Teadaolev esimene säilinud mäрге Eesti põhjaveeoludest pärineb praeguse Tartu Ülikooli eelkäija Academia Gustavo-Carolina meditsiiniprofessorilt L. Micranderilt, kes 1691. a kirjeldas (juun. 1) Helme lähedal asuvaid Koorküla allikaid, määras nende vooluhulga ja katsete alusel iseloomustas vett raua- ning väevliühendite rikkana ja ravitoimelisena (Heinsalu, Ü. 1993; Revalsche Post-Zeitung 1691). Järgmised säilinud andmed Helme, Koorküla, Küti, Leetse, Mõdriku, Norra, Prandi, Simuna, Voore jt allikate kohta esinevad 18. sajandi lõpul koostatud Eesti geograafilistes ülevaadetes (Fischer 1791; Hupel 1789; Rauch 1794).

Revalsche  
Post-Zeitung  
am Donnerstage/  
Anno 1691. den 8. Octobr.  
No. 81.<sup>4</sup>

Döryt/ vom 3 Octobr.

Nachdem Herr Laurentius Micrander, Medicinæ Doctor und Profess. bey dieser Königl: Academie, wie auch h. t. Rector, gesehen/ daß dieses Land mit vielen Spring-Quellen angefüllt / hat Er sich bemühet gut mineralisch Wasser oder Heyl: wien aufzufuchen/ um sich derer Proben zu erkundigen/ bis Er endlich den 5. verfloffenen Augusti bey dem Hese Kortüll/ so des Schl. Hn. Dörsten Ahnreys Erben gehörig/ auch aber an Hn. Johan von Wickeden/ Königl. Rentmeister in Riga/ verarendiret/ zwene Springquellen oder Heilbrunnen erkunden / dieser Hoff Kortüll liegt 1 Meile von Helmer/ 10 Meilen von Döryt/ 15 Meilen von Pernou und 22 Meilen von Riga/ gedachte Quellen aber liegen unter einen grossen Sandberg perpendicularer, und rinnen durch reinen Sand / da insonderheit die eine Quelle mit einer solchen force und starcken Ader springet und in die Höhe kochet/ daß Sie außs wenigste alle Stunde 7 a 8 Tonnen Wasser von sich gibt/ und nachdem sie durch unterschiedliche artificiales gemachte Probe befunden / daß es ein gut Martialisch Wasser/ welches nicht allein ViAriolum Martis, besonders auch Sulphur volatile zugleich mit acido occulto in guter Quantität in sich hält: Wor auß der Hr. Doct: gleich nach dessen Erfindung / obgleich die Zeit solcher Heilbrunnen sich zu bedienen verfloffen war / dennoch mit einigen Patienten sich dahin verfügt / mittelst trinckend und badend / des Wassers operation zu erfahren / da man es durch Gottes Segen recht gut befunden / so daß es per omnia emunctoria, sedes, urinam & sudores, die überflüssige scharffe Schleime stark abführet / und ein jeder Patient so sich vor dißmahl/ und war bey so später Jahreszeit/ dieses Wassers heilener/ vergnügt davon gezogen/ auch vermuthet der Hr. Doctor, daß wann hemelreines Wasser zu rechter Zeit wird gebraucht werden/ es durch Gottes Gnade capabel viele schwere Krauchheiten zu heben. Wovon mit nächster Zeit ausführlich sol berichtet werden.

Joonis 1. Esimene teadaolev säilunud mäрге eesti põhjavee-olude kohta (Revalsche Post-Zeitung 1691).

Senini võrdlusandmetena teadusliku väärtuse säilitanud tähelepanekuid Eesti põhjavee kohta publitseerisid Keiserliku Tartu Ülikooli (KTÜ) professor E. Eichwald ja vene akadeemik G. Helmersen (Karise jt 1986). Nad kirjeldasid Tallinnas Kopli poolsaarel asuva Patarei kindluse juurde 1842. a rajatud 91,5 m sügavust ja Lontova veepideme alustest liivakividest toituvat puurkaevu, kus looduslik veetase tõusis ühe meetri võrra kõrgemale merepinnast (Helmersen 1851).

Põhjavee kvaliteedi uurimisele keemiliste analüüsidega pani aluse KTÜ professor C. Schmidt vahemikus 1854–1889 avaldatud töödega. Ta sedastas, et juba tollal oli pinnakattesse rajatud salvkaevude vesi Tartus valdavalt reostunud nitraadiühenditega, ent Devonis sügavamad kihid ja Meltsiveski allikad andsid head joogivett (Schmidt 1863).

Järgnevalt, kuni aastani 1915, avaldasid R. Guleke, B. Doss, C. Kalt, J. Hemsendorf ja N. Pogrebov oma seisukohti Pärnu, Tartu ning Tallinna põhjaveearustuse võimaluste kohta. Omaaegsel tehnilisel kõrgtasemel olid aurumasinaga käitatud sünkroonsed katsepum-

pamised kahest glatsifluviaalsetesse kruusadesse rajatud puurkaevust Meltsiveski allikate juures (Kalt 1913). Pumpamised koos veetasemete automaatse registreerimisega kestsid katkestamatult kaks kuud ja kaevude keskmine kogudeebit oli 7085 m<sup>3</sup>/öp. Siinjuures märkigem, et Tartu Meltsiveski veehaarde käesoleval ajal kehtiv kinnitatud põhjaveevaru on 7500 m<sup>3</sup>/öp (Marandi jt 2020; Polikarpus jt 2017).

Eesti Vabariigis aastatel 1918–1940 süstemaatilisi hüdrogeoloogilisi uurimisi ei tehtud. Siiski koostas Baltimaade hüdroloogiakonverentsi puhuks esimese tervikliku ülevaate Eesti hüdrogeoloogiast hilisem Tallinna Tehnikaülikooli professor J. Kark (1928). Ta eristas põhjaveekihtkonnas selle litoloogiliste erisuste järgi Kvaternaari, Devoni, Siluri, Ordoviitsiumi, Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveeladestu ning iseloomustas nende hüdrauilisi omadusi ja vee kvaliteeti 47 puurkaevu andmete alusel.

Monograafilises uurimuses analüüsis E. Puksmann (1936) Järvselja katsemetskonna metsamaal asunud 30 pinnasekaevu vaatlusridu aastatest 1930–1934. Ta seostas pinnasevee ekstreemtasemete amplituudid ja esinemisajad kvantitatiivselt õhu niiskusesisalduse, lumikatte paksuse ning aeratsioonivöö külmumisega.

Esimese kogu Eestit hõlmava allikate andmekogu koostas 1936. a loodushuvilistele saadetud üleriigilise ankeetküsitluse alusel G. Vilbaste (Vilbaste, K. 2013). Ankeedis olid küsimused allika asukoha, avanemistingimuste, vooluhulga ja vee kvaliteedi kohta. Vastuseks saadi enam kui 3700 allika andmeid. Nende alusel oli võimalik eristada tõusu- ja languallikad, püsivalt ja sesoonselt voolavad, lõhedest ning kihipindadelt avanevad ja vee iseäralise maitsega allikad (Vilbaste, G. 1936).

## Uurimised nõukogude perioodil

### Üldolukord

Nõukogude Liidus oli geoloogia teadusliku ja meetoodilise uurimise eelisõigus kõrgematel õppeasutustel ja teaduste akadeemia ning geoloogiaministeeriumi instituutidel. Dissertatsioonina kaitstud uudse teadusliku sisuga uurimuse autorile võidi anda teaduste doktori või kandidaadi kraad, mis mõlemad on praeguses Eestis võrrutatud filosoofiadoktori (PhD) kraadiga. NSVL geoloogiaministeeriumile alluvate territoriaalsete geoloogiavalitsuste peaulesandeks oli eksperimentaal- ja vaatlusandmestiku kogumine ning sellest lähtuvate piirkondlike üldistavate aruannete koostamine, kusjuures tuli rangelt täita bürokraatlikul hierarhiaastmestikul kõrgemale seatud asutuste poolt välja töötatud ja riiklikul tasemel kinnitatud meetoodilisi juhendeid.

Kõik õigete geograafiliste koordinaatidega ja absoluutkõrgustega fikseeritud ruumikujud, sh topograafilised, geoloogilised, batümeetrilised jt kaardid olid salastatud. Samuti olid salajased nn strateegiliste maavarade, sealhulgas ka vee tarbimise ja põhjaveevaru andmed ning hulk muud teavet, mida geoloogiliste uurimuste juures käsitletakse. Seetõttu oli hüdrogeoloogilisi uurimusi raske publitseerida, sest just nende tuumaks olid sageli salajased materjalid, mida ei tohtinud avalikkuse jaoks määratud trükistes avaldada.

Teadustöökäsi vajalikku välismaist kirjandust, eriti uusimat perioodikat, oli väga tülikas hankida. Selle kasin ja juhuslik valik oli koondatud peamiselt üksikutesse Moskva ja Leningradi keskraamatukogudesse, mis olid raskesti kasutatavad väljaspool neid linnu resideeruva uurijaskonna jaoks. Internetiühendus puudus. Erakorrespondentsid välismaiste uurijatega oli kuni 1953. aastani ja hiljemgi veel poliitiliselt taunitav. Välismaistele uurimustele

võis kirjutamata seaduste järgi viidata vaid väga piiratud ulatuses, sest kõigiti tuli rõhutada vene ja eriti nõukogude teaduse prioriteeti ja juhtivat osa maailmas.

Kõik need asjaolud takistasid Nõukogude Liidus hüdrogeoloogilise meetoodika täiustamist ja seda eriti infotöötuse tehnoloogia ja hüdrogeoloogilise mudeldamise alal. Siiski, jäädava väärtuse on senini säilitanud uurimistega kogutud faktilise andmestiku korrektselt dokumenteeritud osa.

Mitmesugustes asutustes nõukogude perioodil tehtud ja Eesti hüdrogeoloogiat käsitlevate tööde tulemused vormistati reeglina mõne masinakirja-eksemplarina paljundatud aruannetena. Neid säilitatakse praegu Eesti Rahvusrhiivis ja ka teistes asutustes, mille eelkäijad omal ajal tegelesid põhjaveega. Enamik aruannetest on käesoleval ajal digiteeritud ning kättesaadavad veebiportaalist *Eesti Geoloogifond*. Kõigi hüdrogeoloogia-alase väärtteabe allikateks olevate aruannete bibliokirjed on esitatud käesolevas ülevaates.

## Tartu Riiklik Ülikool

Tartu Riiklikus Ülikoolis (TRÜ) algas üldgeoloogide ettevalmistus Nõukogude Liidus kehtiva õppekava alusel 1945. a. Samal ajal tegelesid põhjavee deskriptiivse uurimisega varem kogutud materjalide najal professorid K. Orviku ja A. Luha. Neist esimene koostas veevarustuse vajadusi silmas pidava ülevaate Tartu linna hüdrogeoloogilistest tingimustest, iseloomustades kihtide veeandvust kaevude deebititega (Orviku 1946). Eesti põhjaveeolusid tervikuna käsitles A. Luha (1946). Ta eristas viis nn põhjaveekorda (põhjavesi pinnakattes, Devoni- ja paealal, graptoliit-argilliidi ning Lontova kihistu savide vahel ja viimaste all lamavates liivakivides) koos alajaotustega ning esitas andmeid nende vee kvaliteedi ja kaevude tootlikkuse kohta.

## ENSV TA Geoloogia Instituut

Eesti NSV Teaduste Akadeemia koosseisus asutati 1947. a Geoloogia Instituut (TAGI), mille üheks töösuunaks sai Eesti põhjavee kasutamise ja kaitse probleemide süstemaatiline teaduslik uurimine ja vastavate kõrge kvalifikatsiooniga eriteadlaste kasvatamine.

TAGIs hakkas hüdrogeoloogiliste uurimistega tegelema Leningradi Mäeinstituudi haridusega A. Verte. Struktuurigeoloogiliste kaalutluste alusel käsitles ta Eesti maismaad Balti arteesiabasseini (BAB) juurde kuuluva teist järku arteesiabasseinina (joon. 2), milles esinevad kaks põhjaveekorda (Q+Pz ja PR+AR). Ülemine põhjaveekord jaotub kihtide valdava litoloogilise iseloomu järgi omakorda viieks põhjaveekompleksiks (autori sõnastus). Tuginedes enamasti tarbepuurkaevude proovipumpamiste ja puurimisel fikseeritud veetaseme andmetele, eristas A. Verte oma kandidaadi- ja doktoridissertatsioonis (Verte 1953, 1965a) ning teistes uurimustes (Verte 1965b, 1965c) veekomplekside alamüksustena täiendavalt 14 veehorisonti ja viimastes omakorda kokku 20 allhorisonti. Ta näitas, et Eesti põhjavees esinevad keemilise koostise poolest erinevad tsoonid ja analüüsis nende ruumilist paiknemist ning kujunemise faktoreid. A. Verte organiseeris esimese üle-eestilise põhjavee režiimi vaatlusvõrgu, mis toimis vahemikus 1948–1955 ja hõlmas kõiki peamisi tema poolt eristatud hüdrogeoloogilise stratigraafia üksusi (Verte 1956).

TAGIs 1958. a loodud hüdrogeoloogia sektorisse asusid tööle üksteise järel V. Karise, E. Johannes, L. Vallner, A. Pill, P. Jõgar ja H. Kink, kes olid eelnevalt lõpetanud TRÜ geoloogidena (E. Johannes – keemikuna). Kõik nad omandasid hiljem teaduskraadi valitud erialal.

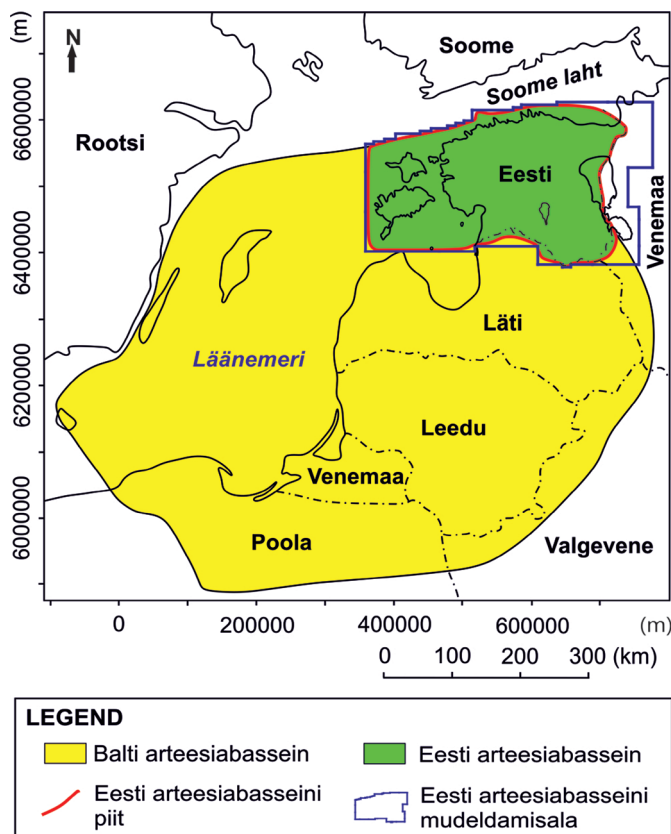
V. Karise uuris peamiselt põhjavee keemilise koostise ja kvaliteedi kujunemist. Ta selgitas, et Lõuna-Eesti liivakates setetes esineva vee mineraalsus on looduslikes oludes harilikult 0,1–0,2 g/L ja kruusades ning moreenis 0,2–0,35 g/L. Neid piirväärtusi ületavad

mineraalsused osutavad põhjavee reostumisele (Karise 1969).  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  ja  $\text{SO}_4^{2-}$  ionide sisaldus pinnakatte reostumata vees pärineb valdavalt sademetest.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ja  $\text{HCO}_3^-$  ioonid tekivad pinnakatte vette setendites sisalduvate karbonaatsete ühendite leostumisel. Reostumata pinnasevee  $\text{NO}_3^-$  sisaldus on enamasti 5–6 mg/L, kuid turbalademetes ja sügavamates kihtides, kus valitsevad hapnikku redutseerivad tingimused, vaid 1–3 mg/L või isegi vähem (Perens jt 1997).

E. Johannes analüüsis põhjavee reostumisel esinevaid keemilisi protsesse. Ta käsitles süvendatult mitmesuguseid redokstingimusi, mis määravad loomakasvatusega tekitatud reoainete migratsiooni- ja kontsentreerumisvõime ning vastavate geokeemiliste barjääride iseloomu erinevates hüdrogeoloogilistes tingimustes (Johannes jt 1980).

L. Vallner pühendus geofiltratsiooni kvantitatiivselt iseloomustavate arvutuskeemide täiustamisele. Matemaatilise füüsika meetodeid kasutades tuletas ta valemid ühemõtmelise mittestatsionaarse põhjaveevoolu hulga arutamiseks mis tahes rajatingimuste puhuks (Vallner 1968). Nende valemite najal sai luua uudse meetodika põhjavee looduslike ressurside senisest täpsemaks määramiseks reaalsetes jõebasseinides (Vallner 1969, 1973). Meetodika rakendamiseks vajalike lähteparameetrite saamiseks organiseeris L. Vallner kõigi Eesti jõgede äravoolu episoodilise mõõtmise enam kui 1000 lävendis aastate 1963–1970 madalveeperioodidel ja põhjavee loodusliku piesomeetrilise režiimi statistilise analüüsi, mis tugines 164 punktis tehtud vaatlustele. Nende tööde alusel koostati detailsed jõgede keskmise 30-päevase miinimumäravoolu kartogrammid mõõtkavas 1:200000 (Vallner ja Metslang 1970).

Säärastele kaartidele kanti ka praktiliselt kõik hüdrogeoloogiliste uurimiste jaoks olulised allikad, mis klassifitseeriti hüdraulikaliste kriteeriumide järgi. Kõik see andis võimaluse Eesti põhjavee looduslike ressurside, netoinfiltratsiooni, jõgede põhjaveest toitumise ja teiste geofiltratsiooni parameetrite summaarsete ning territoriaalselt diferentseeritud väärtuste arvutamiseks (Vallner 1975). Järgnevalt defineeris L. Vallner Eesti arteesiabasseini (EAB) piirkonnana (joon. 2), mille moodustavad Eesti maismaal ja seda ümbritseval šelfialal levivad kivimikihid ning kus liigub maismaal kujunenud või täienenud põhjaveevool (Vallner 1980). Geohüdrodünaamika



**Joonis 2.** Balti ja Eesti arteesiabassein (Vallner jt 2020; Vallner ja Porman 2016).



kriteeriumidele tuginedes liigestas ta EAB 59 veebilansi üksuseks ja konstrueeris vasta-va EAB regionaalse analoogumodeli. Selle alusel arvutas ta iga bilansiüksuse jaoks 1977. a seisuga sissevoolu ja väljavoolu komponendid. Sissevoolus eristati infiltratsioon, sissevool ülalt, külgedelt, alt ja pinnaveekogudest. Väljavoolus eristati vahetu põhjaveevool jõevõrku, vool üles, külgedele, alla ja allikatest ning väljapumpamine. Kokku määrati sel kombel 708 elementaarset sisse- ja väljavoolukomponenti. L. Vallner seostas 1964. a esimesena Tallinnas registreeritud maapinna ebaühtlase vajumise põhjavee intensiivse väljapumpamisega Kambriumi-Vendi kihtidest ja esitas hiljem selle protsessi kvantitatiivse mudeli (Arbeiter jt 1982).

A. Pill käsitles põhjavee horisontaalse ja vertikaalse hüdrokeemilise tsonaalsuse kujunemist mere mõjul Lääne-Eesti madalikul ning saartel, seostades soolaka pinnasevee leviku iseärasused geofiltratsiooni faktoritega (Pill 1974).

P. Jõgar esitas põhjaveekihtkonna stratifitseerimise uue kvantitatiivse meetodi, mis tugines kihtide puuraukude kaupa määratud veejuhtivuse, põhjavee rõhu ja keemilise koostise andmete spetsiifilisele statistilisele töötlemisele (Jõgar 1974, 1984). See võimaldas 1200 tarbekaevu ja uurimispuuraugu andmete alusel eristada Põhja-Eesti Siluri ja Ordoviitsiumi kihtides viis veekihti (autori sõnastus) ning seitse veepidet ja arvutada nende täpsustatud filtratsioonimoodulid nii lateraal- kui ka vertikaalsuunas (Jõgar 1977).

H. Kink tegeles madalsoode ja teiste liigniiskete alade kuivendamise probleemidega, kusjuures ta eristas hüdrogeoloogiliste tingimuste järgi 14 melioreeritavate alade tüüpi ning uuris kuivendamise mõju põhjavee ressurssidele ja kvaliteedile (Kink 1970, 1980). Ta töötas välja põllumajanduspiirkondade veekaitsekskeemide koostamise meetodika ja hindas nende alade põhjavee seisundit (Kink 1987). Hiljem keskendus ta veekeskonna kaitsealade kirjeldamisele (Kink 2004, 2006; Kink jt 1990).

Ü. Heinsalu uuris eeskätt karsti osa pinnavormide kujunemisel, kuid ka selle mõju põhjavee toitumisele. Ta korrastas ja täiendas allikate andmestikku ning tegi keskkonnakaitse parandamise ettepanekuid (Heinsalu, Ü. 1977a, 1977b, 1978, 1993; Heinsalu, Ü. ja Kuptsov 1981).

J.-M. Punningu initsiatiivil asutati 1974. a TAGIs isotoopuuringuid arendav töörühm, millest hiljem kujunes isotoopgeoloogia labor. Selles tuvastati, et Eesti tänapäevaste sademete pikaajalised kuude keskmised  $\delta^{18}\text{O}$  väärtused jäävad vahemikku  $-10\%$  kuni  $-12\%$  ja pikaajalised kuude keskmised  $\delta^2\text{H}$  väärtused vahemikku  $-78\%$  kuni  $-91\%$  (Punning jt 1987). Isotoopanalüüside seadmestiku ja meetodika täiustamises osales R. Vaikmäe, kes oli 1969. a lõpetanud Tallinna Polütehnilise Instituudi tööstuselektronika erialal. Edukas osalemine Rahvusvahelise Aatomienergia Agentuuri korraldatud isotoophüdroloogia laborite interkalibreerimise programmides kinnitas TAGI labori usaldusväärsust ning lõi aluse rahvusvaheliseks koostööks.

R. Vaikmäe kaitses 1981. a dissertatsiooni, mis käsitles jääpuursüdamikes sisalduvate hapniku isotoopide kasutatavust Euroopa ja Aasia arktilise ala paleokliimaatilisteks uuringuteks (Vaikmäe 1990). Kuni 1991. aastani keskendus ta peamiselt Maa põhjapoolkera ja Antarktika glatsioloogia ning paleoklimatoloogia küsimustele tõestades, et Kambriumi-Vendi veeladestu vesi BABi põhjaosas on liustikulise päritoluga (Gordiyenko jt 1981; Jouzel jt 1995).

Möödunud sajandi kaheksakümnendatel aastatel kavandasid Moskva keskasutused suurkaevanduste rajamist Pandivere kõrgustiku idaosas leviva fosforiidi tootmiseks. Kuna fosforiidi peal lasub seal põlevkivikiht, siis loeti majanduslikult arukaks, et enne fosforiidi kaevandamist või koos sellega väljatakse ka põlevkivi. Kõige otstarbekamaks peeti ava-kaevandamist ligikaudu 100 meetri sügavuste karjääridega, mille kuivendamiseks tulnuks samavõrra madaldada põhjavee taset.

Säärase projekti realiseerimine võinuks tõsiselt kahjustada eestlaste rahvuslikke huve. Veekeskkonna seisund oleks oluliselt halvenenud peaaegu veerandil Eesti pindalast ja väetisetööstuse arendamisega kaasnev mitte-eestlaste immigratsioon ohtlikult suurenenud. Ähvardavaid keskkonnakahjusid hinnati objektiivselt hüdrogeoloogia meetoditega TAGIs (Vallner 1996a; Vallner jt 1987). Nende uurimuste tulemusi kasutasid rahvuslikult meelestatud keskkonnakaitsjad kavandatud kaevandamist vastustavate väidete argumenteerimiseks. Nõukogude Liidu eksisteerimisajal jäid Kirde-Eestisse planeeritud fosforiidi suurkaevandamisega seotud praktilised tööd alustamata.

## Eesti NSV Geoloogiavalitsus

Aastatel 1944–1946 alustas Leningradis asunud Loode Geoloogiavalitsus Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi põhjaveekompleksi režiimi vaatlusi kogu Põhja-Eestis ning Siluri-Ordoviitsiumi kompleksi vaatlusi põlevkivikaevanduste piirkonnas, kus tehti ka mitmeid kaevanduste kuivendamise seotud hüdrogeoloogilisi rakendusuuringuid. Aja jooksul mitmeti ümber korraldatud vaatlused kestsid kuni 1957. aastani.

1957. a asutati Eesti NSV Ministrite Nõukogu juurde praktiliselt venekeelne ja suuresti venemeelne Geoloogia ja Maapõuevarade Kaitse Valitsus (GV), mille tööde üldsuuna ja meetodika määras tegelikult Nõukogude Liidu geoloogiaministeerium koos oma teadusinstituutidega. GV juurde moodustati Eesti Geoloogiafond (EGF), kuhu kohustuslikult tuli saata kõikide ENSVd käsitlevate geoloogiliste uuringuaruannete ärakirjad ja rajatud puurkaevude dokumentatsioon. EGF-i säilikud olid kohapeal kasutatavad kõigi riiklike ametkondade esindajatele.

GV koosseisus loodud veerežiimi uurimise töörühma ülesandeks sai põhjavee seisundi seire, mida hakkas korraldama L. Savitski (Savitski jt 1967). Seiret tuli teha nii suhteliselt looduslikes tingimustes olevatel aladel kui ka asulate veehaarete, kaevanduste kuivendamise, melioratsiooni ja reostusallikate mõju piirkondades. GV võttis üle Loode Geoloogiavalitsuse ja TAGI vaatlusvõrgud ning lisaks nendele rajas aja jooksul palju uusi vaatluspunkte. Kõiki põhjavee vaatluskaeve oli 1991. a kokku 795 (Boldõreva jt 1992), kus enamasti iga kolme päeva järel mõõdeti põhjavee taset ja igal aastaajal määrati vee keemiline koostis. Lisaks sellele registreeriti põhjavee tarbimine ja kaevanduste ning maaparandusobjektide kuivendamisega ära juhitud veehulk. Vaatlustulemused ja nende esialgsed üldistused esitati aastaaruannetes. Iga viie või kümne aasta järel koostati koondaruanded, milles analüüsiti seireperioodi kestel ilmnenuid põhjavee rõhu ja kvaliteedi muutusi ning nende põhjuseid (Kivit jt 1987). Regionaalse seire kõrval uuriti eraldi aeratsioonivöö detailise veebilansi kujunemist Tooma soojaama, Aruvälja, Leivajõe ja Piigaste oja katseväljakutel. Sinna rajati vaatluskaevude grupid, paigaldati lüsimetreid, aurumise ja sademete mõõdikuid. Põlevkivikaevanduste piirkonnas tehtud seire alusel tuletati empiirilised kvantitatiivsed seosed kaevandustesse tungiva veehulga määramiseks sõltuvalt kaevanduste sügavusest ja nende arvutuslikust mõjuraadiusest ning meteoroloogilistest tingimustest (Savitski 1980).

Suure rakendusliku ja teadusliku tähtsusega on vahemikus 1960–1991 koostatud geoloogilised ja hüdrogeoloogilised kaardid, mis hõlmavad Eestit tervikuna või osaliselt (Vingisaar ja Kivisilla 2008). Need kaardid koos seletuskirjade ja muu lisamaterjaliga tõstsid omal ajal oluliselt Eesti hüdrogeoloogilise uurituse taset. Ühtse meetodika järgi korrektselt määratud kihipindade ja põhjavee taseme kõrgused, samuti katsepumpamise ning veeanalüüside tulemused moodustavad senini usaldusväärse lähteandmestiku veekeskkonna kaasaegsele arvutimudeldamisele.

Nõukogude Liidu geoloogiaministeeriumi juhendite järgi sooritati vahemikus 1958–1976 kogu Eesti kompleksne geoloogiline ja hüdrogeoloogiline kaardistamine mõõtkavas

1:200000 (Vingisaar ja Kukk 2007). Kirjandusandmete najal koostati Eesti hüdroteoloogilised kaardid mõõtkavas 1:2 500 000 ja 1:1 500 000 (Tšeban 1962a, 1962b) ning mõõtkavas 1:500 000 (Tšeban jt 1965).

Alates 1962. a hakkas GV plaanipäraselt läbi viima Eesti kompleksset geoloogilist ja hüdroteoloogilist kaardistamist mõõtkavas 1:50 000, millega taheti senisest täpsemalt uurida linnade ja asulate põhjaveearustuse allikaid ning lahendada maaparanduse ning põlevkivikaevandamise probleeme. Kuni 1991. aastani koostati Tallinna, Tartu, Viljandi, Kurssaare, Jõgeva ja Türi piirkonna ning Pandivere kõrgustiku kaardilehed. Seejuures hinnati esmakordselt aluspõhja karbonaatkivimites esinevate litoloogiliste erimite veeandvust puuraugusisese vooluhulga karotaažiga (Perens 1978).

Põhjavee heeliumisisaldust ja selle kasutamist tektooniliste rikete ja polümetalse maa-gistumise markerina hüdroteoloogilisel kaardistamisel uuris Vilniuse ülikooli kasvandik K. Tiba (1987).

Vahemikus 1960–1990 andsid Nõukogude Liidu valitsusasutused välja rea määrusi ja käskkirju, milles rangelt nõuti veeresursside kasutamise ning kaitse riikliku kontrolli tugevdamist ja vee reostamise vähendamist. Puurkaevude rajamine ja põhjaveehaarete töörežiim tulid kooskõlastada geoloogiaametkonnaga, keelati reovee juhtimine pinnaveekogudesse ning maapõue, üldkasutatavate kaevude sanitaarseisund pidi vastama kehtestatud normidele. Sääraste reeglite täitmiseks vajalike lähteandmete saamiseks rajas GV hulga täiendavaid vaatlusväljakuid otse reostuskollete juurde. Korraldati kõigi puurkaevude inventeerimine. Kaevud kanti topograafilisele kaardile, määrati nende suudme absoluutkõrgus, mõõdeti veetaset, hinnati tootlikkust, sanitaarset seisundit ning kaitstust reostuse eest. Tehti hulk veeproovide keemilisi ja bakterioloogilisi analüüse. Koostati Eesti põhjavee kaitstuse kaart mõõtkavas 1:200 000 (Savitskaja jt 1982). GV esitas oma uurimistulemustega motiveeritud ettekirjutused riigiasutustele vee reostamise lõpetamiseks konkreetsetel objektidel.

Kogutud andmestiku alusel hakati alates 1979. aastast pidama jooksvalt täiendavat riiklikku põhjavee katastrit, mille varaseimad kanded pärinesid 1945. aastast. Katastri peamise osa moodustasid puuraukude ja -kaevude arvestuskaardid. Viimased tuginesid kaevumeistrite poolt koostatud puurkaevude passidele, kus olid andmed kaevu asukoha, rajamisaja, läbindatud kihtide, iseloomulike veetasemete, proovipumpamiste, vee kvaliteedi jms kohta. Kahjuks jätab selle andmestiku usaldusväärsus sageli soovida, sest kaevude rootorpuurimise puhul polnud võimalik kihtide lasumisügavust ja litoloogilist koostist küllalt täpselt määrata ja proovipumpamistel ei isoleeritud erinevaid vettandvaid kihte üksteisest piisaval määral.

Vaatamata administratiivsetele meetmetele halvenes põhjavee seisund ENSVs pidevalt. Veekaitse ettekirjutisi täideti pahatihti vaid osaliselt või ignoreeriti hoopiski. Nõukogude korruga juurdunud lohakust ja nigelat tehnoloogiat ei suudetud ega tahetud vajalikul määral muuta. Seda olukorda väljendas ilmekalt puurkaevude inventeerimine: 70% nendest polnud nõutavas sanitaarseisundis ja 40% andis reostumistunnustega vett (Savitskaja jt 1982). Ohtlikeks reostusallikateks olid kujunenud suured looma-, sea- ja linnukasvatuse ettevõtted, kus sõnnikuläga neutraliseerimine polnud nõuetekohane. Pidevalt laienes kunstväetiste liigkasutamisega tekitatud põhjavee nitraadireostus ( $\text{NO}_3^-$  ioonid) põllunduspiirkondades. Tööstuskompleksid, kütusehoidlad, katlamajad ja militaarobjektid reostasid vett naftasaadustega, mis tungisid pinnasesse lekkivatest torustikest. Kirde-Eestis levis põlevkivi kaevandamisest ja töötlemisest johtuv põhjavee sulfaadi-, fenooli- ja õlireostus (Vallner 1994; Vallner ja Sepp 1993).

GV oluline töösuund oli põhjavee tarbevaru määramine linnade, asulate ja suurettevõ-



tete jaoks. Tarbevaru all mõisteti rahuldava kvaliteediga põhjavee hulka, mida oli võimalik välja pumbata käsitletavale alale rajatud ja rajatavatest suurkaevudest harilikult 30 aastase arvestusperioodi kestel. Pärast uuringuaruannete läbivaatamist ja aktsepteerimist Nõukogude Liidu põhjaveevarude komisjonis loeti ettepanud tarbevaru kinnitatuks ning see tuli kohustuslikult arvesse võtta veevarustuse korraldamisel.

Tarbevaru määrati senikogutud hüdrogeoloogilise andmestiku, sh põhjavee režiimivaatluste alusel. Tähtsamate objektide puhul ja keeruliste situatsioonide lahendamiseks rajati ka uuringupuurauke ning tehti nendest pikaajalisi katsepumpamisi. Väljapumbatava veehulga ja sellega kaasneva põhjavee rõhu alanemise prognoosimiseks kasutati suhteliselt primitiivseid ühemõõtmelisi telgsümmeetrilisi arvutuskeeme, mis liigselt lihtsustatud rajatingimuste tõttu polnud sageli küllalt täpsed. Tarbevaru määranguid korrigeeriti varasemate režiimivaatluste järgi.

Vahemikus 1960–1983 määrati Tallinna, Tartu, Pärnu, Kohtla-Järve ja paljude teiste linnade ning asulate põhjavee tarbevaru. Seejuures esines ka rida vääratusi, millele ei pööratud tookord valitseva ühiskondliku mentaliteedi tõttu küllaldast tähelepanu. Näiteks Kohtla-Järve varustamiseks kavandatud Vasavere põhjaveehaarde tarbevaruks kinnitati 25 000 m<sup>3</sup>/öp, ent säärase väljapumpamise juures oleks pinnasevee tase alanenud kuni 17 m võrra ja veehaarde lähikonnas asunud Kurtna järved kuivanud (Gontar' 1965).

Nõukogude Liidu geoloogiaministeeriumi Hüdro- ja Insenerigeoloogia Teadusliku Uurimise Instituut VSEGINGEO üllitas 1966. a Eesti hüdrogeoloogia ulatusliku monograafilise tervikkäsitluse (Arhangelski 1966a), mis moodustas ühe kõite kavandatud 45-kõitelisest ülevaateosest „NSVL hüdrogeoloogia“. Raamatu käsikiri koostati peamiselt GV jõududega, kusjuures põhiautoriks oli Moskva Geoloogiliste Uuringute Instituudi lõpetanud E. Tšeban. Töö aluseks võeti seniteostatud hüdrogeoloogiliste kaardistamiste ja põhjavee tarbevaru määrangute materjalid ning samuti tarbekaevude andmestik.

Põhjaveekihtkond stratifitseeriti VSEGINGEO meetodika järgi, kusjuures liigestuse suurüksused ühtisid mahu poolest kuni veekompleksideni A. Verte jaotusega (Verte 1965a, 1965b, 1965c). Seevastu nendest peenemate liigestusüksustena eraldati vaid pärnu, kambriumi-ordoviitsiumi, lomonosovi ja gdovi veehorisont (omaaegses kirjaviisis). Rohkem veehorisonte ei eristatud selleks vajaliku tõestusmaterjali väidetava puudumise tõttu. Põhjalikult käsitleti kõikide stratifitseerimisüksuste lasumistingimusi, litoloogiat, vee omadusi ja keemilist koostist, esitati andmed kaevude deebiti, erideebiti ning kihtide filtratsioonikoefitsiendi kohta. Iseloomustati põhjavee looduslikke ressursse, mis olid varem hinnatud Leningradi Hüdroloogiainstituudi poolt jõeäravoolu hüdrograafide nn geneetilise liigestamisega (Zektser 1964) ja ka mineraalvee ning ravimuda varusid. Analüüsiti põhjavee kujunemise, kaitse ja kaevanduste ning kõlvikute kuivendamise probleeme. Raamatu juurde kuulus salastatud lisatrükisena linnade jaoks määratud põhjavee tarbevaru andmestik, mida Nõukogude Liidus ei tohtinud avalikustada (Arhangelski 1966b).

Publitseeritud monograafia tervikuna oli omas ajas informatiivne ja andis süstemaatilise ning laiahaardelise koondülevaate Eesti hüdrogeoloogiast. Siiski tuleb märkida, et teemade käsituslaad oli valdavalt deskriptiivne. Andmetöötluse kõrgeimaks tasemeks jäi aritmeetilise keskmise arvutamine ja filtratsioonikiirused määrati Darcy ühemõõtmelise valemiga.

E. Tšeban kaitses ka Eesti regionaalse hüdrogeoloogia alase kandidaadidissertatsiooni (Tšeban 1969), mille seisukohad hüdrogeoloogilise stratigraafia ja põhjavee kujunemise kohta olid praktiliselt samasugused nagu ülalmainitud monograafias (Arhangelski 1966a). VSEGINGEO meetodika alusel arvutas E. Tšeban veekomplekside jaoks diferentseeritult veemajanduslike rajoonide kaupa põhjavee nn ekspluatatsioonilised ressursid eeldusel, et

väljapumpamisest tingitud põhjavee taseme alanemine võib ulatuda kuni 100 m sügavuse- ni maapinnast 50-aastase arvestusperioodi kestel. Tuginedes oma kalkulatsioonidele, tegi ta konkreetseid ettepanekud täiendavate põhjaveehaarete rajamiseks väljaspoole asulaid, soovitades sealt vett torustiku kaudu tarbijateni pumbata.

1975. a ilmus E. Tšebani aimeraamat „*ENSV põhjavesi ja selle kasutamine*“ (Tšeban 1975). Selles selgitatakse üldarusaadavalt hüdrogeoloogia põhimõisteid ja antakse ülevaa- de Eesti põhjaveearustuse tingimustest.

GV alustas mineraalvee otsingutöid Eestis 1959. a (Vingisaar 1968). Selleks rajati hulk sügavaid puurauke, mis sageli avasid ka aluskorra. Mitmesuguste omadustega mineraal- vett leiti Ruhnus, Kuressaares, Pärnus, Häädemeestel, Iklas, Värskas, Pärಿಸpeal ja Pudi- soo ning Hirvli ümbruses. Mineraalvee otsinguga tegelesid enamasti V. Tassa ja P. Vingisaar (Vingisaar ja Kivisilla 2008).

## Uurimised taasiseseisvunud Eestis

### Tartu Ülikool

Taaskehtestatud Eesti Vabariigis jätkus laia profiiliga geoloogide ettevalmistus Tartu Üli- koolis (TÜ), kuid seejuures arendati ka hüdrogeoloogia-alaseid teaduslikke uurimisi.

TÜ geoloogiaosakonna õppejõuna töötanud R. Mokrik publitseeris monograafia BABi ja sh EAB Vendi ning Kambriumi kihtide paleohüdrogeoloogiast (Mokrik 1997). Hiljem avaldas ta samateemalise ülevaate BABi kõikide kihtide kohta (Mokrik 2003).

TÜ 1993. a geoloogi kvalifikatsiooniga lõpetanud A. Jõelet uuris temperatuuri jaotu- mist ja soojusvoo tihedust ning neid kujundavaid faktoreid Eesti ja Soome aluspõhja ning aluskorra kihtides. Ta määras kristalsete ja settekivimite termilisi parameetreid ning tões- tas kahemõõtmelise geotermilise mudeldamisega, et maapinna soojusvoo tihedus oleneb peamiselt maakoore kivimite soojusjuhtivusest, kusjuures geofiltratsioon mõjutab ainult vähesel määral maasisese soojusvälja kujunemist (Jõelet 1998). Hiljem osales A. Jõelet kaasautorina BABi Kambriumi-Vendi kihtide vee hüdrokeemilise evolutsiooni uurimises (Raidla jt 2009) ja Estonia põlevkivikaevanduse kuivendamise ökoloogilise mõju hindami- sel (Marandi jt 2013a).

Kaasprofessor E. Karro kaitses doktoritöö Soome põhjavee keemilise koostise kohta küll Helsingi Ülikooli juures (Karro 1999), kuid hiljem on tegelenud enamasti Eesti hüdroge- okeemia probleemidega. Ta käsitles Kambriumi-Vendi veekompleksis sisalduvate kahjulike ainete esinemise ja levikuga seotud küsimusi (Karro ja Marandi 2003), sama kompleksi vee sooldumist Tallinnas (Karro jt 2004), tegi ülevaate Siluri-Ordoviitsiumi ja Kambriumi-Vendi veekompleksi geokeemilise uurimise tulemustest (Karro jt 2009) ning iseloomustas fluori-, boori-, baariumi ja rauasisaldust ning nende geoloogilisi allikaid Eesti põhjavees (Karro jt 2006, 2020; Karro ja Rosentau 2005; Karro ja Uppin 2013; Mokrik jt 2009; Uppin ja Karro 2012). Koostöös TÜ meditsiinivaldkonna teadlastega hindas E. Karro fluoririkka põhjavee tarbimisega seotud terviseriske (Indermitte jt 2009, 2014). E. Karro ja A. Marandi osalesid Euroopa Liidu (EL) projektis *BRIDGE*, mille käigus töötati välja ühtne meetodika põhjavees esinevate saasteainete sisalduse läviväärtuste kehtestamiseks ning nad rakendasid seda Kambriumi-Vendi põhjaveekogumi iseloomustamisel (Marandi ja Karro 2008).

A. Marandi töötas välja ja esitas oma dissertatsioonis uue meetodika Kambriumi-Vendi veekompleksi keskkonnastandardite arvutamiseks põhjavee loodusliku keemilise koostise, elektrijuhtivuse, baariumi ja isotoopide  $^{18}\text{O}$  ning  $^3\text{H}$  sisalduse alusel (Marandi 2007, Marandi

jt 2004). Sama teematikat arendas ta süvendatult ka edaspidi (Marandi ja Karro 2008, Marandi jt 2012) ja osales Euroopa põhjavee keemilise koostise tüpiseerimisprojekti (Wendland jt 2008). Koos L. Vallneriga lõi ta Tallinna Kopli poolsaare põhjavee kolmemõõtmelise mittestatsionaarse transpordimudeli. Viimane näitas, et seal ilmnunud Kambriumi-Vendi kihtide vee sooldumist põhjustab liiga suur väljapumpamine, mis on esile kutsunud soolaka vee ülestõmbe aluskorrast (Marandi ja Vallner 2010). Ta koostas nomogrammi põhjavee keemilise koostise määramiseks vee mõõdetud elektrijuhtivuse ja Cl<sup>-</sup> või HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-iooni sisalduse alusel, mis tugineb Eesti põhjavee 3555 keemilise koostise analüüsi ja 320 vastava elektrijuhtivuse korrelatsiooniseostele (Marandi jt 2013b).

A. Marandi juhendamisel loodi kasutajaliidese *Visual MODFLOW* abil 11-kihiline statsionaarne põhjavee voolumudel Kirde-Eestis paikneva Estonia põlevkivikaevanduse kuivendamise mõju uurimiseks piirkonnas, mille pindala on 430 km<sup>2</sup> (Marandi jt 2013a). Mudeldamisega tõestati, et kaevandamise jätkumisel ja eriti kaevandamispiirkonna nihkumisel edela suunas kuni selle lubatud piirini, kahjustub pöördumatult Natura 2000 kaitsealade võrgustikku kuuluva Selisoo ning Ratva soo veerežiim. A. Marandi analüüsis ka Natura kaitsealade läheduses asuvate kaevanduste negatiivse keskkonnamõju hindamise juriidilisi aspekte (Marandi jt 2014).

Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise mõju veekeskkonnale käsitleb Keskkonnainvesteeringute keskuse tellitud TÜ kompleksuurimus (Puura, V. jt 2018). Selle käigus konstrueeris M. Polikarpus (2018) kolmemõõtmelise mittestatsionaarse voolumudeli, mis hõlmab kogu põhjaveekihtkonna Raasikust ida poole jääval ja lõunas Võhmani ulatuval Eesti alal ning ka piiriäärses Venemaa osas. Mudeli tarkvaraks on vabavaralise kasutajaliidese *ModelMuse* ohjatatud *MODFLOW*-süsteem (Winston 2009). Ristkülikulises uurimispiirkonnas mõõtmetega 120 km × 160 km eristatakse kõik olulised vettandvad kihid ja veepidemed 20 mudelikihina. Imaginaarse arvutusvõre samm horisontaalsuunas on 200 m. Mudelisse on arvutuste lähteandmetena sisestatud Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi veekompleksi avavate tarbekaevude aastakeskmised veevõttud ajavahemikust 1954–2016.

Kirjeldatud mudeliga hindasid A. Jõelett ja M. Polikarpus (2018) Toolse, Pajusti ja Põlula piirkonda virtuaalselt paigutatud fosforiidi- ning lisaku lähedale kavandatud põlevkivikaevanduse kuivendamise mõju veekeskkonnale. Tuvastati, et fosforiidikaevanduste kuivendamiseks tuleks nendest igaühest välja pumbata 10 000–20 000 m<sup>3</sup> vett ööpäevas 30-aastase tööperioodi kestel. Kaeveõhne lae täieliku varistamise korral võib kaevandusse tungiva vee hulk kahekordistuda. Väljapumpamine tekitab fosforiidikaevanduste ümber nendest kuni 50 km kaugusele ulatuvaid põhjavee rõhu depressioone. Seetõttu võivad kaevanduste mõjualal madalad kaevud paiguti kuivada ja väheneb põhjavee potentsiaalne tarbevaru.

Sama töö raamides uurisid A. Marandi, E. Puura ja E. Karro aluspõhjakiivimites sisalduva püriidi oksüdeerumist, mis paratamatult kaasneb kaevandamisega ja kutsub esile põhjavee reostumise sulfaatidega (Puura, V. jt 2018). Nad analüüsisid ja hindasid sulfaadireostuse leevendamise võimalusi kaevanduste tagasitäitmisega, kusjuures pidasid sobivaks täitematerjaliks põlevkivituha ja aheraine baasil loodud betoonsegu või ka ainuüksi aherainet. Geokeemilise mudeldamisega näidati, et põlevkivituhas moodustunud aluselise vee ja põhjavee segunemisel ei toimu lihtsalt lahjenemine, vaid põhjavees sisalduv vesinikkarbonaation puhverdab edukalt leeliselist vett koos kaltsiumkarbonaadi väljasettimisega.

M. Uppin kaitses TÜ juures doktoriväitekirja, mis käsitles fluoriidide ja boori hüdrokeemiat ja geoloogilisi allikaid Siluri-Ordoviitsiumi veekompleksis (Uppin 2013). Ta leidis, et need elemendid leostuvad põhjavette peamiselt savikatest karbonaatsetest kivimitest – merglitest ja domeriitidest, sh ka savika vulkaanilise tuha (nn K-bentoniidi) kihtidest.

## Tallinna Tehnikaülikool

Pärast Eesti taasiseseisvumist 1991. a tekkisid TAGIs rahastamisraskused. Nende leevendamiseks koondati pool töötajatest ja TAGI juhtkonna otsusega suleti 1993. a seni põhjavee teaduslike probleemide uurimise keskuseks olnud hüdrogeoloogia laboratoorium. Reorganiseeritud TAGI ühines 1997. a Tallinna Tehnikaülikooliga (TTÜ), kuid viimase allasutuseks säilitas oma nime – Geoloogia instituut (GI). Samal aastal publitseeris GI ülevaatliku monograafia Eesti geoloogiast ja maavaradest, milles oli ka regionaalset hüdrogeoloogiat kokkuvõtlikult käsitlev peatükk (Perens jt 1997).

Professor R. Vaikmäe juhtimisel töötas GIs isotoop-paleoklimatoloogia osakond, millest hiljem moodustati isotoop-hüdroloogia töörühm. Selle uurimisüksuse töödega tõestati, et BABs esineb kaasajal kolm erineva geneetilise päritoluga peamist põhjaveetüüpi. Nendeks on: 1) tänapäeval ja jäävaheaegadel sademetest moodustunud vesi ( $\delta^{18}\text{O}$ :  $-11\%$  kuni  $-12\%$ ); 2) Pleistotseenis BABi ala katnud mandriliustike sulavesi ( $\delta^{18}\text{O}$ :  $-18\%$  kuni  $-23\%$ , vanus vähemalt 10 000 aastat) ja 3) ülisoolane süngeneetiline reliktivesi ( $\delta^{18}\text{O} \geq -4,5\%$ , vanus suurem kui 1,3 miljonit aastat). BABi geoloogilise arenguloo kestel segunesid nimetatud peamised põhjaveetüübid paiguti omavahel erineval määral (Gerber jt 2017; Marandi 2007; Sterckx jt 2017, 2018; Vaikmäe jt 2001a, 2001b, 2008, 2021).

Nende protsesside hüdrogeokeemilisi aspekte uuris kahemõõtmelisi segunemismudeleid ning radiosüsiniku jt isotoopmeetodeid kasutades V. Raidla, kes oli 2003. a omandanud TTÜs magistrikraadi rakendusgeoloogia õppesuunal. Oma doktoritööga tõestas ta, et EAB Kambriumi-Vendi veeladestu süsinikuringet on tugevalt mõjutanud Kambriumi ja Ediacara kihtides esinev orgaaniline materjal, mille lagunemisel vabanenud süsinik on oluliselt moonutanud näivat  $^{14}\text{C}$  vanust (Raidla 2010). Korrigeerivate arvutustega määras ta EAB Kambriumi-Vendi kihtide vee vanuseks 12 000 kuni 25 000 radiosüsiniku aastat ja selgitas selle vee geokeemilist kujunemist ning levikut (Raidla jt 2009, 2012, 2014, 2016; Suursoo jt 2017). Ta näitas, et suur osa Kambriumi-Vendi veeladestus esinevast metaanist on sinna sisse kantud koos mandriliustikest infiltreerunud sulaveega, mis viitab bioloogiliselt aktiivsete alade mattumisele Pleistotseeni mandriliustiku alla (Raidla jt 2019c).

GI isotoop-paleoklimatoloogia osakonnas töötades sai TRÜ keemikuna lõpetanud J. Ivask doktorikraadi polaarjääs sisalduvate peamiste anioonide ja katioonide ionkromatograafilise määramise meetodika täiustamise eest (Ivask 2000). Hiljem on ta oma väljapaistvaid keemia-alaseid oskusi rakendanud rea hüdrogeoloogiliste süvauurimuste kaasautorina (Pärn jt 2019; Vaikmäe jt 2020, 2021; Vallner jt 2020 jt).

TTÜ 2014. a geoloogia eriala magistrikraadiga lõpetanud J. Pärn uuris BABi põhjaosas (Eestis ja Põhja-Lätis) enne Holotseeni kujunenud põhjavee ning selles lahustunud ainekeemilist ja isotoopkoostist ( $\delta^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ), põhjavee vanust väljendavate radioaktiivsete isotoopide aktiivsust ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) ning põhjavees lahustunud gaaside sisaldust ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , He, Ne, Ar, Kr, Xe) (Pärn jt 2016, 2018, 2019). Andmete interpreteerimiseks kasutas ta peale regressioonianalüüsi ka geokeemilise mudeldamise üldtuntud tarkvara (GWB, PHREEQC, NETPATH). Kirjeldatud kompleksanalüüsile tuginevas doktoritöös näitas J. Pärn (2018), et tänapäevaste väärtustega võrreldes oluliselt kergema isotoopkoostisega vesi Ordoviitsiumi-Kambriumi veeladestus on vähemalt 10 000 aastat vana.

Kogutud eksperimentaalandmed BABi põhjavee isotoopse, keemilise ja lahustunud gaaside koostise kohta on publitseeritud (Vaikmäe jt 2020) ja kättesaadavad portaalist *eMaapõu | Geoscience collections of Estonia*, lingiga <https://doi.geocollections.info>.

Töötades GIs, konstrueeris L. Vallner põhjavee kolmemõõtmelise komplitseeritud mittestatsionaarse transpordimudeli, millega iseloomustati kvantitatiivselt Kohtla-Järve põ-

levkivituha ja -koksi prügilas kujunenud põhjavee fenoolireostuse kolde ruumilist arengut (Vallner jt 2015a). Mudeldamisega tõestati, et prügila kavandatud katmine savimattidega fenoolireostuse leviku tõkestamiseks on praktiliselt kasutu. Sellest hoolimata viidi keskkonnaministeeriumi tellitud ja kokku 40 miljonit eurot maksnud prügila katmisoperatsioon ikkagi läbi.

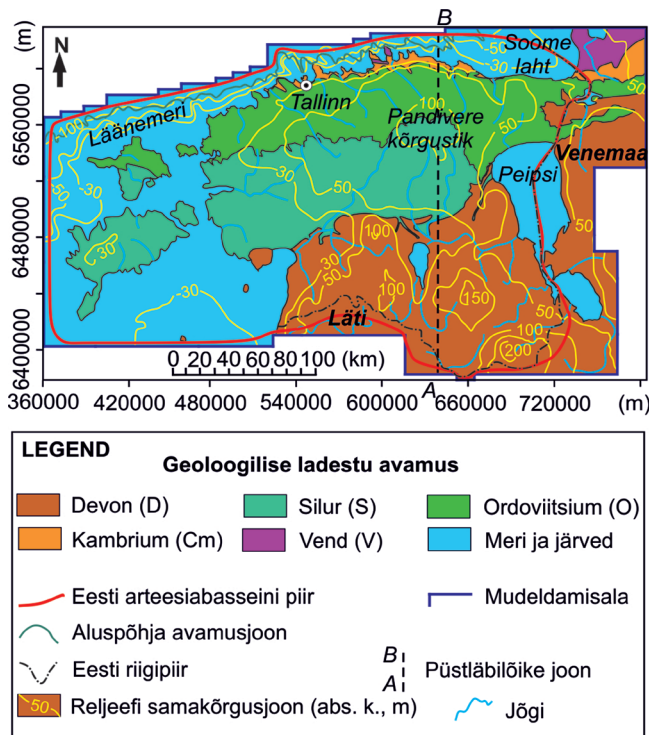
L. Vallner ja A. Porman suurendasid oluliselt varemkoostatud Eesti hüdromeoloogilise mudeli (Vallner 2003) arvutuslikku usaldusväärsust. Nad korrigeerisid mudeli parameetreid täiendava detailse kalibreerimisega hüdrauliliste rõhkude, jõevõrgus avanevate filtratsioonivoolude hulga ja vee  $\delta^{18}\text{O}$  sisalduse järgi, mille juures saavutati vaadeldud ning mudeldatud suuruste korrelatsioonikordaja väärtuseks enam kui 0,8 (Vallner ja Porman 2016; Vallner jt 2015b). Täiustatud mudeliga saab suurima võimaliku täpsusega määrata EAB mis tahes punkti jaoks mis tahes ajamomendiks filtratsioonivoolu suuna, kiiruse ja hulga ning samuti põhjavee ingredientide vastavad migratsioonikarakteristikud (joon. 3 ja 4). Mudeliga arvutati EAB peamiste kihtide veebilansi komponendid, sh ka netoinfiltratsiooni ja veepidemete vertikaalse filtratsioonitakistuse jaotumus.

Kaasaegse seadmetikuga GI stabiilsete isotoopide laboris tegelesid veekeskkonnas sisalduva hapniku ja süsiniku isotoopkoostise määramisega T. Martma ja V. Raidla, kelle töö tulemustele rajanevad paljud ülalmainitud hüdromeoloogilised uurimused (Koit jt 2020; Pärn jt 2016, 2018, 2019; Raidla jt 2012, 2014, 2016; Vaikmäe jt 2008, 2020, 2021 jt).

TTÜ Mäeinstituudis töötades uuris K. Erg põhjavee sulfaatide sisalduse arengut Eesti põlevkivi-allmaakaevandustes ja kaitses sellealase doktoritöö, milles sedastas, et kaevandamisel suurenes  $\text{SO}_4^{2-}$  sisaldus kaevandusvees kuni 50 korda loodusliku fooniga võrreldes (Erg 2005). Pärast kaevandamise lõpetamist ja kaeveõõnte veega täitumist suurenes sulfaatide sisaldus kaevandusvees paari aastaga väärtuseni 1500 mg/L, ent vähenes pärast seda tasemele 200 mg/L. Ta on teinud ka ettepanekuid uputatud põlevkivikaevanduste vee ärajuhtimise korraldamiseks (Erg 2007).

GI väga väärtuslik saavutus on veebiportaali *Geokirjandus*. Eesti maapõue teavikute register loomine. See koondab Eestit käsitlevate geoloogia-alaste trükiste ja uurimistöde aruannete bibliokirjeid ning pakub võimalusi päringuteks autorite ning teavikute kronoloogia järgi. Paljude allikate juurde on lisatud nende veebiaadress või DOI-link.

TTÜ GI isotoop-hüdromeoloogia töörühm likvideeriti projektipõhise finantseerimise lõpetamise tõttu 2021. a.



**Joonis 3.** Eesti arteesiabassein ja selle regionaalmodeli ulatus (Vallner 2003; Vallner jt 2020; Vallner ja Porman 2016).

## Tallinna Ülikool

Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskuses uuritakse põhjaveekogumite seoseid maismaa-ökosüsteemide ja pinnaveekogudega. Vahemikus 2015–2019 kaardistati põhjaveest sõltuvaid ökosüsteeme, koostati nende kontseptuaalmudelid ja seirekavad (Terasmaa jt 2015; Vainu jt 2019). Põhja- ja pinnavee vastastikuseid seoseid seisuveekogude puhul analüüsis oma doktoritöös M. Vainu (2018). Edukalt on arendatud välitingimustes rakendatavaid eksperimentaalmeetodeid, mille abil saab kvantitatiivselt hinnata pinna- ja põhjavee vahelisi seoseid Põhja-Eesti karstialadel (Koit jt 2017, 2020). Rahvusvahelise projekti *Interreg Estonia-Latvia WaterAct* raames tegeletakse üle-eestilise kõigi loodushuviliste seas populariseeritava allikate uurimisega.

## Eesti Geoloogiakeskus

Iseseisvunud Eestis moodustati reorganiseeritud GV alusel riiklik uurimisasutus Eesti Geoloogiakeskus (EGK), mis alates 1993. a läks Keskkonnaministeeriumi haldusalasse. Seejuures pidi EGK hüdrogeoloogia osakond täitma eeskätt rakenduslikke ülesandeid. Nendeks olid põhjavee režiimi ja seisundi uurimine, töötavate põhjaveehaarete tarbevaru hindamine, veekatastri pidamine ning erikaartide (põhjavee reostatus, kaitstus jms) koostamine.

Veehaarete seiret pidid korraldama vee-ettevõtted, kaevandusveega seotud seiret – kaevandused ja karjäärid ning seiret reostusobjektidel – sellega seotud ettevõtted. Siiski korraldas EGK vahemikus 1992–2002 jätkuvalt põhjavee taseme ja kvaliteedi vaatlusi kogu Eestit hõlmavas riiklikus tugivaatlusvõrgus. Riiklik seireprogramm kehtestati 1995. a ja selle alusel vähendati vaatluspunktide arvu ligikaudu poole võrra, võrreldes 1990. aastaga. Põhjavee taset mõõdeti 2002. a 333 vaatluskaevus, kusjuures maapinnalähedaste kihtide vaatlusi tehti 3–5 korda kuus ja sügavate kihtide puhul – üks kord kuus. Põhjavee keemilise koostise muutuste jälgimiseks võeti 102 vaatluskaevust ja 12 allikast 114 veeproovi üldkeemiliseks analüüsiks ja 32 veeproovi ainult lämmastikuühendite sisalduse määramiseks (Boldõreva ja Perens 2003).

Keskkonnaministeeriumi tellimisel alustas EGK 1994. a põhjavee mikrokomponentide ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{As}^{3+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{He}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mo}^{6+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Se}^{4+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{U}^{6+}$ ), raske hapniku  $^{18}\text{O}$ , radionukliidide ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ) ja nende  $\Sigma\alpha$ - ning  $\Sigma\beta$ -aktiivsuse määramist rohkem kui sajas vaatluspunktis, mis hõlmasid kõiki peamisi veekomplekse (Savitskaja 1995; Savitskaja ja Viigand 1994; Savitskaja jt 1995, 2000 jt). Euroopa Liidu Joogiveedirektiivi 98/83/EU järgi sisaldas 62% Kambriumi-Vendi veekompleksi avavatest kaevudest Harjumaal ja Tallinnas radioloogiliselt ohtlikku vett (efektiivdoos  $> 0,1$  mSv) (Savitskaja jt 2000).

Intensiivse põllumajandusega piirkondades eristati põhja- ja pinnavee kaitseks nn nitraaditudlikud alad. Sellistele aladele kehtestati veeseaduse alusel ranged keskkonnanõuded ja seal tehakse alates 1995. aastast erinõuetele vastavat seiret.

GVs loodud põhjavee kataster asendati Alide Viigandi juhendamisel arvutiprogrammiga *Microsoft Access* käitatava puuraukude ja -kaevude andmebaasiga. Selles oli 01.12.2007 seisuga teave 18 186 olmevee- ja 1428 seirekaevu ning 2027 uuringupuuraugu kohta. Andmebaas sisaldas 42 073 vee üldkeemilise ja 6029 mikrokomponentide analüüsi ning 550 radionukliidide määrangu tulemusi (Vingisaar ja Kivisilla 2008).

Vaatlusandmetele tuginedes esitati põhjavee seisundi hinnang vahemiku 1990–2003 iga aasta kohta üheksa iseseisva trükisena ja edaspidi kokkuvõtlike aruannetena, milles detailselt kirjeldati põhjavee rõhu ja keemilise koostise muutumist vaatlusperioodi kestel korvutatuna põhjavee tarbimise, tarbevaru ning kaevanduste veeärastuse andmetega (Perens jt 2005). Sedastati, et alates 1992. a hakkas põhjavee piesomeetiline tase süstemaatiliselt



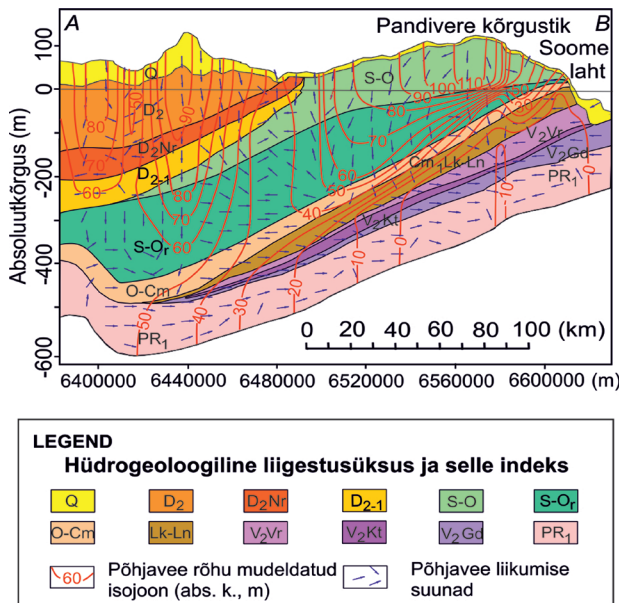
tõusma. Põhja-Eesti Kambriumi ja Vendi kihtides tõusis hüdrauline rõhk kuni paarikümne meetri võrra. See toimus põhjavee tarbimise kuni kahe- või isegi kolmekordse vähenemise tõttu, mis oli vabas Eestis rakendatud säästliku veemajanduspoliitika tulemus.

Eesti eelseisva ühinemise tõttu Euroopa Liiduga, mis toimus 2004. a, hakkas EGK juba 2000. a ümber korraldama kogu oma veekeskonda käsitlevat tegevust vastavalt oodatavatele uutele nõuetele. Nendest kõige olulisem oli 2000. a kehtestatud ELi Veepoliitika Raamdirektiiv 2000/60/EÜ (VRD), mis seadustas EL veeresursside kasutamise ja kaitse reeglistiku (VRD 2000).

VRD järgi tuleb iga liikmesriigi põhjaveekihtkonnas eristada kindlalt piiritletavad veemajandusobjektid – põhjaveekogumid. Nõutakse põhjaveekogumite keemilise (kvalitatiivse) ja koguselise (kvantitatiivse) seisundi hindamist. Põhjaveekogumi keemiline seisund loetakse heaks, kui põhjaveekogumi saasteainesisaldus jt kvaliteedikriteeriumid vastavad EL liikmesriigi normidele. Põhjaveekogum on heas koguselises seisundis siis, kui pikaajaline aasta keskmine veevõtt ei ületa olemasolevat põhjaveeresurssi ja kui tehnogeenne põhjaveevoolu suuna muutus ei halvenda põhjaveekogumi ega sellega seotud pinaveekogumi(te) keemilist ning ökoloogilist seisundit. Põhjaveekogumit tervikuna peetakse heas üldseisundis olevaks juhul, kui selle keemiline ja koguseline seisund on hea. Vastasel korral tunnistatakse põhjaveekogumi üldseisund halvaks. VRD taotleb, et EL liikmesriigid muudaksid põhjaveekogumite halva seisundi ettenähtud aja kestel heaks.

Vastavalt VRD põhimõtetele eristati ja kirjeldati Eesti alamvesikondades ning põhjaveekompleksides 30 põhjaveekogumit (Perens jt 2001b). Koostati põhjaveeseire programm, millega kavandati põhjaveekogumite seisundi hindamiseks vajalike vaatluspunktide optimaalne paiknemine ning mõõtmiste meetodika (Perens jt 2001a). Hilisema täiendava uurimisega piiritleti Eesti põhjaveekihtkonnas kokku 39 põhjaveekogumit ja esitati nende kõigi hüdrogeoloogilised kontseptuaalmudelid (Perens jt 2012). Põhjaveekogumite seisundit hinnati kohapealseid olusid arvestava täiustatud meetodika alusel (Infragate 2013).

EL veeseire poliitikat hakkas intensiivselt juurutama Keskkonnaministeeriumi allasutuseks toimiv Keskkonnaagentuur (KA). Viimase kätte läks vahemikus 1995–2018 järkjärgult kogu põhjaveeseire üldkorraldus, kusjuures EGK osaks jäi mainitud perioodi teisel poolel vaid mõnede tellitud seireülesannete täitmine. Samal kombel võttis EGKlt põhjaveekatastri pidamise üle Riiklik keskkonnaregister (KR), mis seadustati 2003. a.



**Joonis 4.** Eesti arteesiabasseini hüdrogeoloogilise stratigraafia peamised liigestusüksused ja põhjavee 1976. a rõhu mudeldatud isojooned põhjaveekihtkonna vertikaallõikel A–B. Lõike asukoht plaanis on näidatud joonisel 3 (Vallner jt 2020).

EGK jätkas pärast 1991. a mõnevõrra täiustatud metoodikat kasutades põhjavee tarbevaru uusmääramisi ja kohati ümberhindamisi. Koostati põhjavee kinnitatud tarbevarude bilanss ja määrati veevõtu jaotumus põhjaveekogumite, põhjaveekomplekside, põhjaveemaardlate, veehaarete (varu arvestuspiirkondade) ja maakondade kaupa 2010. a jaoks (Perens jt 2011). Seisuga 31.12.2010 oli riigi kinnitatud põhjaveevaru 500 731 m<sup>3</sup>/öp, sellest mineraalveevaru 1046 m<sup>3</sup>/öp ja linnade-alevite veevaru 499 685 m<sup>3</sup>/öp. Põhjaveevõtt oli keskmiselt 814 000 m<sup>3</sup>/öp, millest tarbiti joogi- ja olmeveena 126 000 m<sup>3</sup>/öp ning 688 000 m<sup>3</sup>/öp pumbati välja kaevandustest.

Väärtuslikud hüdrogeoloogilised üldistused on esitatud Eesti hüdrogeokeemilises atlas (Perens jt 1999) ja mõõtkavas 1:400 000 koostatud Eesti hüdrogeoloogilisel ning Eesti põhjavee kaitstuse kaardil (Perens 1998, 2001).

EGK koosseisus töötades koostas ja käivitas L. Vallner USA geoloogiateenistuse mudeldamissüsteemile *MODFLOW 2002* tugineva kolmemõõtmelise Kirde-Eesti hüdrogeoloogilise mudeli (Vallner 1996b). See hõlmas Kehrast ida poole jääva ja lõunas Põltsamaani ulatuva ristkülikulise piirkonna pindalaga 21 650 km<sup>2</sup>, sh Kambriumi ja Vendi kihtide avamuise Soome lahe akvatooriumil. Seitsme mudelikihiga eristati pinnakatte ja aluspõhja peamised vettandvad ning -pidavad kihid. Mudeldamine näitas, et Kirde-Eestis võiks veevõttu sügavatest kihtidest suurendada ligikaudu 10% võrra.

Järgnevalt konstrueeris L. Vallner samuti *MODFLOW* tarkvara alusel EAB kolmemõõtmelise hüdrogeoloogilise mudeli, mis haarab kogu Eesti maismaa ja rannikumere, Peipsi ning Pihkva järve ja piiriäärsed Venemaa ning Läti alad (joon. 3), kokku ligikaudu 88 000 km<sup>2</sup> (Vallner 2002, 2003). Mudeli 13 kihti hõlmavad kogu põhjaveekihtkonna, sh kristalse aluskorra ülemise 100 m paksuse vöö. Mudeli abil tehtud arvutustega rekonstrueeriti rõhu looduslik jaotumus põhjaveekihtkonnas ja 1976. a tehisaotumus, mil põhjaveevõtt oli lähedane pikaajalisele keskmisele (joon. 4). Koostati Kambriumi-Vendi kompleksi vee looduslik ja 1976. a bilanss ning tehti sellest tulenevaid ettepanekuid veemajanduse optimeerimiseks.

Oodatava globaalse kliimasoojenemise mudelite alusel prognoosisid A. Järvet ja L. Vallner stohhastiliste meetoditega, et selle tõttu võib netoinfiltratsioon Eestis suurened 20–40% võrra (Järvet ja Vallner 2000).

## Eesti Geoloogiateenistus

EGK asemele moodustati 2018. a Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi hallatav riigiasutus Eesti Geoloogiateenistus (EGT). Selle koosseisus rakendati A. Marandi juhtimisel tööle hüdrogeoloogia ja keskkonnageoloogia osakond (HGKKG). Viimase põhieesmärkideks seati põhjaveekeskonna optimaalse kasutamise ja kaitse printsiipide väljatöötamine, objektiivse põhjavee- ja keskkonnaalase info esitamine avalikkusele ning riigiasutustele ja hüdrogeoloogia uurijate järelkasvu soodustamine. Nende ülesannete täitmiseks arendab HGKKG põhjaveekihtkonna kolmemõõtmelist regionaalset hüdrogeoloogilist mudeldamist ja korribeerib ning täiendab uute eksperimentaalandmetega kihtide hüdrogeoloogiliste ja geokeemiliste karakteristikute (sh radoonisisalduse) andemebaasi. Uuritakse põhjaveemajanduse ja maapõuekasutuse akuutseid probleeme ning tehakse ettepanekuid nende lahendamiseks. Viiakse lõpule Eesti üldhüdrogeoloogiline ja põhjavee kaitstuse kaardistamine mõõtkavas 1 : 50 000. Pakutakse töökohti hüdrogeoloogia eriala üliõpilastele ja doktorantidele.

Suure rakendusliku tähtsusega on HGKKG sooritatud Eesti põhjaveekogumite ülduurimus (Marandi jt 2019; Riigi Teataja I 2019), milles arendati edasi varem EGKs tehtud samasuunalisi töid (Perens jt 2001b, 2012). Vahepeal kogunenud uute andmete alusel peeti seekord otstarbekaks eristada kokku 31 põhjaveekogumit, kusjuures korrigeeriti nende piire ning kontseptuaalmudeleid.

Põhjavee koguselise seisundi hindamiseks koostati EAB regionaalse voolumudeliga (Vallner ja Porman 2016) põhjaveekogumite looduslikud bilansid. Selleks jaotati kogu EAB 131-ks üksteisega hüdrauliliselt seotud bilansitsooniks, millest 38 ühtusid uuritavate põhjaveekogumitega. Seejärel arvutati *MODFLOW-2005 Zone Budget* mooduli abil põhjaveekogumitele vastavate bilansitsoonide sisse- ja väljavoolukomponendid. Nende alusel määrati iga põhjaveekogumi looduslik põhjaveeressurs, minimaalne tegelik ressurss, sedastati põhjaveevõtt ja kinnitatud tarbevaru arvesse võttes ka minimaalne kasutuses olev vaba põhjavee kogus.

Kvantitatiivselt iseloomustati põhjaveekogumite seisundit mõjutavaid koormusallikaid ja klassifitseeriti ning prioritseeriti nad vastavalt Euroopa Komisjoni eeskirjadele. Täpsustati põhjaveekogumite keemilise seisundi läviväärtusi. Põhjaveekogumite seisundit hinnati riikliku seirevõrguga vahemikus 2014–2018 kogutud andmestiku najal (Marandi jt 2020). Seejuures korrigeeriti andmebaasi ja täiustati põhjaveekogumite seisundi testimise meetodikat.

Testimine näitas (joon. 5), et 31 põhjaveekogumist vastasid nii kvaliteedi- kui ka kvantiteedinäitajate poolest vaid 12 kindlalt hea üldseisundi nõuetele. Piirkondade pindala, kus kõik geoloogilises lõikes eristatud põhjaveekogumid olid heas üldseisundis, hõlmas kokku ligikaudu 15 000 km<sup>2</sup>. Heas üldseisundis, kuid siiski ohustatuks peeti kümmet põhjaveekogumit. Nende puhul arvati, et potentsiaalsete arendajate poolt taotletav edaspidine veevõtu intensiivistamine võib tekitada põhjavee survepinna liigse alanemise ja halvendada väljapumbatava vee kvaliteeti. Maapinnal avanevate ja nende all levivate ohustatud põhjaveekogumite kogupindala oli vastavalt ligikaudu 13 000 km<sup>2</sup> ning 32 000 km<sup>2</sup>. Peamiselt halva keemilise seisundi tõttu osutusid halvas üldseisundis olevaks seitse maapinnal avanevat põhjaveekogumit kogupindalaga 17 000 km<sup>2</sup>. Lisaks neile oli halvas üldseisundis ka sügavamal lasuv Kambriumi-Vendi Voronka põhjaveekogum pindalaga 5000 km<sup>2</sup>.

Analüüsiti veekeskkonna riikliku seirevõrgu olukorda ja vastavust Eesti seadusandluse ning Euroopa Komisjoni nõuetele. Tehti konkreetseid ettepanekud 17 põhjaveekogumi seire tõhustamiseks. Kirjeldatud tööd tervikuna (Marandi jt 2019, 2020; Riigi Teataja I 2019) moodustavad teaduslikult põhjendatud ametliku aluse Eesti põhjaveemajanduse korraldamiseks perioodil 2021–2027.

Gls alustatud ja HGKKG koosseisus lõpule viidud uurimistega tõestati (Vallner jt 2015b, 2020), et rajaülesandena püstitatud <sup>18</sup>O kontsentratsiooni ajast sõltuv kolmemõõtmeline jaotumus regionaalse ulatuse ja muutliku juhtivusega põhjaveekihtkonnas on numbriliselt mudeldatav programmpakettidega *MODFLOW-2005* ja *MT3DMS* (Harbaugh 2005).

Põhjendati optimaalne viis mõõdetud negatiivsete  $\delta^{18}\text{O}$  väärtuste transformeerimiseks mudeldamise jaoks vajalikeks <sup>18</sup>O absoluutse kontsentratsiooni ühikuteks. Väljatöötatud uude arvutusmeetodika praktilise rakendatavuse tõestamiseks rekonstrueeriti ja interpreteeriti EAB geohüdroloogiline arengulugu Hillis-Pleistotseenis ja Holotseenis, kusjuures esmakordselt koostati paleovete detailsed bilansid. Tõestati teostatud regionaalsete hüdrokeoloogiliste arvutuste adekvaatsus vaadeldud ja arvutatud <sup>18</sup>O kontsentratsiooni väärtuste tugeva korrelatiivse seosega. Konstrueeriti EAB põhjavee voolu- ja transpordimudelite integraalne süsteem, mis on rakendatav viimase 22 tuhande aasta kestel toimunud ja ka tulevaste hüdrokeoloogiliste protsesside uurimiseks.

HGKKG uurimistega tuvastati intensiivse väljapumpamisega tekitatud soolaka vee üles tõmme aluskorrast lasuvasse Kambriumi-Vendi veeladestusse Viimsi poolsaarel (Raidla jt 2019b). Samal põhjusel tungib Sillamäel soolakas vesi Gdovi kihistikust läbi Kotlini vee pideme lasuvasse Voronka veekihti (Raidla jt 2019a). Täpsustati Ordoviitsiumi-Kambriumi veeladestiku vee vanust (Pärn jt 2019) ja selgitati täiendavalt Kambriumi-Vendi veeladestu vee kõrge metaanisalduse kujunemist (Raidla jt 2019c).

HGKKG üheks põhitegevuseks on Eesti veekeskonna arvutimudelite ja nende sisend- ning väljundteabe kättesaadavaks tegemine kõikidele huvilistele. Näiteks anti EGT halduses olev regionaalne hüdrogeoloogiline arvutimudel (Polikarpus 2018) tasuta kasutamiseks teiste asutuste uurijatele. Niimoodi muutus see mudel koos oma arendustega pidevalt täienevaks avalikuks Kirde-Eesti hüdrogeoloogilise info allikaks, mida on juba kasutataud Rakvere, Sillamäe, Narva-Jõesuu ja Narva veevarude täpsustamiseks ning põlevkivikaevandamise poolt põhjavee režiimile tekitatud mõjude täiendavaks selgitamiseks. Samal eesmärgil konverteeriti Eesti hüdrogeoloogiline regionaalmodell (Vallner ja Porman 2016) kättesaadavaks kasutajaliidesega *ModelMuse* (Winston 2009).

Rahvusvahelise projekti *EU-WATERRES* eesmärk on suurendada riikide suutlikkust majandada piiriüleseid põhjaveevarusid. Projekti elluviimisega Eesti ja Läti vahel on seotud HGKKG ja Läti Ülikool, kusjuures töid koordineerib Poola Geoloogiainstituut (Solovey jt 2021, Interreg Estonia-Latvia WaterAct). Piiriülesteks hüdrogeoloogilise stratigraafia üksusteks peetakse seejuures Ülem-Devoni, Ülem-Kesk-Devoni ja Kesk-Alam-Devoni veekomplekse. Läti uurijate arvutuste järgi voolab Lätist põhjavett peamiselt Kagu-Eestisse ligikaudu 9000 m<sup>3</sup>/öp ja sealt Lätti – umbes 5000 m<sup>3</sup>/öp. Projekti *EU-WATERRES* raames alustati 2021. a Lõuna-Eesti ja Põhja-Läti piiriüleste Devoni põhjaveekogumite arvutimudeli koostamist. Selle käigus kasutatakse ära L. Vallneri ning Läti Ülikooli poolt loodud regionaalsete mudelite andmed (Vallner ja Porman 2016; Virbulis jt 2013).

EGT väga hea saavutus on veebiportaali *Eesti Geoloogiafond* loomine, millega tehti üldsusele hõlpsasti kättesaadavaks Eesti Geoloogiafondi (EGF) säilikud. Selleks skaneeriti kõik hoiustatud publitseerimata teavikud, sh ka kaardid ja joonised. Autori-, koostamisaja-, asukoha- ja teemapäringute alusel sorteeritud skaneeringuid saab digitaalselt alla laadida ning infotehnoloogia vahenditega täiendavalt töödelda. Portaalil *Eesti Geoloogiafond* võis seisuga 31.12.2021 hankida 1270 hüdrogeoloogia-alase aruande ja muu teaviku ning 1857 puurkaevu andmeid.

## Keskkonnateabe portaalid

Nüüdse Kliimaministeeriumi allasutused Keskkonnaagentuur ja Keskkonnauuringute keskus, Regionaal- ja põllumajandusministeeriumi Maa-amet ning riigi Põhiregistri juurde kuuluv Keskkonnaregister on teinud üldkasutatavaks olulise osa talletatud keskkonnaandmestikust. See materjal hõlbustab hüdrogeoloogiliste uurimiste interpreteerimist ja edasiarendamist.

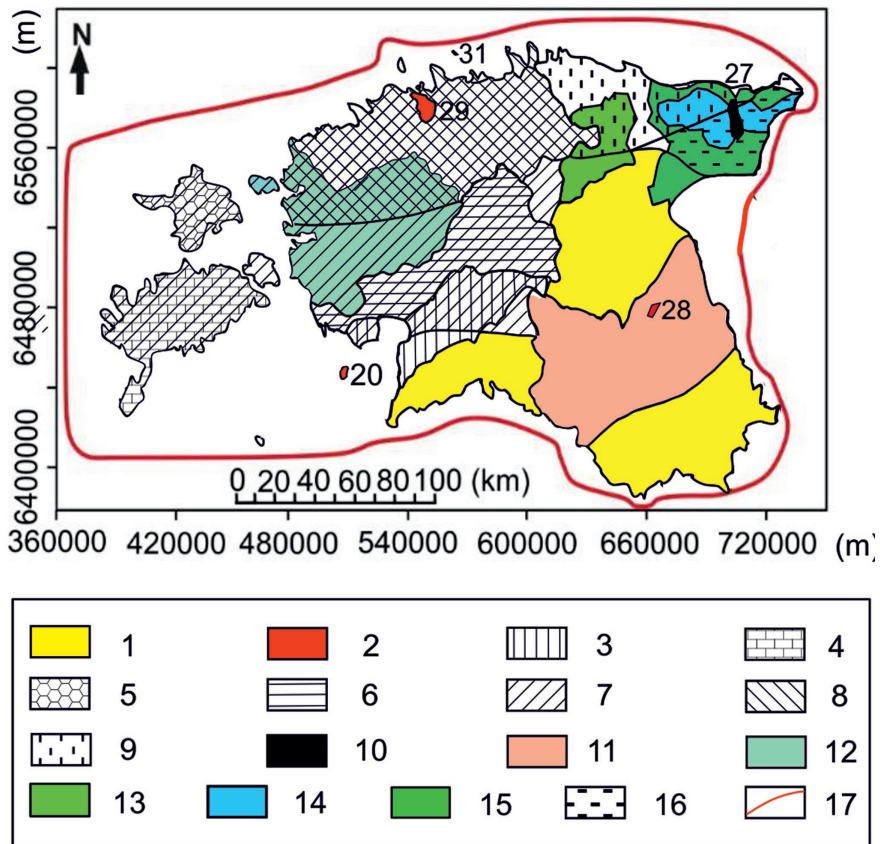
Maa-ameti *Geoportaal* teeb digiteerituna kättesaadavaks 1:50 000 geoloogilise baaskaardi teemakaardid (aluspõhi ja aluspõhja reljeef, aluspõhja läbilõiked, pinnakate, pinnakatte paksus ja pinnakatte läbilõiked, geomorfoloogia, hüdrogeoloogia, põhjavee kaitstus, hüdrogeoloogilised läbilõiked jms), samuti puursüdame andmebaasi ning pinnakatte, aluspõhja, aluskorra, hüdrogeoloogia ja põhjavee kaitstuse kaardid mõõtkavas 1:200 000 ning 1:400 000.

Riiklikku keskkonnaseiret teeb Eesti Keskkonnauuringute Keskus (EKUK) ja seireandmed on kättesaadavad veebilehel *Keskkonnaseire infosüsteem (KESE)*. Keskkonnaagentuuri poolt kureeritavas põhjaveekogumite koguselises seires oli 2021. a 255 puurkaevu, milles regulaarselt mõõdeti veetaset automaatanduritega etteantud sagedusega või käsitsi üks kord kuus. Keemilises seires oli 242 puurkaevu, kust suvise miinimumäravoolu perioodil võeti proov põhjavee koostise üldkeemiliseks analüüsiks ja osalt ka ohtlike ainete määramiseks. Nitraaditudndlikel aladel tegutses 24 seirejaama. Esitati 2021. a seiretulemuste aruanne (KA 2021).

Veebilehe *VEKA* abil on võimalik alla laadida teave (asukohaandmed, sügavus, läbindatud kihtide kirjeldus, konstruktsioon, erideebit, vee kvaliteet jms) kõigi registreeritud kaevude

ja puuraukude kohta. Selles andmebaasis oli 2021. a arvel 93 salvkaevu, 36 972 veevõtu-puurkaevu ja 3923 geoloogilist uuringupuurauku.

Veekasutuse andmestik on leitav veebilehelt *Keskkonnaotsuste infosüsteem KOTKAS*. Veemajanduse korraldamiseks vajalikke materjale pakuvad ka veebilehed *Eesti keskkonna andmete portaal* ja *eMaapõu* (*Geoscience collections of Estonia*).



**Joonis 5.** Põhjaveekogumite seisund (Marandi jt 2020). 1 - piirkond, kus kõik geoloogilises lõikes eristatud põhjaveekogumid on heas üldseisundis. Ohustatud põhjaveekogumid: 2 - Kvaternaari Meltsiveski (nr 28) ja Männiku-Pelguranna (nr 29), Kesk-Alam-Devoni Kihnu (nr 20), joonisel koos numbriga; 3 - Kesk-Alam-Devoni Lääne-Eesti vesikonnas (nr 21); 4 - Siluri Saaremaa (nr 9); 5 - Siluri-Ordoviitsiumi Hiiumaa (nr 8); 6 - Siluri-Ordoviitsiumi Pärnu (nr 12); 7 - Ordoviitsiumi-Kambriumi Lääne-Eesti vesikonnas (nr 4); 8 - Kambriumi-Vendi (nr 3); 9 - Kambriumi-Vendi Gdovi põhjaveekogum (nr 1). Halvas üldseisundis põhjaveekogumid: 10 - Kvaternaari Vasavere (nr 27) ja Prangli (nr 31), joonisel koos numbriga; 11 - Kesk-Devoni Ida-Eesti vesikonnas (nr 24); 12 - Siluri-Ordoviitsiumi Matsalu (nr 11); 13 - Siluri-Ordoviitsiumi Pandivere Ida-Eesti vesikonnas (nr 15); 14 - Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini (nr 7); 15 - Ordoviitsiumi Ida-Viru (nr 6); 16 - Kambriumi-Vendi Voronka (nr 2); 17 - EAB piir.

## Vajalikud edaspidised tegevused

### Uurimiste arendamine

Tulenevalt Eestis seadustatud maapõuepoliitikast (Riigi Teataja III 2017) peaksid siinsed ülikoolid, EGT jt veega tegelevad riiklikud institutsioonid edaspidi tihedas koostöös jätkama kogu veekeskonna optimaalse kasutamise ja kaitse printsiipide täiustamist ning praktikasse juurutamist kooskõlas maailmateaduse uusimate saavutustega. Selleks on vaja järgmisi arendusi, mis annavad parima lahenduse ka põhjaveeprobleemidele.

Kogu olemasolev andmestik veekeskonna mõõdetud või määratud karakteristikute kohta (veetase, temperatuur, filtratsioonimoodul, sademete hulk, vee kvaliteedi analüüside tulemused jms) oleks tarvis transformeerida kujule  $K(x, y, z, t)$  ja vastavate maatriksitena salvestada integreeritud andmebaaside süsteemi ( $K$  on karakteristikute arvvaartus ja  $x, y, z, t$  – ruumikoordinaadid ning määramise aeg). Siis saaks seda teavet hõlpsasti töödelda nii kaasaegse arvutustehnoloogia vahenditega kui ka tulevikus tõenäoliselt loodava keskkonnavalase tehisaruga abil.

EAB regionaalsed põhjavee voolu- ja transpordimudelid (Vallner ja Porman 2016; Vallner jt 2020) tuleks üle viia *MODFLOW 6* tarkvarale (Langevin jt 2023), mis on funktsionaalselt seostatav hulga teiste USA Geoloogiateenistuse poolt arendatavate ja veekeskonda käsitlevate tarkvarapakettidega. Järgnevalt on tarvis nimetatud regionaalmodelite imaginaarset arvutusvõret oluliselt tihendada, vajaduse korral lisada täiendavaid mudelikihte ja mudelid uuesti detailselt kalibreerida esindusliku andmestiku järgi, mis peaks olema hõlpsasti kättesaadav ülalmainitud andmebaasidest. See võimaldab komplekselt mudeldada praktiliselt kõiki Eesti veekeskonnas kulgevaid interaktiivseid protsesse. Nii saab suurima võimaliku täpsusega hinnata põhjaveehaarete, kaevanduste kuivendamise, reostusallikate jt tehistegurite ning ka oodatava kliimamuutuse mõju pinna- ning põhjaveeressurssidele nii terve EAB ulatuses kui ka territoriaalselt diferentseerituna. Ajast sõltuvaid mudeldamistulemusi, sh tulevikuprognose, saab esitada hüdrogeoloogilise stratigraafia üksuste, põhjaveekogumite jm veebilansi ruumipiirkondade kaupa. Säärase kompleksmudeldamise tulemused, kõrvutatuna andmebaasides sisalduva teabe mitmemõõtmeliste statistiliste analüüsistega, annavad teaduspõhise aluse konkreetsete meetmete kavandamiseks, mis võiksid veekeskonna seisundit säästa või parandada.

Objektiivse ülevaate veekeskonna seisundist ja selle muutumise iseloomust aja jooksul peab andma seire. Käesoleval ajal on Eestis toimiv veeseire üldiselt rahuldav, kuid edaspidi tuleks rajada täiendavaid seirepunkte ja täiustada seire metoodikat vastavalt HGKKG jt veeprobleemidega tegelevate institutsioonide ettepanekutele. Järjest rohkem vajatakse säärast seiret, mis koos veekeskonna matemaatilise mudeldamisega aitaks usaldusväärselt selgitada ja prognoosida põhjaveevarude ning nende kvaliteedi muutusi intensiivse põhjaveetarbega piirkondades. Rohkem oleks tarvis rakendada seire tulemuslikkust oluliselt parandavaid automaatandureid. Seire näitab kõige paremini juba teostatud veemajanduslike ümberkorralduste tegelikku tõhusust.

Kõiki neid seiresoovitusi peaks edaspidi rakendama eriti nende 18 Eesti põhjaveekogumi puhul, mille üldseisundit peetakse halvaks või ohustatuks (Marandi jt 2020). Eelkõige aitab see olukorda adekvaatselt hinnata.

Veekeskonna andmebaasid ja arvutimudelite funktsioneerivad koopiad tuleks koondata EGT Geoloogiafondi juurde ning teha need kättesaadavaks kõigile asjahuvilistele. Nii saab soodustada uurijate vahelist loovat diskussiooni, mis tõenäoliselt suurendab



infotöötlaste tulemuslikkust. HGKKG peaks igal aastal koostama kokkuvõtliku ülevaate põhjavee-keskkonna seisundist ja esitama selle koos motiveeritud ettepanekutega probleemsete situatsioonide ohjamiseks riigi veemajandust korraldavatele instantsidele. Laiale üldsusele arusaadaval kujul tuleks sama teavat jagada ka ajakirjandusele.

On tarvis koostada teaduslikud monograafiad eesti ja inglise keeles, mis kirjeldaksid vajaliku detailsusega Eesti veekeskonda tervikuna ja analüüsiks ning prognoosiks teaduspõhiselt selles kulgevaid protsesse.

## Hüdrokeoloogide ettevalmistus

Hinnanguliselt vajab Eesti veemajandus nõuetekohase töö tagamiseks pidevalt 20–25 magistritasemega hüdrokeoloogi. Nende stabiilse järelkasvu kindlustamiseks peaks iga 2–3 aasta järel oma karjääri alustama järjekordne vastava kvalifikatsiooniga noor spetsialist. Sääraste asjatundjate koolitamiseks ja keerukate veeprobleemide lahendamiseks on tarvis, et kümme aastat Eesti hüdrokeoloogi eviksid ka doktorikraadi.

TÜ geoloogia ja keskkonnatehnoloogia eriala õppekavas on praegu bakalaureuseastmel kursus *Hüdrokeoloogia* kolme Euroopa ainepunkti (EAP) ulatuses ja magistritasemel kohustuslik kursus *Hüdrokeokeemia ja põhjavee dünaamika* (6 EAP) ning valikkursus *Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse* (6 EAP). TTÜ maapõueressursside eriala bakalaureuse- ja magistriastmel on viimastel aastatel pakutud kursusi *Hüdrokeoloogia alused* (3 EAP), *Hüdrokeoloogia ja mäenduslik keskkonnakaitse* (6 EAP) ning *Rakenduslik hüdrokeoloogia* (6 EAP).

Hoolimata hüdrokeoloogia-alase kohustusliku kursuse piiratud mahust on siiski paljud üliõpilased õppetöö kestel sügavamalt huvitunud hüdrokeoloogiast ja õppejõudude juhendamisel keskendunud oma bakalaureuse- ning magistritöös põhjaveeprobleemide käsitlemisele. Nii on E. Karro andmete järgi aatel 1992–2021 ainuüksi TÜ geoloogia erialal kaitstud 37 hüdrokeoloogia-teemalist diplomi- ja bakalaureusetööd ning 17 magistritööd. Säärane moodus hüdrokeoloogi kvalifikatsiooni praktiliseks omandamiseks nõuab küll asjaosalistelt palju ametliku õppekava välist lisatööd oma teadmiste täiendamiseks, ent on tegelikkuses hästi korda läinud. Seda tõestab praeguseks saavutatud Eesti hüdrokeoloogilise uurituse kõrge tase.

Hüdrokeoloogia eriala magistrite suhteliselt väikese vajaduse tõttu pole arvatavasti tarvis niisugust õppekava Eesti ülikoolides täiendavalt avada. Küll aga peaks TÜ, TTÜ ja TLÜ õppekavades olema rohkem hüdrokeoloogia alamdistsipliine esindavaid valikkursusi. On vaja koostada kaasaja teaduse tasemele vastavad ja kohalikke keskkonna- ning majandustingimusi arvestavad eestikeelsed hüdrokeoloogia-alased ülikooliõpikud. Veemajandusega tegelevad organisatsioonid peaksid oma kaadrivajadust arvestades looma tasustatavad praktikakohad hüdrokeoloogia-üliõpilastele. Tuleks leida juriidiline võimalus magistrikraadi omistamiseks hüdrokeoloogia erialal nende ülikooli lõpetajatele, kes on kaitsnud selle kvalifikatsiooni nõuetele vastava magistritöö.

Filosoofidoktori teadusliku kraadi (PhD) hüdrokeoloogia erialal võib praegu Eestis omandada TÜ doktoriõppes, mille kestvus on neli aastat ja üldmaht 240 EAP. Rahvusvahelise suhtluskogemuse omandamiseks peaks doktorant vähemalt ühe semestri jooksul õppima või uurimistööd tegema mõnes mainekas väliskõrgkoolis või -teadusasutuses.

Kirjeldatud magistri- ja doktoriõppe süsteemi juurutamiseks ning nõutava taseme tagamiseks tuleks TÜ juurde luua projektipõhisest rahastusest sõltumatu hüdrokeoloogia töörühm ja hüdrokeoloogia professor.

## Kokkuvõte

Eesti kuulub hüdroteoloogiliselt väga hästi uuritud riikide hulka. Eristatud põhjaveekogumite koguseline seisund on käesoleval ajal üldiselt hea ja stabiilne. Siiski on rohkem kui poolte põhjaveekogumite keemiline seisund ohustatud või halb. See näitab, et põhjavee kvaliteedi kaitse ja parandamise probleemid on Eestis jätkuvalt aktuaalsed. Nende lahendamiseks ja kogu põhjaveemajanduse optimaalseks korraldamiseks tuleb tõhustada vee-keskkonna seiret ning teha põhjaveekihtide täiendavaid eksperimentaaluurimisi. Säärased tööd peaksid tuginema kaasaja teaduse kõrgtasemele vastavatele ja praktikas aprobeeritud hüdroteoloogilistele arvutimudelitele, nendega integreeritud Eesti riiklikele andmebaasidele ja Euroopa Liidu veemajanduse korraldamise kohustuslikele direktiividele.

## Kirjandus

- Arbeiter, R. J., Vallner, L. K., Saapar, L. A., Savitski, L. A. 1982. Оседание земной поверхности в Эстонии под влиянием антропогенных факторов (Maarinna tehnogeenne vajumine Eestis). Водные ресурсы (Vodnye resursy), **2**, 64–78.
- Arhangelski, B. N. (toim.) 1966b. Гидрогеология СССР, т. XXX, Эстонская ССР. Часть II. Эксплуатационные запасы подземных вод. Подземные воды в народном хозяйстве. (NSVL hüdrokeoloogia, XXX kd., Eesti NSV. II osa. Põhjavee tarbevarud. Põhjaveed rahvamajanduses). VSEGINGEO, ENSV Geoloogiavalitsus. Nedra, Moskva, 42 lk.
- Arhangelski, B. N. (toim.) 1966a. Гидрогеология СССР, т. XXX, Эстонская ССР. (NSVL hüdrokeoloogia, XXX kd., Eesti NSV). VSEGINGEO, ENSV Geoloogiavalitsus. Nedra, Moskva, 303 lk.
- Boldõreva, N., Perens, R. 2003. *Põhjavee tugivõrgu seire*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr. 7468, uurimistöõ aruanne, 46 lk.
- Boldõreva, N., Erikson, N., Kivit, N., Saaremäe, L., Savitskaja, L., Schmied, A. 1992. *Põhjavee seisund 1991. aastal*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 127 lk.
- Eesti Geoloogiafond. <https://fond.egt.ee/fond> (vaadatud 25.03.2024)
- Eesti keskkonna andmete portaal, <https://keskkonnaportaal.ee/et> (vaadatud 25.03.2024)
- eMaapõu: geoloogilised andmed ja e-teenused, <https://geoloogia.info> (vaadatud 25.03.2024)
- Erg, K. 2005. *Groundwater sulphate content changes in Estonian underground oil shale mines*. Doctoral thesis. Tallinn University of Technology, TTÜ Press, Tallinn, 43 lk.
- Erg, K. 2007. Põlevkivikaevanduste sulgemisest tekkinud hüdrokeoloogilise režiimi muutused. *Eesti Mereakadeemia toimetised*, **5**, 92–100.
- Fischer, J. B. 1791. Versuch einer Naturgesichte von Livland, entworfen von J. B. Fischer. Zwote vermehrte und verbesserte Auflage. Königsberg, bey Friedrich Nicolovius, 826 S.
- Geokirjandus. Eesti maapõue teavikute register. <https://kirjandus.geoloogia.info> (vaadatud 25.03.2024)
- Gerber, C., Vaikmäe, R., Aeschbach, W., Babre, A., Jiang, W., Leuenberger, M., Lu, Z.-T., Mokrik, R., Müller, P., Raidla, V., Saks, T., Weber, H., Weissbach, T., Zappala, J. C., Purtschert, R. 2017. Using <sup>81</sup>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. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2017.01.033>
- Gontar', V. Z. 1965. Отчет о детальной разведке подземных вод погребенной долины Вазавере (водоснабжение г. Кохтла-Ярве) (Vasavere mattunud oru põhjavete detailse uuringu aruanne (Kohkla-Järve veevarustus)). ENSV Geoloogiavalitsus, Tallinn. EGF, nr 2442, uurimistöõde aruanne, 145 lk.
- Gordiyenko, F., Kotlyakov, V., Punning, J.-M., Vaikmäe, R. 1981. Study of a 200 m core from the Lomonosov ice plateau on Spitsbergen and the palaeoclimatic implications. *Polar Geography and Geology*, **5**, 4, 242–251. <https://doi.org/10.1080/10889378109388695>
- Harbaugh, A. W. 2005. *MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A-16. <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/tm6A16/>.
- Heinsalu, I. A. (koost) 1969. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1961–1965. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1961–1965. II osa. Käsikirjalised tööd.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV Geoloogiavalitsus. Valgus, Tallinn, 784 lk.
- Heinsalu, I. A., Lugus, E. A. (koost) 1988. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1976–1980. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1976–1980. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiavalitsus, Tallinn, 167 lk.

- Heinsalu, I. A., Neiman, S. D. (koost) 1966. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1918–1960. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1918–1960. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiaavalitsus. Valgus, Tallinn, 292 lk.
- Heinsalu, I. A., Neiman, S. D. (koost) 1987. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1971–1975. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1971–1975. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiaavalitsus, Tallinn, 262 lk.
- Heinsalu, I. A., Neiman, S. D., Mändmaa, M. N. (koost) 1974. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1966–1970. Вып. II. Рукописные работы. (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1966–1970. II osa. Käsikirjalised tööd.). ENSV Geoloogiaavalitsus. Valgus, Tallinn, 804 lk.
- Heinsalu, Ü. 1977a. Eesti allikad ja nende kaitse 1. *Eesti Loodus*, **7**, 418–426.
- Heinsalu, Ü. 1977b. Eesti allikad ja nende kaitse 2. *Eesti Loodus*, **8**, 490–496.
- Heinsalu, Ü. 1978. Karsti tähtsusest põhjaveevarude täienemisel Eestis. *Põhjavee kasutamisest ja kaitsest Eesti NSV-s* (Heinsalu, Ü., toim.). Eesti NSV TA Looduskaitse Komisjon, Tallinn, 44–53. <http://www.digar.ee/id/nlib-digar:651175> (vaadatud 25.03.2024)
- Heinsalu, Ü. 1993. Allikad vanemas eesti kirjanduses (kuni 1940. a.). *Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist. IX kogumik. Geoloogia rajajooni Eestis* (Viiding, H., Raukas, A., toim.-d). Eesti Loodusuurijate Selts Eesti Teaduste Akadeemia juures, Tallinn, 22–45.
- Heinsalu, Ü., Kuptsov, A. 1981. Об инфильтрационно-инфлюационной способности поверхностных карстовых форм Эстонской ССР (Eesti NSV pindmise karsti vormide infiltratsiooni- ja influatsioonivõimekusest). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **30**, 2, 72–78.
- Helmersen, G. P. 1851. Об артезианском колодце в Ревеле и о вероятности достигнуть воды посредством такого же колодца в С.-Петербурге (Ühest Tallinna arteesiakaevust ja vee saamise tõenäosusest samalaadse kaevuga St.-Petersburgis). Горный журнал (Gornyj zhurnal), I часть, I книга, 4–11.
- Hupel, A. W. 1789. Die gegenwärtige Verfassung der Rigaeschen und Revelschen Stadthalterschaft. Ergänzung der topographischen Nachrichten von Liv- und Estland. Riga, 877 S.
- Indermitte, E., Saava, A., Karro, E. 2009. Exposure to high fluoride drinking water and risk of dental fluorosis in Estonia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **6**, 2, 710–721. <https://doi.org/10.3390/ijerph6020710>
- Indermitte, E., Saava, A., Karro, E. 2014. Reducing exposure to high fluoride drinking water in Estonia - a countrywide study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **11**, 3, 3132–3142. <https://doi.org/10.3390/ijerph110303132>
- Infragate 2013. *Põhjaveekogumite seisundiklasside määramise kriteeriumite ja meetodika väljatöötamine*. AS Infragate Eesti, Tallinn, 160 lk. <https://envir.ee/media/602/download> (vaadatud 25.03.2024)
- Interreg Estonia-Latvia WaterAct. 2022, <https://allikad.info> (vaadatud 25.03.2024)
- Ivask, J. 2000. *Ion chromatographic determination of major anions and cations in polar ice core*. PhD thesis. Dissertationes Chimicae Universitatis Tartuensis 15. Tartu University Press, Tartu, 85 lk.
- Johannes, E. J., Karise, V. J., Savitskaja, L. O. 1980. Миграция некоторых ингредиентов сельскохозяйственного загрязнения в четвертичных отложениях Эстонии (Mõnede põllumajandusliku reostumise ingredientide migratsioon Eesti kvaternaarisetetes). В кн.: Проблемы гидрогеологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.-d). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 133–143.
- Jouzel, J., Vaikmäe, R., Petit, J. R., Martin, M., Duclos, Y., Stievenard, M., Lorius, C., Toots, M., Mélières, M. A., Burckle, L. H., Barkov, N. I., Kotlyakov, V. M. 1995. The two-step shape and timing of the last deglaciation in Antarctica. *Climate Dynamics*, **11**, 151–161.

- Jõelegt, A. 1998. *Geothermal studies of the Precambrian basement and Phanerozoic sedimentary cover in Estonia and Finland*. PhD thesis. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 7. Tartu University Press, Tartu, 125 lk.
- Jõelegt, A., Polikarpus, M. 2018. Kõide 4. Hüdrokeoloogiline modelleerimine. Aruanne: Puura, V., Kalla, K., Plado, J., Soesoo, A., Sedman, P., Talviste, P., Jõelegt, A., Polikarpus, M., Marandi, A., Puura, E., Karro, E., Sepp, K., Metsaots K., Raet J. 2018. Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. Tartu Ülikool. Keskkonnainvesteeringute keskuse projekt nr. 11808. Tallinn. EGF, nr. 9809, uurimistöö aruanne, 42 lk.
- Jõgar, P. 1977. О схеме гидростратиграфического расчленения карбонатных пород Северной Эстонии (Põhja-Eesti karbonaatkivimite hüdrokeoloogilise stratifitseerimise skeemist). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **26**, 2, 155–158. <https://doi.org/10.3176/chem.geol.1977.2.12>
- Jõgar, P. E. 1974. Метод гидростратиграфического расчленения карбонатных пород при помощи обобщенных (суммарных) гидрогеологических данных и его применение на примере Северной Эстонии (Karbonaatkivimite hüdrokeoloogilise stratifitseerimise meetod üldistatud (summaarsete) hüdrokeoloogiliste andmete abil ja selle rakendamine Põhja-Eesti näitel). ENSV TA, Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. Tallinn. EGF, nr 3380, dissertatsioon, 211 lk.
- Jõgar, P. E. 1984. Алгоритмы гидрогеологической стратификации и их применение в целях фильтрационной схематизации водовмещающей толщи (Hüdrokeoloogilise stratifitseerimise algoritmid ja nende kasutamine põhjaveekihi filtratsiooniliseks skematiseerimiseks). В кн.: Методы анализа и обработки гидрогеологических данных для прогноза ресурсов подземных вод (Hüdrokeoloogiliste andmete analüüsi ja töötlemise meetodid põhjavee ressursside prognoosimiseks). (Vallner, L. K., vast. toim.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 104–111.
- Järvet, A., Vallner, L. 2000. *Assessment of the climate change impact on groundwater in Estonia*. In *Climate change impacts and responses*. (Mimura, N., toim.). The Japan Environment Agency and Overseas Environmental Cooperation Center, 337–348.
- KA 2021. Põhjaveekogumite seire 2021. aasta aruanne. Keskkonnaagentuur, Tallinn.
- Kalt, C. 1913. Bericht über das projektierte Grundwasserwerk der Stadt Jurjev (Dorpat). In: Berichte und Gutachten betreffend das Projekt der Versorgung der Stadt mit Grundwasser. III, Dorpat, 9–65.
- Karise, V. 1969. *Lõuna-Eesti kvaternaari setete veed ja nende koostise kujunemine*. ENSV TA Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. ERA.R-2346.3.783, 239 lk. Karise, V., Vallner, L., Pill, A. 1986. Гидрогеология (Hüdrokeология). История геологических наук в Эстонии (Geoloogiateaduste ajalugu Eestis). (Viiding, H., Kaljo, D., toim.-d). Valgus, Tallinn, 213–232.
- Kark, J. 1928. Hydrogeologische Verhältnisse Estlands. In *II Baltische hydrologische und hydrometrische Konferenz. Tallinn, Juni 1928*. Verkehrsministerium Estlands, 1–8.
- Karro, E., Marandi, A. 2003. Mapping of potentially hazardous elements in Cambrian-Vendian aquifer system, northern Estonia. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, **75**, 17–27.
- Karro, E., Rosentau, A. 2005. Fluoride levels in the Silurian-Ordovician aquifer system of Western Estonia. *Fluoride*, **38**, 4, 307–311.
- 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**, 5, 3735–3748. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2824-5>
- Karro, E. 1999. *Hydrogeochemical studies of the bedrock and glaciofluvial aquifers in Finland*. Doctoral thesis. University of Helsinki. Yliopistopaino, Helsinki, 30 lk.
- Karro, E., Indermitte, E., Saava, A., Haamer, K., Marandi, A. 2006. Fluoride occurrence in publicly supplied drinking water in Estonia. *Environmental Earth Sciences*, **50**, 3, 389–396. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0217-1>

- 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**, 4, 424–435.
- Karro, E., Marandi, A., Vaikmäe, R., Uppin, M. 2009. Chemical peculiarities of Silurian-Ordovician and Cambrian-Vendian aquifer systems in Estonia: an overview of hydrochemical studies. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **58**, 4, 342–352.
- 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. <https://doi.org/10.3176/earth.2020.17>
- Keskkonnaotsuste infosüsteem KOTKAS. <https://kotkas.envir.ee/> (vaadatud 25.03.2024)
- Keskkonnaseire infosüsteem (KESE). <https://keskkonnaagentuur.ee/> (vaadatud 25.03.2024)
- Kink, H. (koost.). 2006. *Veeobjektid „Eesti ürglooduse raamatus“*. Teaduste Akadeemia Kirjastus, Tallinn, 144 lk.
- Kink, H. 1987. Экономико-экологическая оценка влияния техногенных факторов на гидрогеологические условия Эстонской ССР (Eesti NSV hüdrogeoloogilistele tingimustele tehnogeensete faktorite poolt osutatava mõju majanduslik-ökoloogiline hinnang). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 4314, uurimistööde aruanne, 421 lk.
- Kink, H. 2004. *Hüdrogeoökoloogilised uuringud Geoloogia Instituudis aastail 1965–2003*. Tallinna Tehnikaülikool. TTÜ Kirjastus, Tallinn, 166 lk.
- Kink, H. A. 1970. Геологическая и гидрогеологическая характеристика осушаемых низинных болот Эстонской ССР и методика их исследований с применением электроразведки (Eesti NSV kuivendatavate madalsoode geoloogiline ja hüdrogeoloogiline iseloomustus ja nende uurimise meetodika elektriliste uuringute kasutamisega). ENSV TA, Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. Tallinn. Российская государственная библиотека (Rossijskaya gosudarstvennaya biblioteka), Moskva, 218 lk.
- Kink, H. A. 1980. Применение оценки техногенных-гидрогеологических условий северо-западной части Эстонской ССР (Eesti NSV loodeosa tehnogeensete hüdrogeoloogiliste tingimuste hinnangu rakendamise). В кн.: Проблемы гидро-геологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 144–151.
- Kink, H., Lust, E., Metslang, T. 1990. *Vee seisundi kompleksne ökoloogiline hinnang kaitsealadel*. Eesti TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 4556, uurimistööde aruanne, 114 lk.
- Kivit, N. N., Savitski, L. A., Belkina, V. Ya., Böldõreva., N. I., Kulichenko, G. N., Saaremäe, A. A., Sahnovski, B. G., Tamm, V. E., Schmied, A. A., Erikson, N. N. 1987. Сводный отчет по изучению режима подземных вод на территории Эстонской ССР по состоянию на 1.01.1986 г. (Eesti NSV territooriumi põhjavete režiimi uurimise koondaruanne seisuga 01.01.1986). ENSV Geoloogiaavalitsus, Tallinn. EGF, nr 4255, uurimistööde aruanne, 425 lk.
- Klaamann, E. (koost.) 1968. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1941–1960. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1941–1960. I osa. Trükised.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. Valgus, Tallinn, 176 lk.
- Koit, O., Barberá, J. A., Marandi, A., Terasmaa, J., Kiivit, I.-K., Martma, T. 2020. Spatiotemporal assessment of humic substance-rich stream and shallow karst aquifer interactions in a boreal catchment of northern Estonia. *Journal of Hydrology*, **580**, 124238. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124238>
- 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 Carstologica*, **46** (2-3), 265–282. <https://ojs.zrc-sazu.si/carstologica/article/download/4951/6252>
- Langevin, C. D., Hughes, J. D., Provost, A. M., Russcher, M. J., Niswonger, R. G., Panday, Sorab, Merrick, Damian, Morway, E. D., Reno, M. J., Bonelli, W. P., and Banta, E. R. 2023. MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.4.2: U.S. Geological Survey Software Release, 28 June 2023. <https://doi.org/10.5066/P9FL1JCC> (vaadatud 25.03.2024)



- Luha, A. 1946. *Eesti NSV maavarad*. Eesti NSV Majanduse Teadusliku Uurimise Instituut. Teaduslik Kirjandus, Tartu, 178 lk.
- Maa-ameti Geoportaal, <https://geoportaal.maaamet.ee> (vaadatud 25.03.2024)
- Marandi, A., Karro, E. 2008. Natural background levels and threshold values of monitored parameters in the Cambrian-Vendian groundwater body, Estonia. *Environmental Geology*, **54**, 6, 1217–1225. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0904-6>
- Marandi, A., Vallner, L. 2010. Upconing of saline water from the crystalline basement into the Cambrian-Vendian aquifer system on the Kopli Peninsula, Northern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **59** (4), 277–287.
- Marandi, A. 2007. *Natural chemical composition of groundwater as a basis for groundwater management in the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia*. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 21. Tartu University Press, Tartu, 116 lk.
- Marandi, A., Karro, E., Puura, E. 2004. Barium anomaly in the Cambrian-Vendian aquifer system in North Estonia. *Environmental Geology*, **47**, 1, 132–139.
- Marandi, A., Karro, E., Osjamets, M., Polikarpus, M., Hunt, M. 2020. *Eesti põhjaveekogumite seisund perioodil 2014–2019*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. EGF, nr 9416, uurimistööde aruanne, 54 lk. <https://fond.egt.ee/fond/egf/9416> (vaadatud 25.03.2024)
- Marandi, A., Karro, E., Polikarpus, M., Jõelet, A., Kohv, M., Hang, T., Hiimaa, H. 2013a. Simulation of the hydrogeologic effects of oil-shale mining on the neighbouring wetland water balance: case study in north-eastern Estonia. *Hydrogeology Journal*, **21**, 7, 1581–1591. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-1032-x>
- Marandi, A., Karro, E., Raidla, V., Vaikmäe, R. 2012. Conceptual model of groundwater quality for the monitoring and management of Voronka groundwater body, Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **61**, 4, 328–339.
- Marandi, A., Osjamets, M., Polikarpus, M., Pärn, J., Raidla, V., Tarros, S., Vallner, L. 2019. *Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine, koormusallikate hindamine ja hüdrogeoloogilistekontseptuaalsete mudelite koostamine*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. EGF, nr 9416, uurimistööde aruanne, 553 lk.
- Marandi, A., Polikarpus, M., Jõelet, A. 2013b. A new approach for describing the relationship between electrical conductivity and major anion concentration in natural waters. *Applied Geochemistry*, **38**, 103–109.
- Marandi, A., Veinla, H., Karro, E. 2014. Legal aspects related to the effect of underground mining close to the site entered into the list of potential Natura 2000 network areas. *Environmental Science & Policy*, **38**, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.01.003>
- Mokrik, R. 1997. *The paleohydrogeology of the Baltic Basin. Vendian & Cambrian*. Institute of Geology, Lithuania Institute of Geology. University of Tartu, Tartu, 138 lk.
- Mokrik, R. 2003. Baltios baseino paleohidrogeologija. Neoproterozojus ir fanerozojus. Vilniaus universitetas. Vilnius, 333 lk.
- Mokrik, R., Karro, E., Savitskaja, L., Drevaliene, G. 2009. The origin of barium in the Cambrian-Vendian aquifer system, North Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **58**, 3, 193–208.
- Männil, R. M. (koost.) 1972. Геологическая изученность СССР. Том 50. Эстонская ССР. Период 1918–1940. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Period 1918–1940. I osa. Trükised.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. Valgus, Tallinn, 252 lk.
- Müürisepp, K. K. (koost.) 1984b. Геологическая изученность СССР, Т. 50. Эстонская ССР. Период 1861–1917. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Period 1861–1917. I osa. Trükised.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 272 lk.
- Müürisepp, K. K. (koost.) 1973. Геологическая изученность СССР. Т. 50. Эстонская ССР. Период 1961–1965. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Period 1961–1965. I osa. Trükised.). NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. Valgus, Tallinn, 279 lk.

- Müürisepp, K. K. (koost.) 1977. Геологическая изученность СССР. Т. 50. Эстонская ССР. Период 1966–1970. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1966–1970. I osa. Trükised.). NSVL TA, NSVL Geoloogiaministeerium, ENSV TA. TA Geoloogia Instituut, Tallinn, 283 lk.
- Müürisepp, K. K. (koost.) 1984a. Геологическая изученность СССР. Т. 50. Эстонская ССР. Период 1678–1860. Вып. I. Опубликованные работы (NSVL geoloogiline uuritus. 50. kd. Eesti NSV. Periood 1678–1860. I osa. Trükised.). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 120 lk.
- Orviku, K. 1946. *Tartu linna hüdrogeoloogia*. Eesti NSV Tartu Riikliku Ülikooli Toimetised. Geoloogia ja geograafia. Teaduslik Kirjandus, Tartu, 56 lk., 4 lisa.
- Perens, R. (koost.) 1998. *Eesti hüdrogeoloogiline kaart mõõtkavas 1:400 000. Seletuskiri*. Eesti Geoloogiakeskus. Tallinn, 40 lk.
- Perens, R. 1978. О применении расходомерии при расчленении гидрогеологического разреза карбонатной толщи на Пандивереской возвышенности (Vooluhulkade karotaaži kasutamisest karbonaatkivimite kihistu püstlõike hüdrogeoloogiliseks liigestamiseks Pandivere kõrgustikul). *ENSV TA Toimetised, Geoloogia*, **27**, 4, 130–139.
- Perens, R. 2001. *Eesti põhjavee kaitstuse kaart*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7120, 47 lk.
- Perens, R., Boldõreva, N., Savitski, L., Kivit, N., Savitskaja, L., Hindrikson, M., Perens, R., Savitski, L., Savva, V., Jaštšuk, S., Häelm, M. 2012. *Põhjaveekogumite piiride kirjeldamine ja põhjaveekogumite hüdrogeoloogiliste kontseptuaalsete mudelite koostamine*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 8450, uurimistöõde aruanne, 590 lk.
- Perens, R., Savva, V., Truu, M. 2011. *2010. aasta põhjaveevaru bilanss*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 8367, uurimistöõde aruanne, 39 lk.
- Perens, R., Savva, V., Boldõreva, N., Parm, T. 2001a. *Põhjaveeseire euroharmoniseerimine*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7304, uurimistöõde aruanne, 128 lk.
- Perens, R., Savva, V., Lelgus, M., Parm, T. 2001b. *Põhjaveeklasside määramise jätkamine vastavuses veepoliitika raamdirektiiviga (2000/60/EÜ)*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7305, uurimistöõde aruanne, 57 lk.
- Perens, R., Savva, V., Lelgus, M., Parm, T. 1999. *Eesti hüdrogeokeemiline atlas*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 6346, uurimistöõde aruanne, 246 lk.
- Perens, R., Vallner, L., Savitskaja, L., Karise, V. 1997. *Hydrogeology*. In *Geology and mineral resources of Estonia*. (Raukas, A., Teedumäe, A., toim). Institut of Geology. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 137–162.
- Pill, A. A. 1974. Подземные воды западного побережья и островов Эстонии и особенности их формирования (Eesti läänerranniku ja saarte põhjaveed ning nende kujunemise iseärasused). ENSV TA, Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. Tallinn. 199 lk.
- Polikarpus, M. 2018. Kõide 5. Virumaade mudeli kirjeldus ning kasutusjuhend. Aruanne: Puura, V., Kalla, K., Plado, J., Soesoo, A., Sedman, P., Talviste, P., Jõeleht, A., Polikarpus, M., Marandi, A., Puura, E., Karro, E., Sepp, K., Metsaots K., Raet J. 2018. Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsitusena koos alternatiivsete leevendusmeetmetega. Tartu Ülikool. Keskkonnainvesteeringute keskuse projekt nr. 11808. Tallinn. EGF, nr. 9809. Uurimistöõ aruanne, 35 lk.
- Polikarpus, M., Karro, E., Jõeleht, A., Rooni, K. 2017. *Tartu linna põhjaveevaru ümberhindamine aastani 2045*. Tartu Ülikool, Ökoloogia ja maateaduste instituut, geoloogia osakond, Tartu. EGF, nr 8847.
- Puksmann, E. 1936. *Põhjaveepinna kõikumine metsamaadel* ülikooli õppe- ja katsemetskonnas 1930.–1934. a. Tartu Ülikooli õppe- ja katsemetskond. Tartu Ülikooli metsaosakonna toimetised, Tartu, 125 lk.
- Punning, J.-M., Toots, M., Vaikmäe, R. 1987. Oxygen-18 in Estonian Natural Waters. *Isotopenpraxis* **23**, 232–234. <https://doi.org/10.1080/10256018708623797>

- Puura, V., Kalla, K., Plado, J., Soesoo, A., Sedman, P., Talviste, P., Jõelet, A., Polikarpus, M., Marandi, A., Puura, E., Karro, E., Sepp, K., Metsaots, K., Raet J. 2018. *Virumaa maavarade võimaliku kaevandamise keskkonnamõjud põhja- ja pinnaveele ning maastikule keskkonnageoloogiliste mudelitega analüüsituna koos alternatiivsete leevendusmeetmetega*. Tartu Ülikool. Keskkonnainvesteeringute keskuse projekt nr 11808. EGF, nr 9809, uurimistöde aruanne, 346 lk.
- Pärn, J. 2018. *Origin and Geochemical Evolution of Palaeogroundwater in the Northern Part of the Baltic Artesian Basin*. Tallinn University of Technology. Doctoral thesis, 58/2018. TTÜ Press, Tallinn, 226 lk.
- 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., 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., Camp van, 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. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.01.004>
- Raidla, V. 2010. *Chemical and isotope evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system in Estonia*. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 28. Tartu University Press, Tartu, 134 lk.
- Raidla, V., Kern, Z., Pärn, J., Babre, A., Erg, K., Ivask, J., Kalvans, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.004>
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Ivask, J., Kaup, E., Knöller, K., Marandi, A., Martma, T., Vaikmäe, R. 2014. Sulphur isotope composition of dissolved sulphate in the Cambrian-Vendian aquifer system in the northern part of the Baltic Artesian Basin. *Chemical Geology*, **383**, 147–154. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2014.06.011>
- Raidla, V., Kirsimäe, K., Vaikmäe, R., Jõelet, A., Karro, E., Marandi, A., Savitskaja, L. 2009. Geochemical evolution of groundwater in the Cambrian-Vendian aquifer system of the Baltic Basin. *Chemical Geology*, **258**, 3-4, 219–231. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.10.007>
- 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**, 10, 2042–2054. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.06.005>
- Raidla, V., Polikarpus, M., Pärn, J., Tarros, S. 2019a. *Põhjavee kloriidide sisalduse tõusu põhjuste ja päritolu uuring Sillamäel*. Eesti Geoloogiateenistus, Rakvere. EGF, nr 9316, uurimistöde aruanne, 81 lk.
- 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. <https://doi.org/10.3390/geosciences9010047>
- Raidla, V., Pärn, J., Schloemer, S., Aeschbach, V., Czuppon, G., Ivask, J., Marandi, A., Sepp, H., Vaikmäe, R., Kirsimäe, K. 2019c. 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. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.02.029>
- Rauch, J. E. 1794. Über die Merkwürdigkeiten Kirchspiels St. Jacobi. Neue Nordische Miscellanen. IX u. X Stück. Riga, 539–543.

- Revalsche Post-Zeitung. 1691. *Dörpt/vom 3 Octobr.* Revalsche Post-Zeitung am Donnerstage/ Anno 1691. den 8. Octobr. No. 81.
- Riigi Teataja I, 2019. 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. RT I, 02.10.2019, 5.
- Riigi Teataja III, 2017. *Maapõuepoliitika põhialused aastani 2050.* RT III, 07.06.2017, 2.
- Savitskaja, L. (toim.) 1995. *Põhjavee seisund 1994. aastal.* Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, -151 lk.
- Savitskaja, L., Viigand, A. 1994. Aruanne kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 4970, uurimistööde aruanne, 95 lk.
- Savitskaja, L., Savva, V., Viigand, A. 2000. *Joogiveeuuring mikrokomponentide määramiseks Harjumaal.* Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, EGF, nr 6826, uurimistööde aruanne, 101 lk.
- Savitskaja, L., Viigand A., Jaštšuk, S. 1995. Aruanne ordoviitsiumi-kambriumi veekihi põhjavee mikrokomponentide sisalduse ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 5294, uurimistööde aruanne, 54 lk.
- Savitskaja, L., Viigand, A., Kulitšenko, G. 1982. Геолого-гидрогеологическое обоснование охраны подземных вод в условиях Эстонской ССР (Põhjavee kaitsge geoloogiline ja hüdrogeoloogiline motiveerimine Eesti NSV tingimustes). ENSV MN Geoloogiaavalitsus, Tallinn. EGF, nr 3954, uurimistööde aruanne, 141 lk.
- Savitski, L. A. 1980. Особенности формирования водопритоков в горные выработки Эстонского месторождения горючих сланцев (Eesti põlevkivimaardla kaevanditesse tungivate veevoolude kujunemise iseärasused). В кн.: Проблемы гидрогеологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.-d). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 52–161.
- Savitski, L. A., Sergejeva, V. S., Savitskaja, L. O., Krivoshejev, P. A., Bibikov, B. I. 1967. Сводный отчет по изучению режима подземных вод за 1961–1965 гг. (*Põhjavee režiimi uurimise koondaruanne aastatest 1961–1965*). ENSV MN Geoloogiaavalitsus, Tallinn. EGF, nr 2959, uurimistööde aruanne, 612 lk.
- Schmidt, C. 1863. *Die Wasserversorgung Dorpats, eine hydrologische Untersuchung.* Archiv. Naturk. Liv-, Est- u. Kurland. Ser. 1, Bd. III, Lief. 3, 205–420.
- Solovey, T., Rafał, J., Małgorzata, P., Harasymchuk, V., Medvid, H., Poberezhsky, A., Janik, M., Stupka, O., Teleguz, O., Panov, D., Pavliuk, N., Yanush, L., Kharchyshin, Y., Borozdins, D., Bukovska, I., Demidko, J., Valters, K., Bikše, J., Dēliņa, A., Popovs, K., Marandi, A., Männik, M., Polikarpus, M. 2021. Assessment of the resources of transboundary groundwater reservoirs for the 2 pilot areas. *The project No 2018-1-0137 „EU-WATERRES: EU-Integrated management system of cross-border groundwater resources and anthropogenic hazards“*, 97 lk.
- Sterckx, A., Lemieux, J.-M., Vaikmäe, R. 2017. Representing glaciations and subglacial processes in hydrogeological models: a numerical investigation. *Geofluids*, v. 2017, 12 lk. <https://doi.org/10.1155/2017/4598902>
- Sterckx, A., Lemieux, J.-M., Vaikmäe, R. 2018. Assessment of paleo-recharge under the Fennoscandian Ice Sheet and its impact on regional groundwater flow in the northern Baltic Artesian Basin using a numerical model. *Hydrogeology Journal*, **26**, 2793–2810.
- 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*, v. 601–602, 678–690. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.136>

- Zektser, I. S. 1964. Естественные ресурсы пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна (Balti arteesiabasseini magedate põhjavete looduslikud ressursid). Тр. АН Лит ССР, серия Б. I (36), (Tr. AN LitSSR, seriya B. I (36)), 201–206.
- Terasmaa, J., Vainu, M., Lode, E., Pajula, R., Raukas, A. 2015. *Põhjaveekogumi veest sõltuvad ökosüsteemid, nende seisundi hindamise kriteeriumid ja seirevõrk*. Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus, uurimistööde aruanne, Tallinn, 142 lk. [https://old.envir.ee/sites/default/files/pohjaveest\\_soltuvad\\_okosusteemid\\_1.pdf](https://old.envir.ee/sites/default/files/pohjaveest_soltuvad_okosusteemid_1.pdf) (vaadatud 25.03.2024)
- Tibar, K. O. 1987. Закономерности распределения гелия в подземных водах северного склона Прибалтийского артезианского бассейна (Heeliumi jaotumuse seaduspärasused Balti arteesiabasseini põhjanõlva põhjavetes). Valgevene NSV TA, Geokeemia ja Geofüüsika Instituut. Kandidaadidissertatsiooni autoreferaat. Minsk, 20 lk.
- Tšeban, E. 1962a. Обзорная гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 (Эстонская ССР). (NSVL hüdroteoloogiline ülevaatekaart mõõtkavas 1:2 500 000 (Eesti NSV)). ENSV MN Geoloogia ja Maapõuekaitse Valitsus, Tallinn. EGF, nr 1724, uurimistööde aruanne, 141 lk.
- Tšeban, E. 1962b. Обзорная гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:1 500 000 (Эстонская ССР). (NSVL hüdroteoloogiline ülevaatekaart mõõtkavas 1:1 500 000 (Eesti NSV)). ENSV MN Geoloogia ja Maapõuekaitse Valitsus, Tallinn. EGF, nr 1765, uurimistööde aruanne, 130 lk.
- Tšeban, E. 1975. *Eesti NSV põhjavesi ja selle kasutamine*. Valgus, Tallinn, 168 lk.
- Tšeban, E. R. 1969. Подземные воды Эстонии (распределение, формирование, ресурсы и перспективы использования). (Eesti põhjaveed (jaotumus, kujunemine, ressursid ja kasutamise perspektiivid)). VSEINGEO. ENSV Geoloogia valitsus. Moskva-Tallinn. EGF, nr 3060. Dissertatsioon, 269 lk. <https://fond.egt.ee/fond/egf/3060> (vaadatud 25.03.2024)
- Tšeban, E. R., Viigand, A. P., Tšeusova, E. A. 1965. Комплекс сводных и погоризонтных гидрогеологических карт Эстонской ССР м-ба 1:500 000 (Eesti NSV kokkuvõtlike ja detailsete hüdroteoloogiliste kaartide kompleks mõõtkavas 1:500 000). ENSV MN Geoloogia ja Maapõuekaitse Valitsus, Tallinn. EGF, nr 2466, uurimistööde aruanne, 290 lk.
- Uppin, M., Karro, E. 2012. Geological sources of boron and fluoride anomalies in Silurian-Ordovician aquifer system, Estonia. *Environmental Earth Sciences*, **65**, 1147–1156. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1363-7>
- Uppin, M. 2013. *Geological sources and hydrochemistry of fluoride and boron in Silurian-Ordovician aquifer system*. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis 35. Tartu University Press, Tartu, 38 lk.
- Vaikmäe, R. 1990. Isotope variations in the temperate glaciers of the Eurasian Arctic. *Nuclear Geophysics*, 1990, **4**, 1, 45–55.
- Vaikmäe, R., Edmunds, W. M., Manzano, M. 2001a. Weichselian palaeoclimate and palaeoenvironment in Europe: background for palaeogroundwater formation. In *Management of Coastal Aquifers in Europe. Palaeowaters, natural controls and human influence*. (Edmunds, W. M., Milne, C., toim). *Geological Society Special Publication*, **189**. London, 163–191.
- Vaikmäe, R., Kaup, E., Marandi, A., Martma, T., Raidla, V., Vallner, L. 2008. The Cambrian-Vendian aquifer, Estonia. In *The natural baseline quality of groundwater*. (Edmunds, W. M., Shand, P., toim). Blackwell Publishing, Oxford, 175–189.
- 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. *Baltic groundwater isotope-geochemistry database*. Tallinn University of Technology, Department of Geology, Tallinn. <https://doi.org/10.15152/GEO.488>
- Vaikmäe, R., Pärn, J., Raidla, V., Ivask, J., Kaup, E., Aeschbach, W., Gerber, C., Lemieux, J.-M., Purtschert, R., Sterckx, A., Martma, T., Vallner, L. 2021. Late Pleistocene and Holocene groundwater flow history in the Baltic Artesian Basin: a synthesis of numerical models and hydrogeochemical data. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **70**, (3), 152–164. <https://doi.org/10.3176/earth.2021.11>

- Vaikmäe, R., Vallner, L., Loosli, H., Blaser, P., Julliard-Tardent, M. 2001b. *Paleogroundwater of glacial origin in the Cambrian-Vendian aquifer of northern Estonia*. In *Paleowaters in coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene*. (Edmunds, W. M., Milne, C. J., toim). *Geological Society Special Publications*, **189**, London, 17–27.
- Vainu, M. 2018. Groundwater-surface water interactions in closed-basin lakes: example from Kurtna Lake District in Estonia. Tallinn University, Dissertations on natural sciences, 42. Tallinn, 155 lk.
- Vainu, M., Koit, O., Lode, E., Ploompuu, T., Terasmaa, J., Ravis, R. 2019. Põhjaveekogumite seosed maismaaökosüsteemide ja pinnaveekogudega, hüdrogeoloogilised mudelid ning seirevõrgu kujundamine. Lõpparuanne. Tallinna Ülikooli Ökoloogia keskus, uurimistööde aruanne. Tallinn, 161 lk.
- Valdmaa, T. 2005. *Põhjavee seisund 1999.–2003. aastal*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7629, uurimistööde aruanne, 173 lk.
- Vallner, L., Porman, A. 2016. Groundwater flow and transport model of the Estonian Artesian Basin and its hydrological developments. *Hydrology Research*, **47** (4), 814–834.
- Vallner, L., Sepp, K. 1993. Effects of pollution from oil shale mining in Estonia. *Land Degradation & Rehabilitation*, **4**, 381–385.
- Vallner, L. 1994. Problems of groundwater quality management in Estonia. In *Groundwater Quality Management* (Kovar, K., Soveri, J., toim). *IAHS Publ. No. 220*, Wallingford, 449–460.
- Vallner, L. 1996a. Hydrogeological modelling of mine dewatering in the karstified Pandivere Upland, Estonia. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, **45**, 2, 53–67.
- Vallner, L. 1996b. *Kirde-Eesti hüdrogeoloogiline mudel*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 5498, uurimistööde aruanne, 105 lk.
- Vallner, L. 2002. *Eesti hüdrogeoloogiline mudel*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. EGF, nr 7477, uurimistööde aruanne, 108 lk.
- Vallner, L. 2003. Hydrogeological model of Estonia and its applications. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, **52**, 3, 179–192.
- Vallner, L., Metslang, T. 1970. *Intensiivse veevahetuse tsooni põhjavete miinimumäravool ja piesomeetiline režiim Eestis*. ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 7153, uurimistööde aruanne, 193 lk.
- Vallner, L. K. 1968. Нестационарный режим фильтрации одномерного потока подземных вод (Ühemõõtmelise põhjaveevoolu mittestatsionaarne filtratsioonirežiim). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **17**, 1, 67–73.
- Vallner, L. K. 1969. Аналитический метод оценки естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена (Intensiivse veevahetuse vööndi põhjavete looduslike ressursside hindamise analüütiline meetod). ENSV TA Geoloogia Instituut. Dissertatsioon. ENSV TA Teaduslik Keskariiv, Tallinn. EGF, nr 3171, dissertatsioon, 235 lk.
- Vallner, L. K. 1973. Расчет естественных ресурсов подземных вод зоны интенсивного водообмена (Intensiivse veevahetuse vööndi põhjavete looduslike ressursside arvutamine). *ENSV TA Toimetised, Keemia. Geoloogia*, **17**, 3, 265–273.
- Vallner, L. K. 1975. Характеристика естественных ресурсов подземных вод Эстонии (Eesti põhjavete looduslike ressursside iseloomustus). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. EGF, nr 3458, uurimistööde aruanne, 235 lk.
- Vallner, L. K. 1980. Геогидродинамическая расчлененность и баланс подземных вод Эстонии (Eesti põhjavete geohüdrodünaamiline liigestatus ja bilanss). В кн.: Проблемы гидрогеологии Эстонии (Eesti hüdrogeoloogia probleemid). (Vallner, L., Jõgar, P., toim.-d). ENSV TA, Geoloogia Instituut, Tallinn, 11–120.
- Vallner, L., Gavrilova, O., Vilu, R. 2015a. Environmental risks and problems of the optimal management of an oil shale semi-coke and ash landfill in Kohtla-Järve, Estonia. *Science of the Total Environment*, **524–525**, 400–415.



- Vallner, L., Ivask, J., Marandi, A., Vaikmäe, R. 2015b. *Simulation of  $^{18}\text{O}$  concentration in Estonian Artesian Basin*. In *4<sup>th</sup> Annual Meeting of G@GPS IGCP 618 Project. Palaeogroundwater from past and present glaciated areas. Estonia, 5-9 July 2015. Abstracts and field guide*. (Pärn, J., Raidla, V., Vaikmäe, R., Raukas, A., Bauert, H., toim). Institute of Geology at Tallinn University of Technology. Tallinn, 32–34.
- Vallner, L., Ivask, J., Marandi, A., Vaikmäe, R., Raidla, V., Raukas, A. 2020. Transient 3D simulation of  $^{18}\text{O}$  concentration by codes MODFLOW-2005 and MT3DMS in a regional-scale aquifer system: an example from Estonian Artesian Basin. *Estonian Journal of Earth Sciences*, **69**, 3, 154–174. <https://doi.org/10.3176/earth.2020.11>
- Vallner, L., Jõgar, P., Perens, R. 1987. Гидрогеология (Hüdrogeoloogia). В кн.: Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритоносного района (Rakvere fosforiidirajooni geoloogia ja maavarad). (Puura, V., toim.). ENSV TA Geoloogia Instituut, ENSV Geoloogiaavalitsus. Valgus, Tallinn, 104–127.
- VEKA, <https://veka.keskkonnainfo.ee> (vaadatud 25.03.2024)
- Wendland, F., Blum, A., Coetsiers, M., Gorova, R., Griffioen, J., Grima, J., Hinsby, K., Kunkel, R., Marandi, A., Melo, T., Panagopoulos, A., Pauwels, H., Ruisi, M., Traversa, P., Vermooten, J. S. A., Walraevens, K. 2008. European aquifer typology: a practical framework for an overview of major groundwater composition at European scale. *Environmental Geology*, **55**, 1, 77–85.
- Verte, A. 1956. Отчет по стационарным наблюдениям над режимом подземных вод, произведенным Институтом геологии АН ЭССР в 1948–1956 гг. (ENSV TA Geoloogia Instituudi poolt aastatel 1948–1956 tehtud põhjavee režiimi vaatluste aruanne). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn, 148 lk.
- Verte, A. J. 1953. Водоносные горизонты палеозойских отложений Эстонской ССР (Eesti NSV paleosoikumi setete veehorisondid). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. ERA.R-2346.3.389. 337 lk.
- Verte, A. J. 1965b. Подземные воды Эстонской ССР и условия их формирования (Eesti NSV põhjaveed ja nende kujunemise tingimused). Leningradi Lenini Ordeniga Riiklik Ülikool. ENSV TA Geoloogia Instituut. Dissertatsiooni autoreferaat. Leningrad-Tallinn, 35 lk.
- Verte, A. J. 1965c. Основные черты гидрогеологического строения и формирования подземных вод Эстонского артезианского бассейна (Eesti arteesiabasseini hüdrogeoloogilise ehituse ja põhjavete kujunemise põhjooned). *ENSV TA Toimetised*, XIV kd, *Biol. seeria*, **4**, 563–586.
- Verte, A. J. 1965a. Подземные воды Эстонской ССР и условия их формирования (Eesti NSV põhjaveed ja nende kujunemise tingimused). Dissertatsioon. I, II ja III osa. I lisa (tabelid), II lisa (kaardid). ENSV TA Geoloogia Instituut, Tallinn. Российская государственная библиотека (Rossijskaya gosudarstvennaya biblioteka), Moskva, 545 lk.
- Vilbaste, G. 1936. Kodumaa allikaist. *Loodusevaatleja*, **6**, 161–167.
- Vilbaste, K. 2013. *Eesti allikad*. Varrak, Tallinn, 352 lk.
- Vingisaar, P. A. 1968. Отчет об исследованиях минеральных вод территории Эстонской ССР (Eesti NSV territooriumi mineraalvete uurimiste aruanne). ENSV Geoloogiaavalitsus, Tallinn. EGF, nr 3009, uurimistöde aruanne, 60 lk.
- Vingisaar, P., Kivisilla, J. (koost.) 2008. *Eesti Geoloogiakeskus 70/50. Hüdrogeoloogia poolsajand*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 79 lk.
- Vingisaar, P., Kukk, M. (koost.) 2007. *Eesti Geoloogiakeskus 70/50. Geoloogilise kaardistamise poolsajand*. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 46 lk.
- Winston, R. B. 2009. *ModelMuse – A graphical user interface for MODFLOW-2005 and PHAST*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A29, 52 lk.
- Virbulis, J., Beters, U., Saks, T., Sennikovs, J., Timuhins, A. 2013. Hydrogeological model of the Baltic Artesian Basin. *Hydrogeology Journal*, **21**, 4, 845–862. <https://doi.org/10.1007/s10040-013-0970-7>

VRD 2000. Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2000/60/EÜ, 23. oktoober 2000, millega kehtestatakse ühenduse veepoliitika alane tegevusraamistik. *Euroopa Liidu Teataja* L 327, 22/12/2000, 1–73. Accessed March 25, 2024 at <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/2014-11-20>.