PROJEKTI LÕPUKOOLITUSE JA LÕPUSEMINARI MATERJALID

JÄTKUSUUTLIK PÕHJAVEESEIRE SÜSTEEM IDA-VIRU MAAKONNAS

Norra finantsmehhanismi projekt 52/2006-EE0010
1.01.2008 – 30.04.2011

Välisabi saaja: Eesti Vabariigi Keskkonnaministeerium
Partnerid: Tartu Ülikool, Tallinna Tehnikaülikool, Eesti Geoloogiakeskus

Aeg: Koolitus 16.03. – 17.03.2011
Seminar 18.03.2011

Koht: Mäetaguse mõis, Ida-Virumaa

Tartu 2011

Koolituse päevakava

Kolmapäev, 16.03.2011

11.30	Saabumine, majutus hotellis
12.00	Lõunasöök
13.00	Üldine sissejuhatus: projekti struktuur ja tähtsus
13.30	Ida-Viru maakonna põhjavee seisund ja vastavus EL nõuetele
15.00	Kohvipaus
15.30	Probleemide allikad: kaevandamine, reostusobjektid, looduslik saastatus
17.00-17.30	Uute seirekaevude loomine ja automaatseadmete paigaldamine
19.00	Õhtusöök

Neljapäev, 17.03.2011

8.00	Hommikusöök
9.00	Põhjavee kvaliteet ja seire Suurbritannias (David Banks, Holymoor Consulting)
10.00	Põhjaveetasemete automaatseire esimesed tulemused
10.40	Kohvipaus
11.00	Sissejuhatus modelleerimisse: mida erinevad mudelid võimaldavad ja mida mitte
11.30	Kaevandusalade mudel
12.30	Lõunasöök
13.30	Reostusobjektide mõju modelleerimine
14.30	C-V põhjavee modelleerimine
15.00	Hüdrogeokeemiline modelleerimine
15.15	Regionaalne mudel
15.30	Kokkuvõte ja järeldused, küsimused ja vastused
19.00	Õhtusöök (neile, kes jäävad ka projekti lõpuseminarile 18.03.)

Lõpuseminari päevakava

Reede, 18.03.2011

11.00	Avasõnad
11.20	Projekti tulemuste esitlus
12.50	Küsimused ja vastused
13.20	Kokkuvõte
13.30	Lõunasöök

KOOLITUSE MATERJALID

SISUKORD

Sissejuhatus

1. ÜLDINFO MAAKONNA PÕHJAVEE KOHTA

1.1. Ida-Viru maakonna hüdrogeoloogiline uuritus
1.2. Põhjaveekihtide ja -kogumite üldine iseloomustus
1.3. Põhjavee looduslik ressurss ja vee bilanss
1.4. Kasutatavate veekihtide keemiline koostis ja vastavus Euroopa Liidu nõuetele

2. SEIRESÜSTEEMI ARENDAMINE

2.1. Peamised põhjaveeprobleemid ning tuvastatud puudused seiresüsteemis
    Kaevandamise mõju
    Reostusobjektide mõju
    Probleemid Cm-V vee kvaliteediga
2.2. Uute seirekaevude loomine ning seire automaatseadmete paigaldamine

3. SEIRE TULEMUSED

3.1. Põhjaveetasemete seire tulemused
3.2. Saasteainete edasiliikumise seire tulemused

4. REGIONAALNE HÜDROGEOLOOGILINE MUDEL

4.1. Kaevanduspiirkonna ja Ida-Virumaa mudel
4.2. Punktereostusallikate mõju mudelid
4.3. Cm-V põhjavee modelleerimine
4.4. Hüdrogeokeemiline modelleerimine

5. KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

SISSEJUHATUS

Erik Puura, Tartu Ülikool

Erinevad ideed, kuidas arendada edasi Eesti põhjaveeseire süsteemi, tekkisid 2000-ndate algusaastail nii Eesti Geoloogiakeskuses riikliku põhjaveeseire üldkoordinaatorina, TTÜ Geoloogia Instituudis, mis koos NGI teadlastega Norrast oli teinud Eesti põlevkitööstuse jäätmete mõju uuringuid veekeskkonnale, kui ka Tartu Ülikoolis, kus hüdrogeoloogid olid uurinud Kambrium-Vendi veeladestu geokeemiat ja selle muutlikkust ning modelleerinud põlevkivitööstuse poolt põhjustatud veereostuse hüdrogeokeemiat.

Erinevad arvamused kuulas ära Keskkonnaministeeriumi veeosakonna juhataja Indrek Tamberg, kelle ettepanekul otsustati kontsentreeruda olukorra muutmiseks Ida-Virumaal kui Eesti kõige suuremate põhjavee probleemidega maakonnas ning üheskoos kirjutati projekt finantseerimiseks Norra finantsmehhanismi raamistikus, välisabi saajaks ühisprojekti taotlemisel oli Keskkonnaministeerium ning EGK, TTÜ Geoloogia Instituut ja TÜ olid projekti partneriteks. Projekti esimene versioon valmis juba 2004. aasta kevadeks.

Tegemist oli tõsise sammuga, mille tulemusena lisaks seiresüsteemi väga olulisele tehnilisele edasiarendamisele algas sisuline koostöö seni killustatult töötanud Eesti hüdrogeoloogia ja hüdrogeokeemia kompetentsikeskustes.

Mitmesuguste põhjuste tõttu käivitus projekt alles 2008. aasta alguses. Sellest hoolimata oli projekti ideestik endiselt aktuaalne.

Projekti sihipärase täitmise jälgimiseks moodustas keskkonnaminister Jaanus Tamkivi juhtkomisjoni, kuhu kuulusid esimehena Keskkonnaameti (KKA) Viru regiooni juhataja Jaak Jürgenson, liikmetena KKA keskkonnaosakonna vee peaspetsjalist Rebeka Hansen, KKA Viru regiooni keskkonnakasutuse juhtivspetsialist Tiiu Sizova, Keskkonnaministeeriumi (KKM) arendusosakonna seirenõunik Eda Andresmaa, KKA Viru regiooni vee spetsialist Aleksei Komarkov, KKM Keskkonateabe Keskuse veeosakonna juhataja Andre Zahharov, KKA rahandusosakonna juhataja Kristi Aasa ning vaatlejana KKM tõukefondide büroo peaspetsialist Annika Vahersalu.

Projekti üldeesmärgiks oli aidata kaasa saavutamaks Ida-Viru maakonnas võimalikult suurel määral head põhjavee kvaliteeti, piisavaid põhjaveevarusid ning head ligipääsu põhjavett puudutavale informatsioonile.

Ida-Viru maakonna põhjaveeprobleemistik on Eestis kõige teravam. See on tööstuspiirkond, kus Eesti peamist maavara – põlevkivi – on juba 90 aastat kaevandatud all- ja pealmaakaevandustes, põletatud soojuselektrijaamades ning töödeldud keemiatehastes.

Selle tulemusena on muutused põhjavee hüdroloogias ja hüdrogeokeemias praeguseks hetkeks suuremad kui kunagi varem. Sulfaadirikka vee väljapumpamine kaevandustest, uute voolukanalite teke kaevandamise tagajärjel ja põhjavee reostumine põletamise ja töötlemise käigus tekkinud tahkete jäätmete poolt põhjustavad ülisuurt mõju põhjaveevarudele, luues vajaduse tagada kasutatavate varude olemasolu ja kvaliteet ning vajaduse korral otsida ja leida alternatiivseid allikaid.

Sügavamatest Kambrium-Vendi veekogumitest välja pumbatav vesi on osutunud looduslikult saastunuks, sisaldades anomaalselt suuri mikroelementide (Ba, B) ja radionukleiidide kontsentratsioone. Samuti on põhjavee tasemed ja liikumine viimastel aastatel tugevasti muutunud, kuna mitu kaevandust on suletud ning elualad kannatavad üleujutuste all. Täiendav surve põhjaveele lähtub lisaks veel Sillamäe keemiatööstuse, intensiivse transpordivõrgustiku ning olme- ja ohtlike jäätmete prügilate poolt.

Enne projekti oli põhjavee seiresüsteem algeline, põhjaveetasemete ning ka muude parameetrite (temperatuur, elektrijuhtivus jne) mõõtmisi sooritati käsitsi. Projekti käigus süsteem automatiseeriti – puurkaevudesse paigutati daiverid, mis põhjaveeandmestikku pidevalt talletavad.

Põhjavee uuendatud riiliku seiresüsteemi haldamisega tegeleb eelkõige riikliku põhjaveeseire läbiviija – Eesti Geoloogiakeskus. Süsteemi uuendamisel arvestati üheölt poolt projekti võimalustega ning teisalt EL regulatsioonidega ning põhjaveeseire alaste rahvusvaheliste võrgustike soovitustega. Samal ajal arvestab süsteem põhjavee seisundi jätkuvate kiiretele muutustega, mis iseloomustavad vaid seda Eesti piirkonda, ning eriti kohalike ja regionaalsete vajadustega tagamaks põhjavee kättesaadavust ja nõuetekohast kvaliteeti, samuti andmaks sisendeid kohalikele ja regionaalsetele planeeringutele.

Ida-Viru maakonna jaoks loodav kompleksne seire ja modelleerimise süsteem oli Eestis rahvuslikuks pilootprojektiks, mis on otseselt Euroopa Liidu Vee Raamdirektiivi ning uue Põhjavee Direktiivi rakenduseks, samuti Eesti Vabariigi keskkonnaseire seaduse täitmiseks.

Projektil on ka piiriülene mõju. Põlevkivitööstuse ja muu keemiatööstuse mõjud ei piirdu vaid Eesti territooriumiga, vaid mõjutavad ka piiriveekogusid Venemaaga (Peipsi järv, Narva jõgi, Narva veehoidla) ning Balti merd.

Projekt

1) analüüsis olemasolevat situatsiooni ning leidis üles vajakajäämised;
2) arendas olemasolevat seiresüsteemi edasi – lõi uusi seirekaeve ning paigaldab automaatse seire seadmed;
3) seiras saasteainete edasiliikumist põhjavees ning põhjaveetasemeid;
4) arendas välja regionaalsed mudelid, mida saab kasutada planeerimiseks, koolituste läbiviimiseks ning selgitusteks;
5) korraldas koolitusi riigiametnikele, ettevõtete esindajatele ning üliõpilastele.

Projekti lõpukoolitusel 16.-17. märtsil ning lõpuseminaril 18. märtsil 2011 kantakse projekti tulemused üle ka teistesse maakondadesse, demonstreerides projekti raames saavutatut.

Käesolev lühike materjalide kogum on mõeldud eelkõige koolituse lisamaterjaliks ning ka hiljem kasutatavaks andmetekogumiks keskkonnaspetsialistidele nii riigisektoris kui ettevõtetes. Samas jälgib materjalide järjekord ka projekti struktuuri.

Konkreetsete spetsiifiliste küsimustega soovitavad autorid alati pöörduda ekspertide poole, kelle nimed on toodud peatükkide alguses.

1. ÜLDINFO IDA-VIRU MAAKONNA PÕHJAVEE KOHTA

1.1. Ida-Viru maakonna hüdrogeoloogiline uuritus

Rein Perens, Eesti Geoloogiakeskus

Ida-Viru maakonna geoloogiat, sh hüdrogeoloogiat on Eesti geoloogid põhjalikult uurinud palju aastakümneid. Füüsilise geograafia, hüdroloogia ja geoloogia põhijoontest annavad piisavat informatsiooni üldistavad koguteosed (Protasjeva ja Eipre, 1972; Raukas ja Teedumäe, 1997; Kattai jt, 2000 jt). Samas parim viis nii seisundist kui probleemidest aru saamiseks on loodud kaardimaterjali analüüs. Põhjapanevaks aluseks Ida-Virumaa hüdrogeoloogia kohta on mõõtkavades 1:200 000 ja 1:50 000 tehtud komplekssе geoloogilis-hüdrogeoloogilise kaardistamise materjalid (Erisalu jt, 1965; Saadre jt, 1987; Stumbur jt, 1960; Tassa jt, 1967), mis sisaldavad ka põhjavee tasemete ja põhjaveekihtide lasumuselementide, samuti veejuhtivuse parameetrite andmed.

Kaardistamismaterjale täiendavad ja oluliselt detailiseerivad linnade ja asulate veevarustuse tõhustamiseks tehtud tööd (Belkina jt, 1980; Belkina ja Savitskaja, 1970; Juodkazis jt, 1977; Savitski ja Savva, 2001, 2000a, 2000b; Savitski & Vallner, 1999a, 1999b). Need annavad hinnalist teavet, mille järgi saab kvantitatiivselt määrata veevõtu intensiivsuse ja filtratsiooniparameetrite vahelise seose.

Põhjaveeseirel on Ida-Virumaal rohkem kui 50-aastane ajalugu. Esimene pikaajaline projekt kinnitati 1960. aasta mais. Uuringute eesmärgiks oli põhjavee seisundi jälgimine looduslikes tingimustes, veehaarete töötamise tingimustes ning põlevkivi kaevandamise ning kaevandustest ja karjääridest vee ärajuhtimise tingimustes. Viimasel aastakümnel on aktuaalseks muutunud üleujutatud kaevanduste mõju põhja- ja pinnaveele. Kaevanduste sulgemise ja üleujutamisega seotud äravoolu muutuste ja piirkondade altuputuse probleeme on käsitletud Eesti Geoloogiakeskuse poolt koostatud aruannetes (Savitski ja Savva, 2001, 2005; Perens jt 2010).

Põhjavee režiimi uuringud näitavad hüdraulilise rõhu muutumist sõltuvalt põhjavee väljapumpamise intensiivsusest. See võimaldab rekonstrueerida varasemaid veetasemeid ja hõlbustab põhjaveemudelite kalibreerimist.

Üldistavad tööd võtavad kokku nii Eesti kui ka selle naaberalade väga mahuka eksperimentaalandmestiku ja eriuurimuste tulemused ning esitavad nende interpretatsiooni regionaalsel tasandil kas mahukate monograafiatena (Juodkazis jt, 1989) või artiklitena (Perens ja Vallner, 1997; Vallner, 1996, 1980). Üldistavat hüdrogeoloogilist andmestikku pakuvad Eesti hüdrogeoloogiline kaart ja põhjavee kaitstuse kaart mõõtkavas 1:400 000 (Perens, 2001, 1998), samuti Eesti hüdrogeokeemiline atlas (Perens jt, 1999).

Regionaalse hüdrogeoloogilise modelleerimise jaoks pakub rikkalikku konkreetset materjali korrektselt vormistatud kaardikomplekt Eesti kõikide peamiste põhjaveekihtide kohta (Vares ja Viigand, 1979) ning Eesti–Vene piiriülese põhjavee geoloogiline ja hüdrogeoloogiline modelleerimine (Perens ja Savva, 2007). Narva jõe ja valgala hüdroloogiast, hüdrogeoloogiast, keskkonnaseisundist ja veemajandusest on oluline Piiriülese Koostöö Keskuse CTC poolt kirjastatud artiklite kogumik (Jaani jt, 2000; Perens ja Savitski, 2000). Viimaste aastate hüdrogeoloogiliste uuringute tulemused on kokku võetud

Keskkonnaministeeriumi poolt tellitud töös “Eesti põlevkivimaardla põhjaveevarule hinnangu andmine“ (Perens jt, 2010).
Käsitletaval alal on tehtud mitmeid hüdrogeoloogilisi modelleerimisi. Nende hulgas äratab tähelepanu Leedu Geoloogiainstituudi korraldatud kogu Baltikumi hõlmanud regionaalmodelleerimine, mille eesmärgiks oli põhjavee tarbevaru orienteeruv hindamine (Juodkazis jt, 1977). Nimetatud töö, milles aktiivselt osalesid ka Eesti hüdrogeoloogid, oli omal ajal esilekerkivaks saavutuseks. Kuigi praeguseks on selle tulemused mõneti vananenud, pakub kogutud ja süstematiseeritud lähteandmestik jätkuvalt huvi.

Käesoleva töö seisukohast on eriti hinnatavad Kirde-Eesti regionaalne hüdrogeoloogiline mudel, mis hõlmab Kehrast ida ja Põltsamaalt põhja poole jääva Eesti kirdeosa (Vallner, 1996). 2002. aastal laiendati mudelipiirkonda kogu Eesti territooriumile (Vallner, 2002). Mudelivõrgu tihedus 4000 × 4000 meetrit ei võimalda vajaliku täpsusega arvutusi.

Viimastel aastatel on Eesti Geoloogiakeskuse poolt koostatud uued digitaalsel andmebaasil põhinevad Eesti Baaskaardi Sillamäe (6533), Narva (6534) ja Kohtla-Järve (6444) geoloogilised kaardikomplektid (Suuroja jt, 2008, 2009a, 2009b), mis sisaldavad ka hüdrogeoloogilisi kaarte mõõtkavas 1:50 000.

Erakordselt väärtuslik eksperimentaalandmestiku allikas igasuguste hüdrogeoloogiliste tööde ja eriti regionaalse hüdrogeoloogilise modelleerimise jaoks on riikliku veeregistri põhjavee kataster (puuraukude ja puurkaevude andmebaas), mida rohkem kui 30 aastat on pidanud Eesti Geoloogiakeskus. Puurkaevude ja puuraukude andmebaas on olnud aluseks ka käesolevas töös esitatud Ida-Virumaa regionaalse hüdrogeoloogilise mudeli loomisel.

Viidatud kirjandus

Trükised

Euroopa Ühenduse Veepoliitika raamdirektiiv 2000/60/EÜ.

Jaani, A. (toim.), 2000. Narva jõgi ja veehoidla. Piiriülese koostöö keskus CTC. Tartu. 148 lk.

Kattai, V., Saadre, T., Savitski, L., 2000. Eesti põlevkivi. Eesti Geoloogiakeskus.

Perens, R., 1998. Eesti hüdrogeoloogiline kaart mõõtkavas 1:400 000. Seletuskiri. Tallinn, EGK, 40 lk.

Perens, R. & Savitski, L., 2000. Narva jõe vasakkalda valgala hüdrogeoloogilised tingimused ja põhjavee seisund. Rmt.: Jaani, A. (koost.) Narva jõgi ja veehoidla. 24–36.

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

Protasjeva & Eipre, 1972 – Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 4. Прибалтийский район. Выпуск 1. Эстония. Ленинград, Гидрометиздат, 421 стр.

Raukas A. & Teedumäe, A. (eds.), 1997. Geology and Mineral Resources of Estonia. Tallinn, Estonian Academy Publishers, 436 pp.

Vallner, L., 1996. Groundwater. In: Raukas, A. (ed.). Estonian environment: past, present and future. Tallinn, Ministry of the Environment of Estonia, 60–71.

Vallner, 1980 – Валлнер Л., 1980. Геогидродинамическая расчлененность и баланс подземных вод Эстонии. В кн.: Валлнер Л. (ред.). Проблемы гидрогеологии Эстонии. Таллин, АН ЭССР, 11–120.

Käsikirjad

Belkina jt, 1980 – Белкина В., Никифорова Н., Сааремяэ А., Савва В., 1980. Пересчет запасов подземных вод по действующему водозабору пос. Нарва-Йыесуу (по состоянию на 1.01.1979 г.). Таллин, EGF 3663, 211 стр.

Belkina & Savitskaja, 1970 – Белкина В., Савицкая Л., 1970. Подсчет запасов подземных вод по действующим водозаборам гг. Кохтла-Ярве и Кивиыли по состоянию на 01.01.70 г. Таллин, EGF 3131, 372 стр.

Erisalu jt, 1965 – Эрисалу Э., Тасса В., Малдре Я., Паап Ю., Пылма Л., Вахер Р., 1965. Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической съемке восточной части ЭМГС м-ба 1:50 000 за 1963–65 гг. Таллин, EGF 2540, 575 стр.

Juodkazis jt, 1977 – Йодказис В., Зузявичюс А., Вычко Г., Вийганд А., Жемайтис В., Иванова З., Кусас А., Мокрик Р., Растянис Э., Савицкий Л., 1977. Региональная оценка эксплуатационных запасов пресных подземных вод Прибалтийского артезианского бассейна. Таллин, EGF 3483, 2757 стр.

Perens, R., 2001. Eesti põhjavee kaitstuse kaart 1:400 000. Tallinn, EGF 7120, 47 lk.

Perens, R. & Savva, V., 2007. Eesti–Vene piiriülese põhjavee geoloogiline ja hüdrogeoloogiline modelleerimine. EGF.

Perens, R., Savva, V., Lelgus, M., Parm, T., 1999. Eesti hüdrogeokeemiline atlas. Tallinn, EGF 6346, 72 lk.

R. Perens, L. Savitski, V. Savva, M. Truu, M. Häelm, S. Jaštšuk., 2010. Eesti põlevkivimaardla põhjaveevarule hinnangu andmine.

Saadre jt, 1987 – Саадре Т., Стумбур Х., Пылдвере А., Морген Э., Мардим Т., Ныммсалу В., Лухт Х., Кала Э., Сууроя К., 1987. Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической съемке м-ба 1:50 000 площади Эстонского месторождения горючих сланцев ("южная часть"), проведенной в 1984–87 гг. Таллин, EGF 4267, 412 стр.

Savitski, L. & Savva, V., 2000a. Sillamäe linna põhjavee tarbevaru hinnang. Tallinn, EGF 6643, 36 lk.

Savitski, L. & Savva V., 2000b. Kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee tarbevaru hinnang Jõhvi, Kohtla-Järve, Kohtla-Nõmme ja Kiviõli veehaaretel. Tallinn, EGF 6769, 82 lk.

Savitski L. & Savva V., 2001a. Ordoviitsiumi–Kambriumi ja kambriumi-vendi veekompleksi põhjavee tarbevaru hinnang Estonia kaevanduse veehaardel. EGF.

Savitski L. & Savva V., 2001b. Ordoviitsiumi–kambriumi veekompleksi põhjaveevaru regionaalne hindamine Ida-Virumaal kuni 2020. aastani. Tallinn, EGF 7269, 41 lk.

Savitski L. & Savva V., 2001c. Hüdrogeoloogiliste muutuste prognoos Eesti põlevkivimaardla kaevandustööde piirkonnas. 1. etapp: Kohtla kaevanduse sulgemine. EGF.

Savitski L. & Savva V., 2001d. Hüdrogeoloogiliste muutuste prognoos Eesti põlevkivimaardla kaevandustööde piirkonnas. 2. etapp: Aidu karjääri sulgemine. EGF.

Savitski L. & Savva V., 2001e. Hüdrogeoloogiliste muutuste prognoos Eesti põlevkivimaardla kaevandustööde piirkonnas. 3. etapp: Ahtme kaevanduse sulgemine. EGF.

Savitski, L. & Vallner, L., 1999a. Ida-Virumaa kambriumi–vendi veekompleksi põhjavee tarbevaru hinnang. Tallinn, EGF 6352, 118 lk.

Savitski, L. & Vallner, L., 1999b. Narva ja Narva-Jõesuu veehaarete põhjavee tarbevaru hinnang. Tallinn, EFG 6351, 39 lk.

Stumbur jt, 1960 – Стумбур К., Вийдас Э., Йыги С., Мардла А., Чебан Э., 1960. Отчет Вайвараской партии о результатах поисково-съемочных работ в прибрежной части Финского залива северо-восточной Эстонии за 1958–59 гг. Таллин, EGF 1286, 1430 стр.

Suuroja, K., Mardim, T., Vahtra, T, Ploom, K., All, T., Veski, A., Kõiv, M., Otsmaa, M., 2008. Baaskaardi Kohtla-Järve (6444) lehe geoloogilise kaardikomplekti koostamine ja digitaalse andmebaasi loomine. EGF.

Suuroja, K., Mardim, T., Ploom, K., All, T., Kõiv, M., Otsmaa, M., 2009a. Baaskaardi Sillamäe (6533) lehe geoloogilise kaardikomplekti koostamine ja digitaalse andmebaasi loomine. EGF.

Suuroja, K., Mardim, T., Ploom, K., All, T., Otsmaa, M., Kõiv, M., 2009b. Baaskaardi Narva (6534) lehe geoloogilise kaardikomplekti koostamine ja digitaalse andmebaasi loomine. EGF.

Tassa jt., 1967 – Тасса В., Эрисалу Э., Паап Ю., Данченко В., 1967. Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической съемке центральной части Эстонского месторождения горючих сланцев масштаба 1:50 000, 1965–67 гг. Таллин, EGF 2924, 782 стр.

Vallner, L., 1996. Kirde-Eesti hüdrogeoloogiline mudel. Tallinn, EGF 5498, 105 lk.

Vares & Viigand, 1979 – Варес Х., Вийганд А., 1979. Отчет о составлении сводных гидрогеологических карт Прибалтики м-ба 1:500 000 (Эстонская ССР). Таллин, EGF 4092, 217 стр.

1.2. Põhjaveekihtide ja -kogumite üldine iseloomustus

Rein Perens, Eesti Geoloogiakeskus

Ida-Virumaa põhjaveekihtkond on liigestatav üheksateistkümneks peamiseks hüdrostratigraafiliseks üksuseks, mis erinevad üksteisest põhjavee kujunemise, läbilaskvuse ja isoleerituse poolest (joonis 1). Allpool esitatakse varasemate uurimistööde põhjal Ida-Virumaa hüdrogeoloogiline iseloomustus.

Kvaternaari veekompleks (Q) hõlmab väga mitmesuguse geneesi ja levikuga pinnakatte setendeid, mis sisaldavad peamiselt surveta (vabapinnalist) vett. Pinnakatte vesi jääb harilikult vaid mõne meetri võrra maapinnast sügavamale. Hästi kättesaadavat pinnakatte vett võetakse väga paljudest salvkaevudest peamiselt maapiirkondades ja väikeasulates. Puuduseks on vee reostustundlikkus ja sellest tingitud halb kvaliteet. Liustikujõe setendeist vett võttev ühisveehaare on rajatud Kurtna maastikukaitsealal paiknevale Vasavere mattunud orule.

Sporaadiliselt vett andev Narva veekiht (D_2nr) - Kesk-Devoni Vadja kihistu karbonaatkivimite ja savide kompleks levib Ida-Virumaa idaosas. Regionaalselt loetakse Narva lademe kivimid veepidemeks. Praktikas on avamusalal kihistu ülaosa lokaalselt (sporaadiliselt) siiski vettandev.

Ordoviitsiumi veekompleks (O) levib peaaegu kogu Ida-Virumaal, välja arvatud kitsas klindiesine piirkond ja mattunud orgude suudmealad. Euroopa Liidu Veepoliitika

raamdirektiivist tulenevate ülesannete täitmiseks on veekompleks jagatud kaheks põhjaveekogumiks.

Ladestu	Ladestik	Lade	Indeks	Paksus, m	Litoloogiline tulp	Hüdrogeoloogiline üksus	Põhjaveekogum
Kvaternaar (Q)			Q	0.5 – 77.0		Kvaternaari veekompleks	Vasavere (13)
Devon (D)	Kesk (D_2)	Narva	D_2nr	kuni 31.5		Sporaadiliselt vettandev Narva veekiht	Kesk-Alam-Devon (10)
						Narva veepide	
Ordoviitsium (O)	Ülem (O_3)	Pirgu	O_3prg	36.3–47.3		Pirgu veekiht	Ordoviitsiumi Ida-Viru (5) ja Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivi-basseini (6)
		Vormsi	O_3vr	6.05–14.0		Vormsi nõrk veepide	
		Nabala	O_3nb	28.6–43.9		Nabala–Rakvere veekiht	
		Rakvere	O_3rk	8.0–13.3			
		Oandu	O_3on	0.70–4.95		Oandu veepide	
		Keila	O_3kl	7.0–15.5		Keila –Jõhvi veekiht	
		Jõhvi	O_3jh	6.5–13.6			
		Idavere	O_3id	2.47–9.35		Jõhvi–Idavere nõrk veepide	
		Kukruse	O_3kk	6.30–19.15		Idavere–Kukruse veekiht	
	Kesk (O_2)	Uhaku	O_2uh	9.75–20.5		Uhaku veepide	
		Lasnamäe	O_2ls	5.8–12.5		Lasnamäe–Kunda veekiht	
		Aseri	O_2as	1.17–5.40			
		Kunda	O_2kn	5.15–9.0			
	Alam (O_1)	Volhovi	O_1vl	1.85–6.0		Alam-Ordoviitsiumi veepide	
		Latorpi	O_1lt	0.05–2.6			
		Varangu	O_1vr				
		Pakerordi	O_1pk	0.15–18.7			
Kambrium (Ca)	Alam (Ca)	Pirita	Ca_1pr	11.5–21.95		Ordoviitsiumi–Kambriumi veekiht	Ordoviitsiumi–Kambriumi (4)
		Lontova	Ca_1ln	31.8–45.2		Lükati–Lontova veepide	
Vend (V)	Ülem (V_2)	Kotlini	V_2kt	29.9–44.9		Voronka veekiht	Kambriumi–Vendi Voronka (2)
				13.2–36.0		Kotlini veepide	
				11.7–45.9			Kambriumi–Vendi Gdovi (1)
				26.6–46.5		Gdov veekiht	
				0.4–19.6			
Meso-Paleoproterosoikum (PR)			PR_{2-1}	186+		Kristalne aluskord	

1 2 3 4 5 6 7 8

Joonis 1. Ida-Virumaa geoloogilise ehituse, litoloogia, hüdrogeoloogiliste üksuste ja põhjaveekogumite korrelatsioon.

Litoloogia: 1 - moreen; 2 - lubjakivi; 3 - dolomiit; 4 - mergel; 5 - aleuriit; 6 - liiv ja liivakivi; 7 - savi; 8 - gneiss ja graniit

Ordoviitsiumi Ida-Viru põhjaveekogum levib Ida-Viru maakonnas põlevkivi kaevandamisalast väljaspool. ning on oluline hajaasustuse veevarustusallikas, eestkätt maakonna lõunaosas.

Ordoviitsiumi Ida-Viru põlevkivibasseini põhjaveekogum levib Ida-Viru maakonna keskosas. Põhjaveekogumi piirid on määratletud eestkätt põlevkivikaevandamise ja -energeetika hüdrogeoloogilise mõjupiirkonnaga. See on Ida-Virumaal ala, mille põhjavesi on joogiveeallikana perspektiivitu johtuvalt kaevanduste, karjääride, samuti keemia- ning energeetikatööstusettevõtete ning nende jäätmeladestute mõjust.

Savika lubjakivi ja mergli esinemine läbilõikes võimaldab eristada suhteliselt iseseisvaid, erinevate filtratsiooniomaduste, veetaseme ja põhjavee keemilise koostisega veekihte (joonis 2).

Lõuna pool Oandu lademe (O_3on) avamusala levib töötavate kaevanduste piires Nabala–Rakvere veekiht (O_3nb–rk). Kaevanduste territooriumil on põhjaveetase alandatud, mis praktiliselt välistab selle veekihi kasutamise põhjavee madalseisu ajal.

Keila–Kukruse veekiht (O_3kl–kk) levib lõuna pool Uhaku lademe (O_2uh) vett nõrgalt läbilaskva savika lubjakivi avamust. Veekiht on kaevandusi täitva vee põhiliseks allikaks.

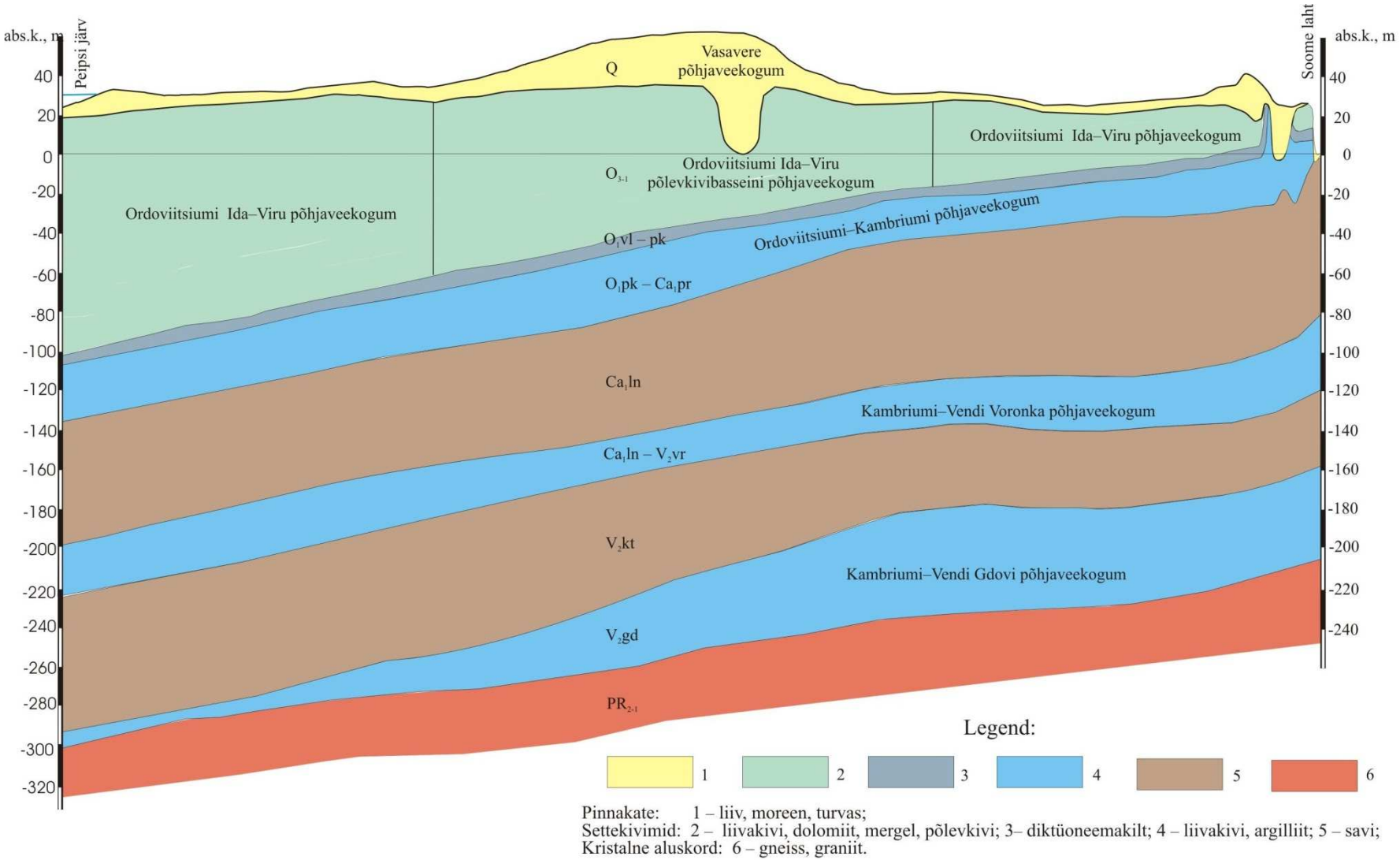
Kaevandustööde tulemusel on vettandvate kivimite füüsikalised omadused järsult muutunud. Põlevkivi tootsa kihindi väljakaevandamise tõttu on suurenenud kivimite üldine poorsus. Lae deformatsioon ja varistamine on suurendanud kivimite lõhelisust ning maapinna mikroreljeef on muutunud, mis soodustavad muutusi pindmises äravoolus ja selle infiltratsioonis. Veekiht toitub kogu oma levikualal ning toitumine on intensiivsem kevadisel lumesulamis- ja sügisesel vihmaperioodil.

Lasnamäe–Kunda veekiht (O_2ls–kn) levib kõikjal, v.a väikesed, mattunud orgudest läbilõigatud alad. Veekihi põhjavett kasutavad laialdaselt nii talud kui ka väikeettevõtted. Nendel aladel, kus kaevetööde käigus on ülemised veekihid kuivendatud või osaliselt dreenitud, jääb Lasnamäe–Kunda veekihi põhjavesi ainukeseks väiketarbijate veevarustusallikaks.

Ordoviitsiumi regionaalne veepide (O) koosneb Alam-Ordoviitsiumi lubjakividest, merglitest, aleuroliitidest, savidest ning argilliitidest.

Ordoviitsiumi–Kambriumi veekompleks (O–Ca) jääb Ordoviitsiumi veepideme alla, levides kogu Ida-Virumaal, välja arvatud Põhja-Eesti rannikumadalik. Veekompleks koosneb peeneteralistest liivakividest ja aleuroliitidest. Kompleksi paksus on valdavalt vahemikust 20–30 m. Ordoviitsiumi–Kambriumi põhjaveekompleks ületab Ida-Virumaal riigipiiri, olles seal nii Eesti kui Venemaa veekasutuse mõju all. Lisaks sadadele hajaasustuse kaevudele on kinnitatud varudega suuremaid ühisveehaardeid Kiviõlis, Mäekülas ja mujal.

Lükati–Lontova regionaalne veepide (Ca_1lk–Ca_1ln) on esindatud samanimeliste Alam-Kambriumi kihistute aleuroliitide ja savidega. Nende kogupaksus Ida-Virumaal on 60–80 m. See veepide on väga tugeva isolatsioonivõimega: transversaalne filtratsioonikoefitsient jääb enamasti vahemikku 10^{-9}–10^{-6} m/d.



Joonis 2. Skemaatiline hüdrogeoloogiline läbilõige Peipsi järvest Soome laheni.

Kambriumi–Vendi veekompleks (Ca–V) on esindatud liivakivide, aleuroliitide ja savidega, mille kogupaksus ulatub 100–120 meetrini. Läbilõikes jaguneb kompleks kaheks eriilmeliseks osaks: ülemiseks – Voronka veekihiks (põhjaveekogumiks), ja alumiseks – Gdovi veekihiks (põhjaveekogumiks) (joonis 2).

Voronka veekiht (V_2vr) koosneb Voronka kihistu kuni 40-meetrise kogupaksusega liivakividest ja aleuroliitidest. Voronka veekiht ületab ka riigipiiri, olles nii Eesti kui Venemaa veekasutuse mõju all. Voronka veekihi põhjavesi on surveline ja hästi kaitstud reostuse eest.

Voronka põhjaveekiht on oluline, kuna lisaks sadadele hajaasustuse kaevudele omab ta kinnitatud varudega suuremaid ühisveehaardeid pea kõikides Ida-Virumaa linnades ja asulates. Rannikuäärsel alal on Voronka põhjaveekihi vesi sageli ainus ühisveevarustuses kasutatav põhjavesi.

Kotlini veepide (V_2kt) esineb väljapeetult kogu Ida-Virumaal Kotlini lademe aleuroliitide ja savide kuni 70 m paksuse lasundina. Selle veepideme transversaalne filtratsioonikoefitsient vahemikus 10^{-8}–10^{-5} m/d näitab tugevat isolatsioonivõimet.

Gdovi veekiht (V_2gd) koosneb segateralistest liivakividest ja aleuroliitidest, mille kogupaksus Soome lahe rannikul on 40–50 m.

Vettandvad kivimid lasuvad kristalsel aluskorral või selle murenemiskoorikul. Aluskorra sügavam osa moodustab absoluutse veepideme, mis praktiliselt üldse vett läbi ei lase.

1.3. Põhjavee looduslik ressurss ja vee bilanss

Rein Perens ja Leonid Savitski, Eesti Geoloogiakeskus

Põhjaveeressursi all mõistetakse üldiselt veekihi või veekompleksi keskmist pikaajalist toitumismäära, millest on lahutatud pinnaveekogude ökoloogilise kvaliteedi säilitamiseks vajalik vooluhulk. Põhjavee looduslikku ressurssi hinnatakse mitmesuguste arvutuslike meetoditega. Enamlevinud on põhjavette infiltreerunud sademete hulk ja põhjavee äravoolu moodul.

Sademete keskmisest aastasummast – 600–800 mm – moodustab pinnavee äravool 260 mm ehk 39%. Eesti alale langevatest sademetest läheb põhjavee toiteks keskmiselt 70 mm aastas ehk 10%. Liigniisketel aladel (sood, märgalad) on põhjavee toitumine väiksem, võrreldes kuivade aladega. Sellest tulenevalt on Ida-Virumaa lõunaosa (Alutaguse) metsades ja soodes põhjavee toitumine oluliselt väiksem kui Jõhvi kõrgendikul. Ida-Virumaa põhjaosa (Soome lahe vesikond) netoinfiltratsiooni intensiivsus on valdavalt 80–160 m³/(d·km²) (60–110 mm aastas), lõunaosas (Narva jõe vesikond) vähem kui 80 m³/(d·km²) (40–90 mm aastas).

Suhteliselt õhukese pinnakatte paksusega Ida-Virumaa põhjaosas on põhjavee äravoolu intensiivsus 170–260 m³/(d·km²), soostunud lõunaosas – 40–90 m³/(d·km²).

Kaevandamisega kaasneb põhjaveetaseme alandamine ja dreenivee ärajuhtimine pinnaveekogudesse. Summaarne aasta keskmine põhjavee juurdevool Ida-Virumaa põlevkivikaevandustesse on olnud 500 000 – 700 000 m³/d. Dreenitava vee maht moodustub

sademevee, pinnavee, pinnasevee ja survelise põhjavee arvel ning oleneb põhiliselt aasta sademete hulgast, konkreetsetest geoloogilis-hüdrogeoloogilistest tingimustest ja põlevkivi kaevandamise viisist.

Juurdevoolava vee bilansis hinnatakse sademeveelist komponenti karjääri ammendatud alale langenud sademete hulgaga, millest lahutatakse aurumine. Sademetega võrdsustatud juurdevool moodustub likvideeritud kaevanduste aladel, kus veetaset reguleeritakse vee juhtimisega töötavatesse kaeveõõntesse või vahetult hüdrograafiavõrku. Sellesse liiki kuuluvad juurdevool Ahtme kaevandusest Estonia kaevandusse, Tammiku ja Sompa kaevandusest Viru kaevandusse ning Kohtla kaevandusest Aidu karjääri (joonis 3).

Juurdevoolu bilansikomponendi pinnavee arvel moodustavad dreenitavad jõed, järved, kraavid. Pinnasevesi ja pinnavesi on omavahel tihedalt seotud, nende toitumine sõltub aasta ilmastikutingimustest, nad reageerivad kiiresti aastasisestele sesoonsetele muutustele, mistõttu dreenimise ja sellele järgneva hüdrograafiavõrku suunamise tõttu moodustavad nad ühtse ressursside grupi. Kaevanduste ja karjääride veeärastus, mis dreenib maapinnalähedast põhjavett, ei mõjuta pinnavee äravoolu mahtu.

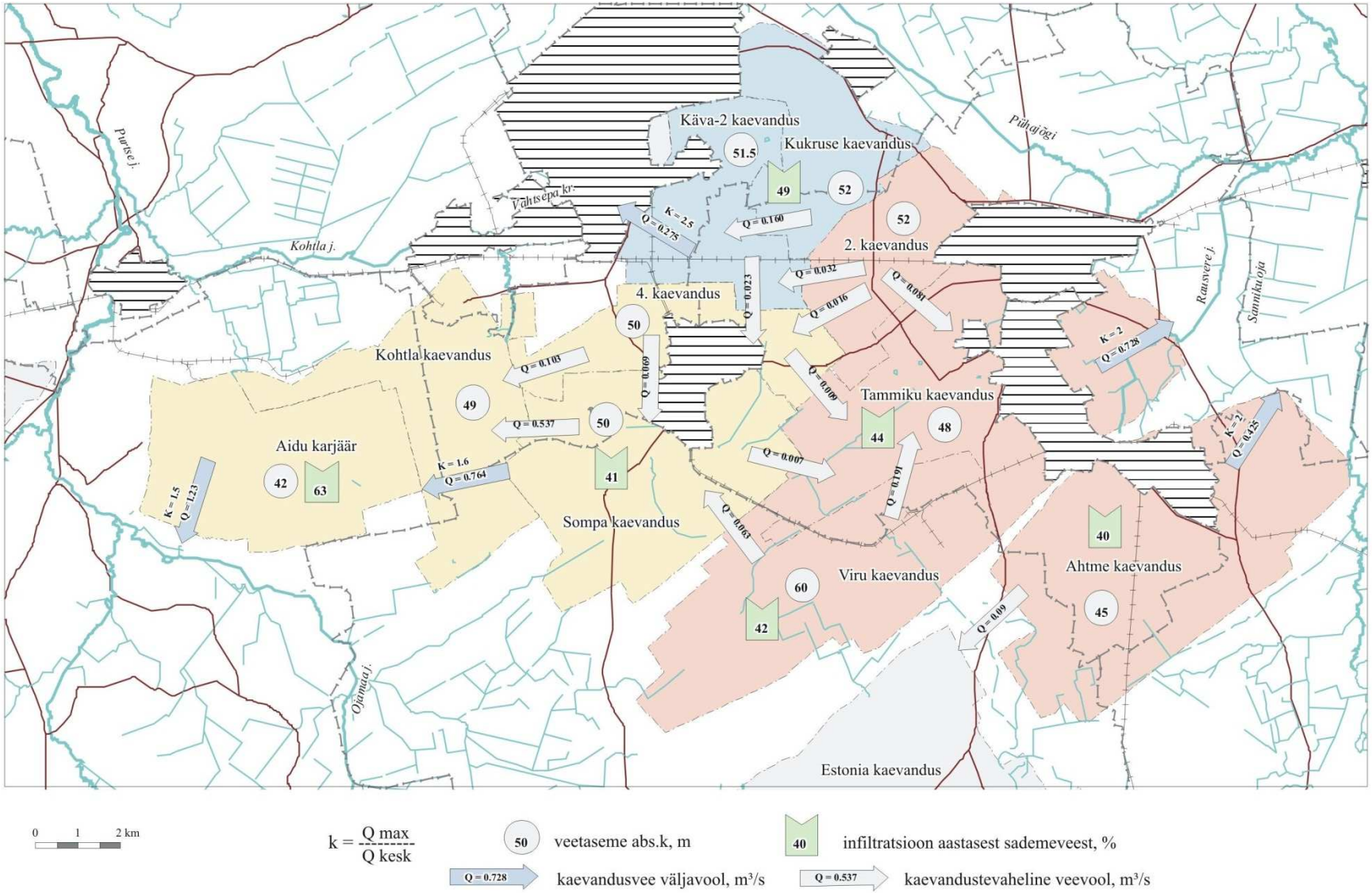
Surveliseks põhjaveeks loetakse veekihte, mis on sademeveelisest toitumisest paremini isoleeritud ja toituvad lamavatest või lasuvatest veekihtidest filtratsiooni teel, läbi vett vähe läbilaskvate kihtide, ning väljaspool kaevanduste mõjuraadiust on survelise iseloomuga. Põlevkivimaardla piires on Estonia kaevanduse, Narva karjääri ning Sirgala karjääri lõunaosa surveliseks põhjaveeks Keila–Kukruse veekiht.

Üldise veebilansi koostamiseks on oluline selgitada välja dreenivee komponentide (sademed, pinnavesi, pinnasevesi ja surveline põhjavesi) osakaal kogumahus. Dreenivee bilanssi hinnatakse väljatöötatud hüdrogeoloogilise mudeli alusel, mille abil saab vajalikku informatsiooni ka üksikute kihtide kaupa.

Põlevkivikaevandustest ja -karjääridest väljapumbatava vee jaotus bilansikomponentide järgi on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Põlevkivikaevandustest ja -karjääridest väljapumbatava vee jaotus bilansikomponentide järgi, %

Karjääri või kaevanduse nimi	Põhjavesi, %			Juurdevool üleujutatud kaevandustest	Äravoolu-kanalitest tagasi infiltreeruv vesi	Sademe-vesi
	vaba-pinna-line	surve-line	kokku			
Viru kaevandus	55	-	55	45	-	-
Estonia kaevandus	47	26	73	20	7	-
Kaevandused kokku	**51**	**13**	**64**	**32,5**	**3,5**	**-**
Narva karjäär, Narva	10	10	20	-	-	80
“ , Sirgala	6	10	16	-	-	84
“ , Viivikonna	34	-	34	-	-	66
Aidu karjäär	27	-	27	54	-	19
Põlevkivikarjäärid kokku	**19,25**	**5**	**24,25**	**13,5**	**-**	**62,25**



Joonis 3. Läbivoolu jaotumine kaevanduste vahel ja äravool pinnaveevooluna Aidu karjääri vee abs. kõrgusel 42 m. (Savitski, L. & Savva, V., 2005c)

1.4. Kasutatavate veekihtide keemiline koostis ja vastavus Euroopa Liidu nõuetele

Rein Perens ja Merle Truu, Eesti Geoloogiakeskus

Kvaternaari veekompleksis valmistab enim probleeme kõrge rauasisaldus, mis ületab joogiveele kehtestatud nõuete piiri, 0,2 mg/l. Lubatust kõrgemad on olnud ka NH_4^+-sisaldus ja oksüdeeritavus – vastavalt 0,6 mg/l ja 37,5 mgO_2/l. Viimaste kõrged näitajad on tingitud põhjavee anaeroobsest veekeskkonnast ja soode mõjust.

Ordoviitsiumi veekompleksi hüdrogeoloogilisele seisundile avaldavad mõju põlevkivikaevandused ja -karjäärid. Tehnogeensete faktorite mõjul, eelkõige suurenenud aeratsiooni ning vaba hapniku juurdepääsu tulemusel kaeveõõnte ventileerimisel, on reas puurkaevudes täheldatud vee kõrget sulfaatide, aga ka kloriidide sisaldust, mis ületavad joogiveele lubatud piirsisaldusi. Kohati on probleemiks ka raud, mis nagu mujalgi Eestis ületab joogiveele kehtestatud normi, 0,2 mg/l.

Lähtudes joogivee kvaliteedinõuetest, mille kohaselt sulfaatide piirsisalduseks joogivees on 250 mg/l, võib järeldada, et Nabala–Rakvere veekiht on joogiveena kasutamiseks kõlblik olnud kogu põlevkivi kaevandamise aja jooksul. Aastate keskmised sulfaatide sisalduse näitajad seirepuurkaevudes on alati olnud allapoole piirsisaldust.
Keila–Kukruse veekihi seireandmed näitavad, et alates 1970. aastatest on sulfaatide sisaldus (keskmiselt 300–600 mg/l) olnud palju suurem kui kehtestatud joogivee piirsisaldus, mis välistab selle veekihi põhjavee joogiveena kasutamise kaevanduspiirkondades vähemalt lähiajal.

Kaevanduspiirkonnast väljaspool on põhjavee sulfaatide sisaldus looduslikul tasemel, valdavalt alla 3,3 mg/l. Küll võib vees täheldada NH_4^+, Fe ja PHT kõrgemat sisaldust, mis on tingitud eelkõige laialdasest soode levikualast Ida-Virumaal.

Lasnamäe–Kunda veekihi seireandmed näitavad vahetust kaevandusalast väljaspool väga väikeseid sulfaatide sisaldusi (keskmiselt kuni 20 mg/l). Kaevanduste alal ületab aga sulfaatide sisaldus ka Lasnamäe–Kunda veekihis sageli 500 mg/l.

Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleksi (veekihi) vesi vastab üldiselt joogiveele kehtestatud normidele, kui välja arvata raud. Rauale lubatud piirnormist, 0,2 mg/l, on kõrgemad ligikaudu pooled analüüside tulemused. Kuigi üksikute vaatlusandmete põhjal on üksikuid kõrvalekaldeid joogiveele lubatud normidest, siis veekihi keskmised ja mediaanilised väärtused vastavad enamasti joogivee kvaliteedinõuetele.

Kambriumi–Vendi veekompleks jaguneb Voronka ja Grovi veekihtideks.

Voronka veekiht vastab üldiselt joogivee kvaliteedinõuetele. Erinevusi normist on kõige sagedamini raua puhul. Voronka veekihi põhjavees esineb keskmisest kõrgemat Na^+ ja Cl^- sisaldust, aga siiski, välja arvatud Sillamäel, jäädakse joogiveele lubatud piiridesse.

Gdovi veekihile nagu kõigile Eesti põhjaveekihtidele on iseloomulik kõrge rauasisaldus. Joogivee kvaliteedile ei vasta Gdovi veekiht eelkõige suure naatriumi- ja kloriidide sisalduse tõttu. Eriti kõrge on nende komponentide sisaldus Kohtla-Järvest ida poole. Et põhjavett selles piirkonnas joogiveevarustuses kasutada, segatakse seda Vasavere veehaarde mageda veega. Üldiselt vastavad keemilise koostise näitajad siiski joogivee kvaliteedinõuetele.

Viimastel aastatel on uudse probleemina üles kerkinud Kambriumi–Vendi veekihtide vee radioaktiivsus. Sotsiaalministri 31. juuli 2001. a määrusega 82 „Joogivee kvaliteedi- ja kontrollinõuded ning analüüsimeetodid“ on joogivee oodatava efektiivdoosi piirnormiks kehtestatud 0,10 mSv/aastas.

Vastavalt tehtud uuringutele on Kohtla-Nõmmel vee efektiivdoos 0,16 mSv/aastas, Kohtla-Järvel – 0,16–0,19 mSv/aastas ja Kiviõlis 0,24 mSv/aastas. Sellest tulenevalt on vaja Kambriumi–Vendi veekihtide vett ühisveevarustuses kasutamiseks segada Vasavere veehaarde radionukliididest vaba põhjaveega.

Ära tuleb nimetada ka, et Gdovi veekihi veest on leitud kõrgeid baariumisisaldusi. Kuigi Ba maksimummäärad ei ole EL direktiividega reglementeeritud, on näiteks WHO soovituslik norm 0.7 mg/l ning USA EPA norm 2 mg/l.

Euroopa Liidu Veepoliitika raamdirektiiviga on põhjaveekogumitele kehtestatud kaks keskkonnastandardit: nitraatide sisaldus alla 50 mg/l ja pestitsiidide sisaldus alla 0,1 µg/l. Nende standardite põhjal vastab Ida-Virumaa põhjavesi Euroopa Liidu nõuetele. Keemilise koostise piirväärtuste alusel jaotatakse joogiveena kasutada kavatsetav põhjavesi sotsiaalministri 2. jaanuari 2003. a määruse nr 1 alusel kvaliteediklassidesse. I kvaliteediklassi kuuluv põhjavesi ei vaja enne joogiveeks kasutusele võtmist mingit töötlust ja vastab Euroopa Liidu joogivee direktiiviga kehtestatud nõuetele.

2. SEIRESÜSTEEMI ARENDAMINE

2.1. Kaevandamise mõju veerežiimile

Rein Perens ja Leonid Savitski, Eesti Geoloogiakeskus

Käesoleval ajal töötavad Ida-Virumaal kaks kaevandust: Viru ja Estonia, ning kolm karjääri: Põhja-Kiviõli, Aidu ja Narva. Likvideeritud ja üleujutatud on üheksa kaevandust, mille kogupindala on 205 km² (joonis 4).

Kaevandamine, millega kaasneb veetaseme alandamine ja vee ärajuhtimine, mõjutab eelkõige jõgesid ja hüdrogeoloogilise läbilõike ülemisi veekihte. Kaevandamise intensiivse mõju piirkonnas voolavad Purtse, Ojamaa, Kohtla, Pungerja jt jõed. Veetaseme alandamisega kaevandustes kaasneb sageli jõesängide kuivamine, eriti nende ülemjooksul. Nii on kuivendatud Kohtla ja Rausvere jõe lätted. Samal ajal kasutatakse neid jõgesid kaevandusvee ärajuhtimiseks ja sellega reguleeritakse jõgede äravoolu. Kui jõe äravoolu reguleeritus on positiivne nähe, siis jõevee keemilise koostise muutused, eriti sulfaatide sisalduse suurenemine, on ebasoovitavad.

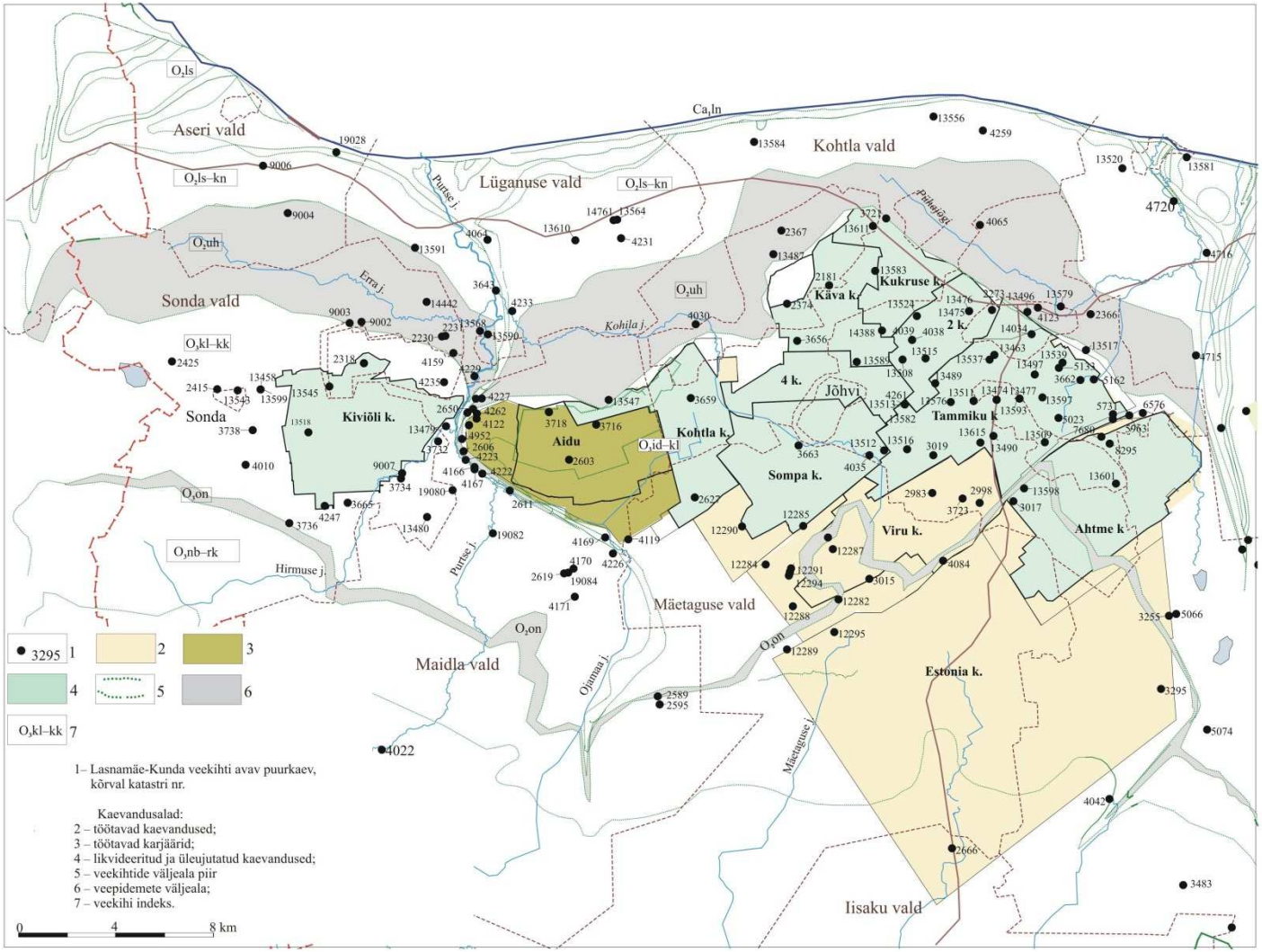
Veekihid toituvad kvaternaarisetete alla jäävatel avamustel sademetest, sukeldumisel suhteliste veepidemete alla – ülemiste veekihtide põhjaveevoolust.

Jõhvi kõrgustikult, mis on kohalikuks veelahkmealaks, suundub põhjaveevool looduslikes tingimustes põhja, itta ja lõunasse, et suubuda hüdrograafiavõrku. Vee ärajuhtimise tingimustes mõjutavad põhjaveevoolu dünaamikat suurel määral Ahtme ja Viivikonna tektoonilised rikked, mis kujutavad endast suhteliselt vettpidavaid barjääre. Ahtme rikkest loodesse jäävad Aidu karjäär, üleujutatud Kohtla, Käva, Kukruse, 2., 4., Sompa ja Tammiku kaevandus ning töötav Viru kaevandus. Ahtme ja Viivikonna rikke vahel asuvad üleujutatud Ahtme kaevandus ja töötav Estonia kaevandus.

2.1.1. Põhjavee seisundi muutused töötavate kaevanduste piirkonnas

Eesti põlevkivimaardla keskosas jätkavad tööd Viru ja Estonia kaevandus. Kaevandustesse juurdevoolav vesi moodustub põhiliselt Keila–Kukruse veekihi dreenimisest, aga pärast naaberkaevanduste veega täitumist ka läbi kaevandustevaheliste tervikute tungivast veest. Naaberkaevanduste vee arvel suurenes juurdevool Viru kaevandusse 1,5 korda ja Estonia kaevandusse 1,18 korda. Kokku pumpavad kaks kaevandust aastas välja 100 mln m³ vett ning selle käigus alandatakse põhjaveetaset Viru kaevanduses ~45 m ja Estonia kaevanduses 60 m võrra.

Vastavalt piirkonna geoloogilisele ehitusele levib suurel osal Viru kaeveväljast lasumis ainult Keila–Kukruse veekiht ja kogu Estonia kaeveväljal Nabala–Rakvere veekiht. Kuna põhjavesi moodustub põhiliselt sademevee arvel, siis sõltub vee juurdevool kaevandustesse samuti ilmastikutingimustest ja sademete aastasisesest jaotumisest, mida tõendavad ka veeärastuse vaatlusandmed. Viru kaevandusest pumbatakse kahel kevadkuul (aprill ja mai) välja 26% aastasest vee juurdevoolust, Estonia kaevanduses aga samal ajavahemikul 18%. Analoogselt muutub ka vee juurdevoolu ebaühtluskoefitsient *k*, mis väljendub maksimaalse ja minimaalse juurdevoolu suhtega. Viru kaevanduse puhul $k = 4{,}5$ ning Estonia kaevanduse osas $k = 3{,}3$.



Joonis 4. Eesti põlevkivimaardla keskosa hüdrogeoloogiline kaart (Savitski & Savva, 2003).

Vee ärajuhtimine koos suure veetaseme alandamisega mõjutab vaieldamatult kogu Ordoviitsiumi veekompleksi, puudutades suuremal või vähemal määral kõiki läbilõike veekihte. Kaevandus on veekihi jaoks dreeniks. Dreenimise tulemusel muutub põhjaveevoolu suund ning nii vahetult dreenitavas veekihis kui ka lasuvas ja lamavas veekihis moodustub põhjaveetaseme alanduslehter. Intensiivne dreenimine koos veetaseme alandamisega 40–60 m võrra suurendab veevahetust selle mõjuraadiuses, mis kutsub esile äravoolu põhjaveelise komponendi suurenemise ja pindmise komponendi vähenemise, sealjuures muutmata koguäravoolu. Üldjoontes on kaevandamise mõjul põhjaveerežiimis jälgitav aasta keskmise veetaseme alanemise ja veetaseme muutuste aastase amplituudi suurenemise tendents.

Estonia kaevanduse mõju analüüsil Ordoviitsiumi veekompleksi veekihtide põhjaveetaseme muutustele ilmneb, et praktiliselt surveta Nabala–Rakvere veekihti mõjutab vee ärajuhtimine kõige vähem ja veetaseme alanemist täheldatakse ainult vahetult ammendatud ala kohal, kusjuures veekihi täielikku kuivendamist ei toimu. Nõrgalt surveline Keila–Kukruse veekiht kuivendatakse ammendatud ala kohal ja kaevanduse mõju on jälgitav kaevetöödest kuni 2 km kaugusele. Survelise Lasnamäe–Kunda veekihi veetase on kaevanduste veeärastuse mõjude suhtes väga tundlik – veetaseme alanemist võib jälgida kuni 15 km kaugusele. Lasnamäe–Kunda veekihi põhjaveetaseme alanemist põhjustab Estonia kaevandus, kus peale Uhaku savikatesse lubjakividesse lõigatud äravoolukraavide on avatud ka karst, mis seob Keila–Kukruse ja Lasnamäe–Kunda veekihi põhjavett.

Alanduslehtrite piirkonnas ei ole täheldatud põhjavee keemilise koostise erilisi muutusi, kuid kaevandusse jõudev hapnikurikas vesi reageerib karbonaatkivimites esineva püriidiga, mille tulemusel tekib sulfaatiderikas kaevandusvesi, mille sulfaatide sisaldus on suurenenud kümnekordselt ja ulatub 700–800 mg/l. Ka vee üldkaredus on suurenenud, ulatudes 9–12 mg-ekv/l.

Eesti põlevkivimaardla piires töötab kolm karjääri: Põhja-Kiviõli, Aidu ja Narva. Karjääride ammendatud ala moodustab rohkem kui 140 km². Erinevalt põlevkivi maa-alusest kaevandamisest, kus reljeefi muutused on tühised, sest lasum deformeerub plokkide alanemisega 1–2 meetri võrra, avatakse karjäärides kogu lasumi paksus, mis suunatakse puistangutesse. Puistangud on täiesti uus keskkond, heade filtratsiooniomadustega, mis vastavalt lubjakivi purunemisele ajas muutuvad. Vee juurdevool karjääri moodustub ammendatud alale langevatest sademetest, veekihi dreenimisest eelkuivenduse dreenistrekkide kaudu ja vee juurdevoolust üleujutatud kaevandite poolt.

Aidu karjääri likvideerimise korral on võimalikud kaks varianti: 1) pideva väljapumpamisega hoida veetaset absoluutkõrgusel 37 m ja 2) reguleerida veetaset absoluutkõrgusel 42 m kanali kaudu isevooluga Ojamaa jõkke. Teise variandi puhul on vajalik rajada kanal ja tõsta tee absoluutkõrgusele 43–43,5 m.

Aidu karjäär pumpab sisuliselt välja oma territooriumi pindmist äravoolu, üleujutatud Kohtla ja 4. kaevanduse ning osaliselt Sompa kaevandusvee juurdevoolu. Keemiliselt koostiselt on vesi lahustunud mineraalainete poolest rikkam ja suurema karedusega kui Estonia kaevanduse vesi.

Põlevkivimaardla idaosas töötab Narva karjäär kolme kaeveväljaga: Viivikonna, ammendatud alaga 27 km²; Sirgala – 54 km², ja Narva – 30 km². Läänes ulatuvad Viivikonna ja Sirgala kaevandusväli Vasavere mattunud oruni ning Kurtna järvistu maastikukaitsealani. Karjääri idapiiriks on Narva jõgi.

Narva karjääri kaeveväljade kogupindala on 193 km². Kaevandamine toimub suunaga põhjast lõunasse. Karjääri lõunapiiril on kaitsealad, millest tähtsaim on Puhatu looduskaitseala.

Vee ärajuhtimise ja veetaseme alandamise tõttu tekkis väga keeruline olukord Narva karjääri läänepiiril, mis ulatub Vasavere mattunud oruni. Seal oli reaalne oht, et karjäär hakkab dreenima mattunud oru vett, kuivendama suurt hulka järvi ja negatiivselt mõjutama joogiveehaaret. Kaevetööde lähenemisel mattunud oru idapervele töötati infiltratsioonikanalile lisaks välja kaevandamise metoodika, mis nägi ette ee ajutist avamist ja sellele järgnevat tranšeede täitmist suhteliselt vettpidavate kivimitega. Nii tekitati piki mattunud orgu suhteliselt veekindel tõke, mis takistas mattunud oru pinnasevee dreenimist.

Narva karjääri lõunapiiril asub Puhatu looduskaitseala, kus ei ole lubatud Kvaternaari veekompleksi veetaset pidevalt alandada. Et viia miinimumini mõju kaitseala veerežiimile, tuleb tõenäoselt kasutada sama kaevandamismetoodikat nagu karjääri läänepiiril, Vasavere mattunud oru ligiduses. Keila–Kukruse veekihi põhjaveetaseme alanduslehtri areng kvaternaarisetete vee režiimis praktiliselt ei peegeldu, kuna Devoni vettpidavad kivimid tõkestavad ülemiste veekihtide dreenimist.

Kaevandamisega kaasneb ammendatud ala rekultiveerimine metsaks. Kaevandamise ajal reguleerib veerežiimi vee ärajuhtimine, kuid kaevandamise lõpetamisel ja karjääride veega täitumisel tuleb kindlaks määrata veetaseme kriitiline absoluutkõrgus, et vältida rekultiveeritud alade altuputamist ja metsa hukkumist.

2.1.2. Likvideeritud ja üleujutatud kaevanduste piirkonna veerežiim

Piirkonna veerežiimi iseloomustab nii veetaseme kui ka keemilise koostise osas esialgse seisundi taastumise protsess. Kui vee keemilise koostise taastumise trendide puhul vastuväited puuduvad, siis veetaseme taastumine nõuab enamikul juhtudel reguleerimist. Kuna kaevanduste töötamise aja jooksul on soostunud alad kuivendatud ja seal kasvab mets ning endised altuputuse piirkonnad on täis ehitatud, siis nüüd on tarvis reguleerida üleujutatud kaevanduste veetaset. Nii hoitakse Käva-2 kaevanduse veetaset 51 m absoluutkõrgust ja liigne vesi juhitakse isevooluga Kohtla jõkke.

Ahtme kaevanduse veega täitumisel ja veetaseme tõusul esialgse absoluutkõrguseni 55 m, tekkis reaalne oht nii Vasavere veehaarde vee kvaliteedile kui ka metsadele, mis olid kaevanduse töötamise aja jooksul kuivendatud aladele kasvanud. Arvutustega tehti kindlaks, et Ahtme kaevanduse optimaalne veetase ei tohi ületada absoluutkõrgust 45 m. Sel eesmärgil puuriti Sanniku oja lähtele 3 puurauku (nn Toruallikad), absoluutkõrgusega 42 meetrit, sügavusega 15 m ja diameetriga 450 mm, millega on kindlustatud liigse vee väljalase isevooluga kuni 1 m³/sek ning kaevanduse veetaseme tõus mitte üle absoluutkõrguse 45 m.

Jõhvi mõnede piirkondade altuputamise vältimiseks on ette nähtud hoida veetaset 2. kaevanduses absoluutkõrgusel 52 m ja Tammiku kaevanduses absoluutkõrgusel 44–45 m, maksimaalse väljalaskega 1,4 m³/sek Rausvere jõkke.

Kaevanduse veega täitumise kiirus sõltub suures osas aasta ilmastikutingimustest, kaevanduse mahust ning mäenduslikest, geoloogilistest ja hüdrogeoloogilistest tingimustest. Kaevanduste veega täitumise kestvuse ja veetaseme muutuste dünaamika analüüsist nähtub, et enamik kaevandusi täitus veega 1–2 aasta jooksul ja ainult Ahtme kaevandus 4 aastaga.

Peale hüdrograafiavõrku juhitava vee suundub käesoleval ajal osa veest üleujutatud kaevandustest töötavatesse kaevandustesse. Juurdevool Ahtme kaevandusest Estonia kaevandusse suureneb vastavalt kaevandamise lähenemisega kaevandustevahelistele tervikutele. Viru kaevandusse voolab vesi Tammiku ja Sompa kaevandusest, Kohtla kaevandusest suundub vesi Aidu karjääri.

Kui veetaseme taastumise dünaamika on juhitav ja veetase taastub võrdlemisi kiiresti, siis vee keemilise koostise taastumine üleujutatud kaevandustes on väga keeruline ning pikaajaline protsess. Kaevandamisest mõjutatud vee kvaliteedi muutuste indikaatoriteks on suurenenud sulfaatide sisaldus, karedus kaltsiumi ja magneesiumi arvel ning kuivjääk. Kaevanduse veega täitumise algetapil ujutatakse üle ammendatud ruum, mille tehnogeenne mõjutatus on kõige suurem. Sellel perioodil täheldatakse vee suurimat sulfaatide sisaldust – kuni 1500 mg/l, üldkaredus suureneb kuni 35 mg-ekv/l ja kuivjääk – 2,54 g/l. Vee mineraalsus praktiliselt kahekordistub, võrreldes kaevanduse töötamisajaga. Edaspidi, kui veetase ulatub üle ammendatud ruumi, hakkab vee mineraalsus vähenema.

Kiviõli kaevanduses oli 1989. aastal kaevanduse sulgemisel vee mineraalsus 2,3 g/l ja alles 10 aasta pärast alanes 0,6 g/l, lähenedes seega esialgsele. Kiviõli kaevanduse vee väljalase asub üleujutatud kaevanduse ülemises osas, mistõttu on võimalik suurema mineraalsusega vee säilimine, eriti kaevanduse sügavamas lõunaosas.

Seega suureneb üleujutatud kaevandustes vee mineraalsus sügavuse suunas, saavutades maksimaalse sisalduse Keila–Kukruse veekihi lamamis. Pärast ammendatud alade veetaseme taastumist hakkab taastuma Lasnamäe–Kunda veekihi toitumine, kuhu esmajärjekorras satub Kukruse veekihi suure mineraalsusega vesi. Protsess on väga aeglane, kuid peegeldub juba selgelt Lasnamäe–Kunda veekihi põhjavee kvaliteedi muutustes, mida on märganud ka selle põhjavee kasutajad.

Lähtudes eeltoodust võib arvata, et üleujutatud kaevanduste piirkonnas ei ole Lasnamäe–Kunda veekihi põhjavee kasutamisel perspektiivi, kuna vee kvaliteet võib aja jooksul halveneda. Keila–Kukruse veekihi põhjavee kvaliteet aja jooksul paraneb ning veekihi ülemises osas läheneb esialgsele. Põhjapoolsetes kaevandustes, kus ammendatud ruum ei ole veel täielikult üle ujutatud ja põhjavesi moodustub tehnogeensetes tingimustes, toimuvad samad protsessid ning nimetatud vee kasutamine joogiveeks on välistatud.

Kahjuks on senised vaatlused olnud võrdlemisi lünklikud. Põhjavee keemilise koostise muutusi on jälgitud ühekordse veeproovide võtmisega aastas, mistõttu muutused ei peegelda protsessi kogu keerukust. Seepärast on äärmiselt oluline leida vahetuid seoseid põhjavee keemilise koostise muutuste (vee elektrijuhtivuse) ja vee temperatuuri ning põhjavee tasemete vahel. Nimetatud seoseid on võimalik tuvastada ainult pideva automaatseadmete näitajatele tugineva seirega.

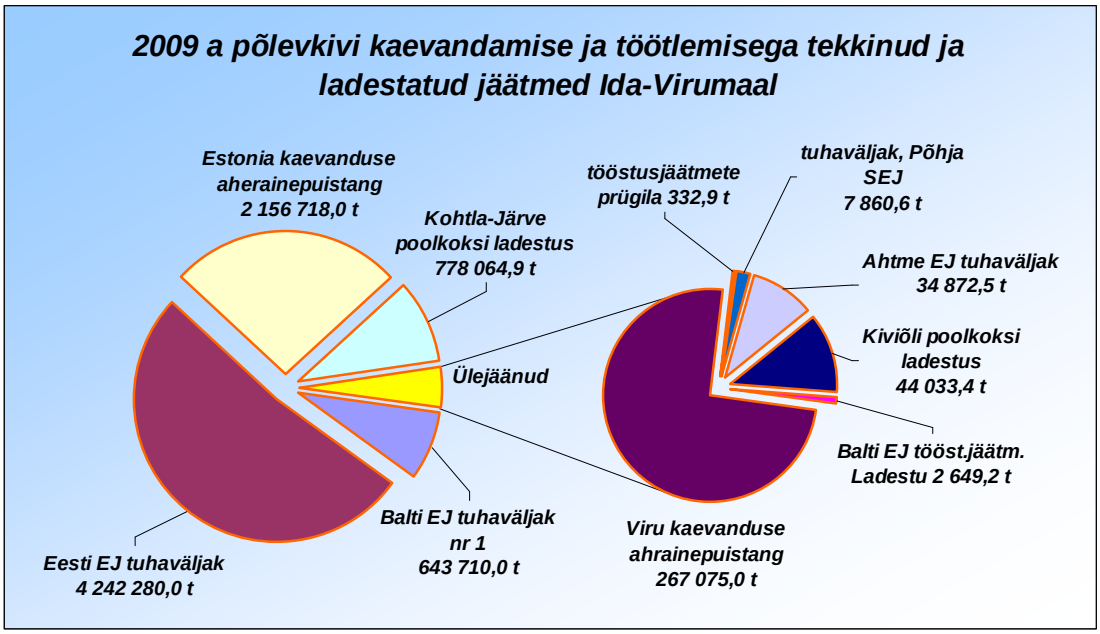
2.2. Reostusobjektide mõju põhjaveele

Liidia Bitjukova ja Hedi Schvede, Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut

Põlevkivi on madala kalorisusega kütus, milles on 30-40% orgaanilist ja suur osa mineraalset osa. Tuha kogus, mis jääb järele pärast põlevkivi põletamist, on umbes 45% maavara kaalust. Kolmeteist miljoni tonni põlevkivi iga-aastase põletamise tagajärjel tekib kuni kuus miljonit tonni tuhka, mis ladestatakse suurtel tuhaväljadel elektrijaamade läheduses ning millede kõrgus küündib juba 45 meetrini (www.stat.ee). Kogu Eestis toodetud jäätmete kogusest moodustab Ida-Virumaal põlevkivi põletamisel tekkinud jäätmete osakaal 75%.

2.2.1. Soojuselektrijaamade tuha mõju

Eesti Elektrijaama tuhaväljale paigutati 2009. aastal 4,2 miljonit tonni ja Balti Elektrijaama tuhaväljale ligi 644 tuhat tonni jääke (Joonis 5). Hinnanguliselt on Balti ja Eesti elektrijaamade tuhaväljadele paigutatud rohkem kui 250 miljonit tonni jääke (Laja, 2005). Lisaks Narva elektrijamade tuhaväljadele on tuhka paigutatud ka Ahtme ja Kohtla-Järve soojuselektrijaamade (SEJ) (kokku umbes 22 miljoni tonni) lähedal olevatele tuhaplatoodele.



Joonis 5. Põlevkivi kaevandamise ja töötlemise tagajärjel tekkinud jäätmed (Keskkonninfo, www.keskkonnainfo.ee)

Vee filtreerumisel läbi tuhaväljade tuha tekivad väga leeliselised leostusveed (pH>12). Balti ja Eesti Elektrijaamad kasutavad tuha transportimiseks platoodele suurtes kogustes vett (suhe tuhk:vesi on 1:13) (Prikk et al., 2004) ning kõrge pH (pH>12) taseme tõttu on tuhamägedest tulev nõrgvesi väga toksiline, reostades põhjavett ja ümberkaudseid pinnavee kogusid.

Eesti Elektrijaama settetiikides olev vee maht ulatus hinnanguliselt 7,5-10 miljoni m^3 ning Balti elektrijaama settetiikides 8-9 miljoni m^3 (Prikk et al., 2004). Hüdrogeoloogiline modelleerimine (Sorlie et al.,2004) on näidanud, et ööpäevane infiltratsioon tuhamägedesse on 13 700 m^3, millest 15% jõuab tiike ümbritsevatesse kanalitesse.

Kanalite kaudu jõuab osa reostunud põhjaveest ka Narva veehoidlasse. Samas aga üheaegselt põhjavee liikumisega toimuvad protsessid nagu näiteks lahustumine, dispersioon, sorptiooni ja mineraliseerumine mõjutavad vee kvaliteeti paremuse suunas ning vesi puhastub märgatavalt. 2008 aastal tehtud uuringu näitasid, et Narva veehoidlas reostuse tunnuseid ei olnud.

Suurem osa (ligikaudu 85%) tuhaväljadesse imbunud veest, filtreerub Kvaternaari ja Ordoviitsiumi karbonaatsetesse kivimitesse ning ainult 200 m^3/ööpäevas jõuab sügavamasse Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihti (Sorlie et al., 2004). Eesti Geoloogiakeskuse poolt läbi viidud regulaarsed vaatlused tuhaväljade läheduses näitasid, et 2008 aastal oli Kvaternaari veekiht peamiselt neutraalne (Kivit, 2008), samas aga suurimat reostus täheldati Balti elektrijaama 1. kraavi juures. Põhjavee K^+-sisaldus, mis on tuhaveega reostumise põhinäitajaks, oli põhjavees vahemikus 143,8–400,0 mg/l. Fenoolide, naftasaadus, PAH- ja BTEX-sisaldus jäi 2008 aastal normi piiridesse.

Lasnamäe–Volhovi veekihi põhjavesi oli valdavalt neutraalne. Veekihi põhjavesi oli suure rauasisaldusega ja ülemise osas suure orgaanilise aine sisaldusega. II tuhavälja lääne- ja põhjapiiril märgiti põhjavee suurt K^+-sisaldust, mis on tuhaväljade leelisese veega reostumise põhiliseks indikaatoriks.

Ordoviitsiumi–Kambriumi veekompleksis põhjavesi tuhaväljade piirkonnas oli neutraalne. Orgaanilise komponentide ning mikrokomponentide sisaldus ei ületanud 2008 aastal kehtestatud piirnorme selles veekihis.

Narva jõe monitooringu tulemused Eesti Elektrijaama läheduses näitasid, et Narva jõel, Narva veehoidla ja äravoolukanali veel otsesed reostustunnused puudusid. Ülemise Narva veekihi vesi oli Eesti Elektrijaama läheduses muutuva keemilise koostisega. Vesinikioonide sisalduselt (pH) oli Narva veekihi põhjavesi kevadel valdavalt nõrgalt leelisene, sügisel neutraalne. Põhjavee hüdrokeemiline seisund alumisel Lasnamäe–Kunda veekihis on olnud väga muutlik ja suure K+-sisaldusega. Orgaanilise ainete ja mikrokomponentide sisaldus vastasid lubatud tööstuspiirkondadele piirarvudele. Ordoviitsiumi–Kambriumi veekompleksi põhjavees 2008 aastal reostustunnuseid ei ilmnenud, välja arvatud ühes puuraugus, mis asetses tuhaväljade lähedal.

2.2.2. Poolkoksi prügilate ja keemiatööstuse mõju

Poolkoksimäed on kõige ohtlikumad reostusobjektid, mis kaasnevad põlevkivi töötlemisega. Ligikaudu 20% aastasest põlevkivi toodangust kasutatakse põlevkivi keemiatööstuses. Alates 1930-ndatest aastatest on keemiatööstuste ettevõtete juurde ladestatud ligi 110 miljonit tonni poolkoksi, mis võtavad enda alla umbes 180-200 hektarit maad. Suurimad poolkoksi ladestud on Kohtla-Järvel ja Kiviõlis, kus prügilate kõrgus ulatub 120 meetrini. 2009. aastal ladestati nendesse prügilastesse vastavalt ligi 778 tuhat tonni ja 44 tuhat tonni värsket poolkoksi, mis kokku moodustub ligi 10% kõikidest põlevkivi töötlemisel ja kaevandamisel tekkinud jäätmetest.

Värske poolkoks sisaldab suurel määral fenoole ning selle pH on 12-13. Orgaanilist osa on poolkoksis keskmiselt 13%. Mineraalosa koostises on (sisalduse vähenemise järjekorras) CaO, SiO_2, CO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO, H_2O (hüdroksiidides), K_2O, S, TiO_2, P_2O_5, orgaanilises osas süsinik, termobituumen, madalmolekulaarsed ühendid ja kerogeen.

Poolkoks kuulub ohtlike jäätmete hulka orgaaniliste saasteainete, nagu fenool, kresoolid, ksülenoolid ja resortsinoolid (Kahru ja Põllumaa, 2006), ning TOC (12-14%) suure sisalduse ja pH (10-13) kõrge väärtuse tõttu (Environmental hazard …, 2003).

2009 aastal moodustas kõikidest Eestis tekkinud ohtlike jäätmete kogusest, pool-koks ligikaudu 14,4% (www.stat.ee).

Orgaaniliste ühendite, seega ka ohtlike ühendite kontsentratsioon poolkoksis väheneb märgatavalt poolkoksi vananedes. Värske poolkoks sisaldab ligikaudu 4% bituumeneid, samas aga kolm aastat vana poolkoks sisaldas samu ühendeid 1,44% ning kümne aasta vanuses pool-koksis on bituumenite kontsentratsioon vähenenud 0,99% (Otsa ja Hang, 2003). Samasugune korrapärasus esineb ka mikroelementide vähenemise osas poolkoksi leostamiskatsetes (tahke aine ja vee vahekord 1:10). Poolkoksi vananedes väheneb märgatavalt elementide väljauhtumine (kümneid kuni sadu kordi) ning leostunud vee pH (Sorlie et al.,2004).

Prügimäe pind on enamasti konarlik ja jämedateraline ning eriti suvekuudel kuivab kiiresti. Poorse ja konarliku pinna tõttu infiltreerub 30-40% sademetest prügilasse. Infiltratsiooni arvel tekkib reostunud nõrgvesi mis reostab ümbritsevat keskkonda.

Pooivesi poolkoksimägede sees on kõrge pH tasemega (10,2-12,5) ning üldise mineraalsusega kuni 4000 mg/l. Lisaks sisaldab see suurtes kogustes PAH, BTEX ja fenoole ning on väga toksiline (Sorlie et al.,2004; Kahru ja Põllumaa, 2006).

Poolkoksimägesid ümbritsevates äravoolukanalites on vesi märgatavalt reostunum kui kanalites tuhaväljade ümbruses. (Fenoolide …, 2007). Kanalitesse filtreeruvat nõrgvett on iseloomustatud kõrge PAH, BTEX ja fenoolide sisaldusega milledest valdavad kõige ohtlikumad, liikuvamad and keemiliste aktiivsed gruppid. Nende kontsentratsioon ületab lubatud piirnorme põhjaveele isegi sadu kordi (Fenoolide …, 2007).

Kanalite setetes ületab ühealuseliste fenoolide (48.12 mg/kg), õlisaaduste (11500 mg/kg), PAH (133 mg/kg) ja BTEX sisaldus lubatud piirväärtusi (Fenoolide …, 2007). Ohtlike ühendite leostumine ja nende infiltratsioon muldadesse, veekogudesse ja põhjavette on peamine keskkonna alane risk põlevkivi tööstusettevõtete ümbruses. Seepärast on uuritud võtmetähtsusega saasteained Kiviõli piirkonnas, mis hõlmab kokku 29 km^2, millest 4 km^2 asub Kiviõli kaevanduse põhja poolsemal alal ning 25 km^2 kaevanduse lõunapoolsel alal (Fenoolide …, 2007).

Tulemused näitasid, et põhjavesi prügila läheduses oli aluseline ja suure mineraalsusega, mis tuleneb reostunud vee infiltratsioonist ülemisse Ordoviitsiumi veekihti. Samas aga väheneb põhjavee pH 8,2-7,2 prügilast kaugemal asuvas puuraugus ning sarnaselt vähenes ka mineraalsoolade sisaldus prügimäest eemal (15 000 µS/cm prügila läheduses, kuni 2200 µS/cm üks km prügilast eemal). PAH, BETX sisaldus piirkonnas jäi alla lubatud piirnormidele, kuid fenoolide sisaldus ületas norme prügimäe läheduses.

Kambrium-Vendi veekiht oli madala mineraalsusega ja stabiilse pH (7,6-7,8), üldmineraalsus oli 285,2 kuni 1097,3 mg/l, elektrijuhtivus 820-2000 µS/cm. Kambrium-Vendi veekihis oli PAH, BTX ja fenoolide sisaldust allpool laboratoorset määramisepiiri.

Kohtla-Järve poolkoksimägede ümbruses on põhjavee reostust tähele pandud 900 ha suurusel alal (Fenoolide…, 2007) ning suurim reostus on kindlaks tehtud mägede lähiümbruses ja ülemistes veehorisontides. Lasnamäe-Kunda veekihi pH oli poolkoksimägede lähiümbruses 9,0 kuni 11,3 ning prügilast eemal 7,1 kuni 7,2. Naftasaaduste sisaldus põhjavees oli prügila läheduses 25-50 µg/l (üle lubatud piirväärtuse), samas aga vähenes prügilast eemal sisaldusteni vähem kui 20 µg/l. Aastane keskmine BTEX Lasnamäe-Kunda veekihis ei ületanud lubatud piirväärtusi.

Samas aga 2008 aastal ületas benseeni sisaldus pool-koksi prügila lähiümbruses lubatud piirväärtust, milleks on 5 µg/l. Tolueeni, ksüleeni ja etüülbeseeni sisaldused jäid enamuses proovides allapoole lubatud piirväärtuste, milleks on (50 µg/l, 30µg/l and 50 µg/l) ning ainult kohati ületasid neid. Prügilast eemal olid kõikide ühendite sisaldused Lasnamäe-Kunda põhjavees vähem kui 0,5 µg/l.

Fenoolide kontsentratsioon poolkoksimägede ümbruses on olnud stabiilne. Ühealuseliste ja kahealuselitse fenoolide sisaldus oli alla 100 µg/l. Aromaatsete süsivesinike sisaldus ei ületanud 10 µg/l, samas aga oli pool-koksi prügila ümbruses ühendi sisaldus üle 0,2 µg/l ning üle joogivee standarti, milleks on 0,1 µg/l. Proovid, milledes PAH sisaldus oli vähem kui 0,1 µg/l, asusid reostuse levila äärealadel.

Ordoviitsiumi-Kambriumi veehorisont eristub Lasnamäe-Kunda veehorisondist tema parema veekvaliteedi poolest ning seega pool-koksi mägede mõju sügavamale veekihile on väiksem. 2008 aastal naftasaaduste kontsentratsioon ei ületanud 20 µg/l üheski puuraugus, samas oli ainult benseeni ja tolueeni sisaldused nagu ka varajasematel aastatel üle 0,2 µg/l ja 0,5 µg/l piirnormi ainult mõnedes puuraukudes. Aasta keskmine monoaromaatsete süsivesinike kontsentratsioon Ordoviitsiumi-Kambriumi veekihis oli allpool lubatud piiri 100 µg/l.

Põlevkivitööstusel Kohtla-Järve piirkonnas on ka mõju muldadele ja setetele, milles on leitud PAH kõrgenenud sisaldusi (kuni 434 mg/kg) (Kahru ja Põllumaa, 2006), mis on märgatavalt kõrgem kui tööstuspiirkonnale lubatud piirnorm (200 mg/kg). Samuti on leitud lenduvate elementide (kaasaarvatud toksiliste metallide) kõrgendatud sisaldust põlevkivi keemiatööstuse läheduses, millest võib järeldada, et põlevkivi termilise töötlemise käigus suurendatakse õhus lenduvate elementide sisaldust ning seega mõjutatakse ka muldade keemilist koostis. Lisaks põlevkivi termilisele töötlemisele kaasnevale õhu saastele, on oma panuse ümberkaudse õhu reostusele andnud ka mõnede poolkoksi mägede isesüttimine, millega kaasneb vesiniksulfiidi, ammoniaagi ja raskemetallide sisalduse suurenemine õhus.

Viidatud kirjandus

Environmental hazard assessment of semi-coke // Estonian Environmental Research Centre Report. Tallinn, 2003. [in Estonian]. (http://www.envir.ee/jaatmed/poolkoksi_uuring.pdf).

Fenoolide seire VKG AS-i poolkoksi ning lend- ja koldetuha ladestu ümbruse piirdekraavides ning Kiviõli Keemiatööstus OÜ poolkoksiladestu ümbruses, 2007. AS Maves, Leping 7070, Tallinn.

Laja, M. 2005. Põlevkivi tuhk, omadused ja käitumine. MSc Thesis, Tartu Ülikool, 2005.

Kivit, N. 2008. Hüdrogeoloogilised vaatlused Balti ja Eesti Elektrijaama tuhaväljadel 2003.aastal. Estonian Geological Survey.

Otsa, E., Tang, H. 2003. Poolkoksi keskkonnaohtlikkuse määramine. EKK aruanne. 2003. 44lk+lisad.

Prikk A., Arro H., Pihu T., Rootamm R. 2004. Oil shale ash – formation, environmental problems and utilization. Research Report. Tallinn University of Technology. Tallinn

Saether, O.M., Banks, D., Kirso, U., Bityukova, L., Sorlie, J.-E. The chemistry and mineralogy of waste from retorting and combustion of oil shale. In: Giere, R. & Stille, P. (eds.) 2004. Energy, Waste, and the Environment: A Geochemical Perspective, Geological Society, London, Special Publication, 236, 263-284.

Sørlie, J.-E., Bityukova, L., Sæther, O.-M., Rudolph-Lund, K., Kahru, A., Vallner, L., Petersell, V., Razgonjajev, A., Põllumaa, L. 2004. Estonia, the oil shale industry. Risk based environmental site assessment of landfills. Report. 216pp.

The Statistic Office of Estonia (http://www.stat.ee).

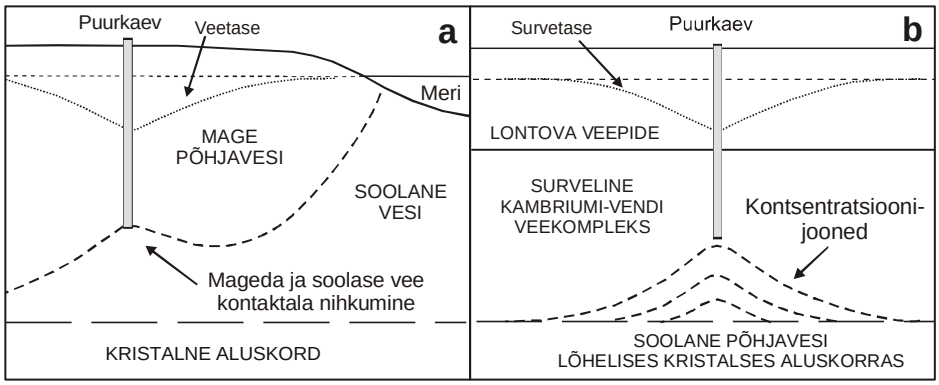
2.3. Probleemid Kambriumi-Vendi veekompleksi vee kvaliteediga

Enn Karro, Tartu Ülikooli ökoloogia ja maateaduste instituut

Kambriumi-Vendi veekompleksi põhjavesi kuulub passiivse veevahetuse tsooni ning Põhja-Eestis iseloomustab seda Cl-HCO_3-Na-Ca ja HCO_3-Cl-Ca-Na koostis mineralisatsiooniga 0,4-1,1 g/l (Savitskaja & Viigand 1994). Veekompleksi ülemise osa, Voronka veekihi vee keemiline koostis varieerub laiades piirides, olles valdavalt Cl-HCO_3-Na-Mg-, Cl-HCO_3-Na- või Cl-HCO_3-Na-Ca-tüüpi, aluskorra kivimisse lõikunud ürgorgude läheduses tulenevalt erineva koostise ja soolsusega vete segunemisest ka HCO_3-Mg-Ca-, HCO_3-Na-Mg- ja HCO_3-Na-Ca-tüüpi. Sügavamal lasuva Gdovi veekihi vee keemiline koostis on Voronka veekihiga võrreldes palju ühtlasem. Eristatakse kaht veetüüpi: kõrgendatud mineraalsusega Cl-Na, Cl-Na-Ca vesi Ida-Eestis ning Cl-HCO_3-Na-Mg-, Cl-HCO_3-Na-Ca-tüüpi vesi valdavas osas Põhja-Eestist (Perens jt. 2001). Kambriumi-Vendi veekompleks lasub kristalsel aluskorral, mille ülemine osa on lõheline ja murenenud ning mistõttu sisaldab ja juhib põhjavett. Põhja-Eestis on saadud kristalsest aluskorrast tunduvalt soolasemat Cl-Ca-Na tüüpi vett kui Kambriumi–Vendi veekompleksist.

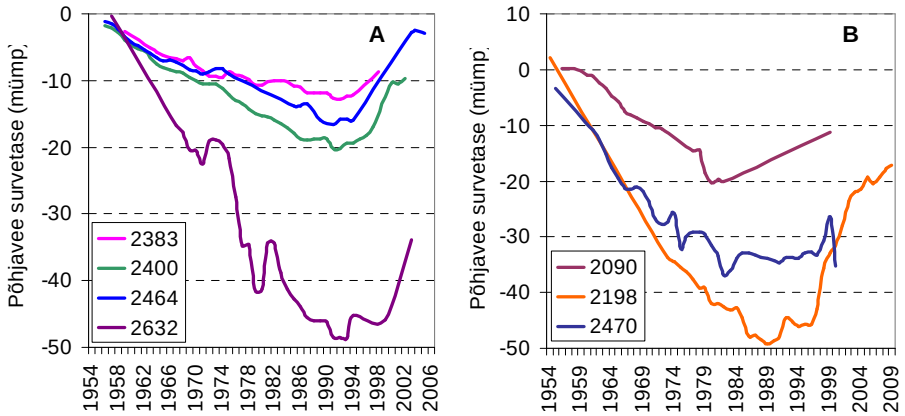
Kambriumi-Vendi veekompleks leiab laialdast kasutamist Põhja-Eesti veevarustuses. Veekompleks on tänu lasuvale Lontava ladestu savidest koosnevale veepidemele hästi kaitstud maapinnalt ja lasuvatest veekompleksidest lähtuva võimaliku reostuse eest. Samas on põhjavesi mõjutatud intensiivsest veevõtust, kuivõrd Ida-Virumaale on koondunud mitmed suured veetarbijad ning tihti on Kambriumi-Vendi veekompleks antud piirkonnas ainsaks veeallikaks, mis tagab tarbijatele nii kvantiteedilt kui ka kvaliteedilt sobivad veekogused. Seega on nii tööstusettevõtete tarbeks kui elanikkonna olmevee vajaduste rahuldamiseks pumbatavad veekogused, võimalik merevee sissetung veekompleksi kui ka soolasema sügaval lasuva põhjavee sissetung veehaaretesse Voronka ja Gdovi veekihi peamisteks surveteguriteks Ida-Virumaal.

Mageda põhjaveekompleksi vee kvaliteeti võib rannikuäärsetes piirkondades mõjutada nii merevee sissetung kui ka veekompleksi sügavamas osas või veekompleksiga hüdrauliliselt seotud aluskorra lõhelises vööndis paikneva kõrgema soolsusega ning joogivee kvaliteedile mittevastava põhjavee intrusioon (joonis 6). Sageli on mereäärsed piirkonnad mõjutatud samaaegselt mõlema teguri poolt (Custodio 2002).



Joonis 6. Soolase vee sissetung veehaardesse. a – magevee ja soolase vee difusioonivöönd idealiseeritud rannikuäärse veehaarde korral; b – sügaval lasuva soolase põhjavee vertikaalne liikumine puurkaevu suunas tänu veevõtust tingitud põhjavee surve alandamisele veekihis.

Ida-Virumaa piiresse jääva Kambriumi-Vendi veekompleksi peamiseks probleemiks on olnud ulatusliku depressioonilehtri moodustumine ja areng ning pikaajalisi vee keemilise koostise muutusi iseloomustavad mineralisatsiooni väärtuse ning vee keemilist koostist moodustavate põhikomponentide (Cl, Na, Ca) kontsentratsioonide tõus. Lisaks eelnevale võib vee kvaliteeti mõjutada toksiliste keemiliste komponentide (baarium, fluoriidid, radioaktiivsed elemendid) mobiliseerumine ja migratsioon suurematest sügavustest veehaarete suunas. Põhjavee survetaseme pikaajaline langus (1955-1990) ning sellele järgnenud tõus on Ida-Virumaal täheldatav nii Gdovi kui ka Voronka veekihi seirekaevudes (joonis 7). Muutused põhjavee survetasemetes modifitseerivad kogu hüdrodünaamilist olukorda, nii põhjavee liikumissuundi kui ka -kiirusi. See on omakorda põhjustanud olukorra, kus veehaarete (nende ümber moodustunud depressioonilehtrite tsentrite) suunas on indutseeritud lateraalne ja vertikaalne soolasema põhjavee vool.

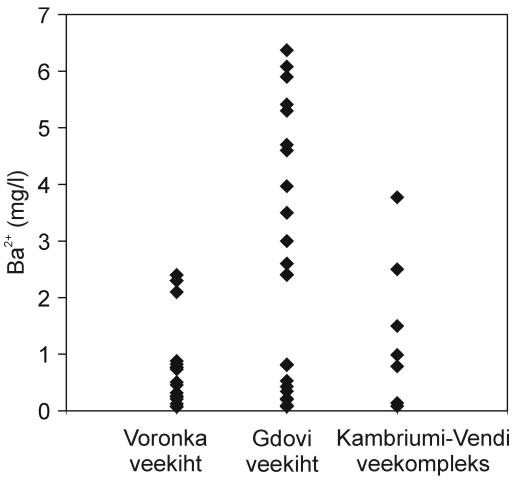


Joonis 7. Pikaajalised põhjavee survetaseme muutused Gdovi (A) ja Voronka (B) veekihis.

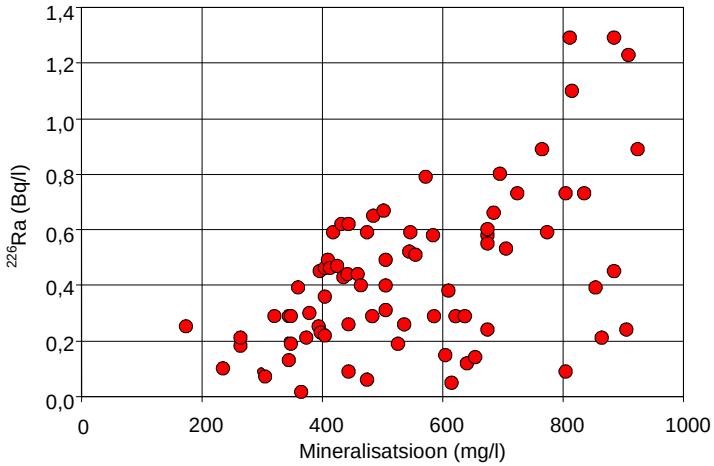
Mitmed Ida-Virumaa Kambriumi-Vendi veekompleksi kaevud paiknevad rannikule väga lähedal, mistõttu intensiivne põhjavee tarbimine ning depressioonilehtrite areng võib esile kutsuda merevee sissetungi veehaaretesse. Samas on mitmete Gdovi veekihti avavate puurkaevude konstruktsioon selline, et nende töötav osa (filter) ulatub geoloogilises läbilõikes veekihi sügavamasse ossa, murenenud ja lõhelise aluskorra vahetusse lähedusse. Gdovi veekiht on aga lamava aluskorraga hüdrauliliselt seotud, mis tähendab, et kui seda tüüpi kaevu pumpamise mõjuraadius kasvab, võib soolane aluskorra lõhedes paiknev põhjavesi liikuda vertikaalsuunas ning mõjutada kaevust väljapumbatava Kambriumi-Vendi veekompleksi vee keemilist koostist. Seega võivad põhjavee põhikomponentide, eelkõige Na, Ca ja Cl,

kontsentratsiooni kasvu vees põhjustada mitmed tegurid. Selleks, et eristada üksteisest erinevaid vee keemilist koostist mõjutavaid tegureid, on hüdrokeemiliste interpretatsioonide käigus otstarbekas kasutada põhikomponentide ioonsuhteid ja modelleerimist.

Looduslike radioaktiivsete ainete ja mitmete mikrokomponentide peamiseks allikaks on kristalse aluskorra kivimid. Aluskorra pealispinnal moodustunud savikas murenemiskoorik ja tektoonilised rikked seovad pikaajalisel sedimentatsiooniprotsessil moodustunud Kambriumi-Vendi veekompleksi põhjavett aluskorra kivimitega. Juba settekivimite diageneesi käigus toimus mineraalide lahustumine ja keemiliste komponentide leostumine kivimitest põhjavette, algset hüdrokeemilist pilti on muutnud hilisemad paleohüdrogeoloogilised tingimused (Savitskaja jt. 2002). Seega etendavad aluskorra kivimid, neil lasuv savikas murenemiskoorik ning aluskorra lõhelise vööndi põhjavee koostis näiteks baariumi ja radioaktiivsete elementide allikatena ja mobiilsuse reguleerijatena olulist rolli. Aluskorra mõju Kambriumi-Vendi veekompleksi keemilisele koostisele avaldub eelkõige sügavamal lasuva Gdovi veekihi puhul, kus põhjavee Ba-sisaldused on tunduvalt suuremad kui lasuvas Voronka veekihis (joonis 8). Samuti eksisteerib selge seos sügavamal lasuva soolasema põhjavee mineralisatsiooni väärtuste ning radioaktiivsete elementide sisalduste vahel (joonis 9)



Joonis 8. Põhjavee Ba-sisaldus sõltuvalt hüdrogeoloogilisest üksusest.



Joonis 9. Põhjavee mineralisatsiooni ja Ra-sisalduse omavaheline seos (Savitskaja jt. 2002 järgi).

Põhjavee pumpamine rikub algset põhjavee hüdrokeemilist stratifitseeritust ning Ba ja radioaktiivsete elementide sisalduse tõus põhjavees on tingitud soolaka Cl-Ca tüüpi aluskorra lõhelise vööndi vee vertikaalsest intrusioonist Kambriumi-Vendi veekompleksi.

Viidatud kirjandus

Custodio E. 2002. Aquifer overexploitation: what does it mean? Hydrogeology Journal 10(2):254-277.

Perens R, Savva V, Lelgus M, Parm T. 2001. The hydrogeochemical atlas of Estonia (CD version). Geological Survey of Estonia, Tallinn.

Savitskaja L, Viigand A. 1994. Kambriumi-Vendi veekompleksi põhjavee mikrokomponentide ja isotoopkoostise uurimisest joogivee kvaliteedi hindamiseks Põhja-Eestis. Aruanne nr. 4870. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Savitskaja L, Savva V, Jaštšuk S. 2002. Kambriumi-Vendi veekompleksi põhjavee radionukliidide sisalduse määramine ja selle vastavuse hindamine EL Joogiveedirektiivi 98/83/EÜ nõuetele Lääne- ja Põhja-Eesti suurematel veehaaretel. I ja II etapp. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn, 53 lk.

2.4. Uute seirekaevude loomine ning seire automaatseadmete paigaldamine

Rein Perens, Mati Lelgus ja Andreas Schmied, Eesti Geoloogiakeskus

2000. aastal vastu võetud Euroopa Liidu veepoliitika raamdirektiivi (2000/60/EÜ) üks põhieesmärkidest on kehtestada ühtne raamistik põhjavee kaitseks, et tagada põhjavee hea seisund. Veepoliitika raamdirektiivi Artikkel 8 kohaselt peavad liikmesriigid tagama vee seisundi seire programmide kehtestamise, et saada ühtne ja terviklik ülevaade vee seisundist igas valgalapiirkonnas. Põhjavee puhul hõlmavad sellised programmid keemilise ja kvantitatiivse seisundi seiret.

Põhjavee kvantitatiivse seisundi seireks on loodud seirevõrk, mis on üles ehitatud selliselt, et ta annaks usaldusväärse hinnangu kõigi põhjaveekogumite või kogumirühmade kvantitatiivse seisundi kohta, sealhulgas hinnangu tegelike põhjaveevarude kohta.

Ida-Virumaa põhjaveeseirevõrku kuulub piisaval hulgal tüüpilisi vaatluspunkte, et hinnata põhjavee taset igas põhjaveekogumis, võttes arvesse lühi- ja pikaajalisi muutusi põhjaveekogumi toitumises. Arvestades seda, et kaevanduste piirkonnas (Ida-Virumaa põlevkivibasseini põhjaveekogum) on teada põhjavee seisundi mittevastavus keskkonnaalastele eesmärkidele, tuleb seal tagada piisaval hulgal vaatluspunkte, et hinnata veevõttu ja kaevandusvee ärajuhtimise mõju põhjaveetasemele. Olemasolev valdavalt möödunud sajandi seitsmekümnendatel aastatel rajatud seirevõrk ei ole arvestanud uute kaevanduste ja karjääride avamisega ja olemasolevate sulgemisega.

Põhjavee seiresagedus peab olema piisav, et hinnata põhjavee kvantitatiivset seisundit igas põhjaveekogumis. Sarnaselt seirevõrgu tihedusele tuleb ka vaatluste sagedus valida vastavalt

põhjaveekogumi ohustatusele. Põhjavee keemilise seisundi seirevõrk peab olema üles ehitatud selliselt, et ta annaks ühtse ja tervikliku ülevaate põhjavee keemilise seisundi kohta igas põhjaveekogumis ning võimaldaks avastada pikaajalisi inimtegevusest tulenevaid kasvutendentse saasteainete hulgas. Ida-Virumaal on eriti oluline jälgida muutusi põhjavee, sealhulgas kaevandusvee sulfaatide sisalduses. Senised uuringud on näidanud sulfaatide sisalduse head korrelatsiooni põhjavee mineraalsusega.

Põhjavee keemilise seisundi seire eesmärgiks on täiendada ja tõendada keskkonnamõju hindamise korda ning anda teavet nii looduslikes tingimustes toimunud muutustest kui ka inimtegevusest tulenevate pikaajalistest arengutendentsidest. Sobivaks meetodiks on siinjuures põhjavee elektrijuhtivuse pidev automaatne jälgimine, millele on osutatud ka direktiivi 2000/60/EÜ V lisa tabelis 2.3.2. Seega võimaldab elektrijuhtivuse automaatne jälgimine lahendada kaevandusvee formeerumise, sealhulgas sulfaatse reostusega seotud probleeme.

Põhjavee seire tulemusi kasutatakse

- põhjaveevaru hindamisel;
- hüdrogeoloogiliste prognooside koostamisel;
- modelleerimisel;
- vee juurdevoolu hindamiseks maavarade kaevandamisel;
- piirkonna hüdrogeoloogiliste tingimuste määramisel;
- põhjaveebilansi arvutamisel;
- looduslike ja tehnogeensete tegurite seoste ja tendentside kindlakstegemiseks;
- rakendusgeoloogiliste tingimuste hindamiseks ehitusel, maaparanduses ja veevarustuses;
- põhja- ja pinnavee vastastikuste seoste uurimisel;
- reoainete migratsiooni uurimisel.

Põhjavee kvaliteedi määramiseks eksisteeriva seirevõrgu tihedus on piisav, küll aga on valdav osa seirekaevudest rajatud 30–40 aastat tagasi ning osa neist vajavad asendamist. Seoses uute põlevkivikaevanduste rajamisega ja vanade sulgemise ja uputamisega on üles kerkinud ka rida uusi probleeme, mis vajavad lahendamiseks uute seirejaamade rajamist.

Arvestades projekti spetsiifikat ning Eesti regulatsioone, on projekti edukaks läbiviimiseks vajalik tagada üheaegselt projekti plaanitud tulemuste saavutamine ning loodava ja täiendatava automatiseeritud seirevõrgustiku säilumine. Riikliku seire kaevude rajamisel eramaale on vajalik spetsiaalsete lepingute sõlmimine maaomanikega, mis tunduvalt raskendas kaevude rajamise tähtaegade täitmist.

Projekti raames rajatud seirekaevude põhiandmed on esitatud tabelis 2.

Tabel 2

Rajatud seirekaevude koondandmed

Seire-kaevu number	L-EST 97 koordinaadid		Puur-kaevu sügavus	Mantel-toru pikkus	Töötav osa	Staa-tiline veepind	Dünaa-miline veepind	Deebit (l/s)	Erideebit (l/s*m)	Absoluut-kõrgus	Geoloo-giline indeks
	X	Y									
26249	6579195	665672	45	20	20-45	14	14,05	0,83	16,60	57	O_3id–kk
26250	6579185	665674	105	75	75-105	12,8	13	0,83	4,15	57	O–Ca
26251	6586115	693269	25	5	5-25	6,3	9,7	0,83	0,24	55	O_3id–kk
26252	6586111	693261	70	55	55-70	13,2	17	0,83	0,22	55	O–Ca

Seire-kaevu number	L-EST 97 koordinaadid		Puur-kaevu sügavus	Mantel-toru pikkus	Töötav osa	Staa-tiline veepind	Dünaa-miline veepind	Deebit (l/s)	Erideebit (l/s*m)	Absoluut-kõrgus	Geoloo-giline indeks
	X	Y									
26253	6581659	693347	20	5	5-20	20	-			73	O_3id–jh
26254	6581670	693347	45	25	25-45	27	27,5	0,83	1,66	73	O_3id–kk
26255	6569954	700908	15	15	9,5-15	2,3	2,5	0,83	4,15	53	O_3nb–rk
26256	6569947	700908	75	25	25-75	3	4	0,83	0,83	53	O_3id–kk
26257	6560877	708902	5	5	1-5	1	4	0,55	0,18	38	Q
26258	6560866	708892	30	8	8-30	0,7	4	0,83	0,25	38	O_3nb–rk
26266	6584308	665497	15	3	3-15	3,4	3,5	0,83	8,30	53	O_3kl–kk
26267	6584219	665494	40	20	20-40	3	3,3	0,83	2,77	53	O_2ls–kn
26259	6575193	667981	4	4	1-4	2	-			55	Q
26260	6575204	667979	25	4	4-25	2,3	4	0,83	0,49	55	O_3nb–rk
26261	6575171	667983	55	30	30-55	3	4	0,83	0,83	55	O_3id–kk
26262	6575182	667982	105	85	85-105	4,6	10	0,83	0,15	55	O–Ca
26268	6584298	665500	75	51	51-75	10,2	12	0,83	0,46	53	O–Ca
26263	6573193	715034	30	10	10-30	7	-			30	O_2nr–O_3kk
26264	6573199	715027	55	30	30-55	22,2	-			30	O_2ls–kn
26265	6573203	715037	85	55	55-85	22	25	0,83	0,28	30	O–Ca

Projekti raames rajati 9 puurkaevude gruppi - kokku 20 uut seirekaevu, puurimistööde kogumahuks kujunes 924 m. Osteti 99 andurit, mis paigaldati 95 seirekaevu, sh 64 põhjaveetaseme ja vee temperatuuri mõõteandurit 300l LT Levelloger Gold, 4 õhurõhu automaatset registreerijat 300l LT Barologger, 24 põhjaveetaseme ja vee temperatuuri mõõteandurit 300l LTC Junior ning 7 sügavate kaevude jaoks sobilikku põhjaveetaseme ja vee temperatuuri mõõteandurit Ceramic CTD DI 237.

3. SEIRE TULEMUSED

3.1. Põhjaveetasemete seire tulemused ja andmekogud

Rein Perens, Eesti Geoloogiakeskus

Projekti tegevuste hulka kuulus ka põhjaveetasemete seire projekti perioodi jooksul nii enne kui peale daiverite paigaldamist, et üleminek autonatiseeritud süsteemile kulgeks probleemideta ning tekiks võrdlusmaterjal, mis näitaks, kuivõrd on automatiseeritud süsteem efektiivsem. Tuleb märkida, et Ida-Virumaal olid paigaldatud ka esimesed daiverid juba enne seda projekti, ning seda ettevõtteseire raamistikus.

Vastavalt püstitatud ülesannetele ja hüdrogeoloogilistele tingimustele jaotub põhjaveeseire üleriigiliseks ehk riiklikuks, kohalikuks ja ettevõtteseireks. Tinglikult võib kõnelda ka teaduslikust seirest. Ida-Virumaal omavad suurt tähtsust nii riiklik kui ka ettevõtte põhjaveeseire.

Riikliku seire ülesandeks on põhjavee seisundi süsteemne jälgimine looduslikes või looduslähedastes tingimustes (põhjavee fooniline seisund), mis on mõjutatud geomorfoloogilistest, geoloogilistest, hüdrogeoloogilistest, hüdroloogilistest ja ilmastikutingimustest, ning riiklikult tähtsate veekihtide ja põhjaveekogumite põhjavee seisundi jälgimine kõige pingelisematel aladel – keeruliste hüdrogeoloogiliste tingimuste ja suure tehiskoormusega aladel, kus põhjavee mõjutatus on laiaulatuslik. Nende hulka kuuluvad suuremate linnade veehaarded, kus põhjaveevõtt ületab veekihi looduliku toitumise, ning põlevkivikaevanduste alad, kus ärajuhitava kaevandusvee hulk ületab mitmekordselt veevõtu olme- ja tootmisveeks. Seal on rikutud põhjaveekihtide looduslik tasakaal ja on tekkinud oht põhjaveerežiimi pöördumatuteks muutusteks. Põhjavee riiklikku seiret tellib Keskkonnaministeerium.

Ettevõtteseire ülesandeks on jälgida ettevõtte tegevusest tulenevaid põhjavee seisundi muutusi riikliku keskkonnateenistuse nõudel või ettevõtte enda soovil.

Põhjaveeseire läbiviimiseks Ida-Virumaal on koostatud seireprogramm, mis koosneb püstitatud ülesannetest ja nende lahendamise moodustest, vaatluskaevude nimekirjast ja asukoha andmetest. Vaatluskaevude sügavuse ja paigutamise põhjendusel on lähtutud hüdrogeoloogiliste tingimuste kirjeldusest, läbilõigetest, jälgitavate elementide loetelust (veetase, temperatuur, keemiline koostis, veevõtt jne) ja töö metoodikast.

Usaldusväärse teabe saamiseks põhjavee seisundi kohta on vajalik tugivaatluskaevude võrk, mis avab kõiki hüdrogeoloogilises läbilõikes esinevaid veekihte. Informatiivsem on vaatluskaevude rühm, kus ühes punktis jälgitakse erinevate veekihtide põhjavee seisundit. Tugivaatluskaevuks sobiva puuraugu (puurkaevu) kohta peab olema läbilõike detailne kirjeldus, katseandmetel määratud hüdrogeoloogilised parameetrid, konstruktsiooni tehnilised andmed, paiknemise koordinaadid ja maapinna absoluutkõrgus. Vaatluskaev peab olema konstruktsiooniga, mis kindlustab vaadeldava veekihi avatuse ja isoleerituse teistest veekihtidest.

Tugivaatluskaevud põhjavee seisundi jälgimiseks kiire veevahetuse vöös on paigutatud erinevatesse geomorfoloogilistesse tingimustesse. Kaevanduste piirkonnas, kus jälgitakse kaevandusvee ärajuhtimise mõju, on vaatluskaevud paigutatud gruppidena, kus jälgitakse

dreenitava Keila–Kukruse veekihi põhjaveetaseme muutusi koos lamamisse ja lasumisse jäävate veekihtide muutustega.

Põhjaveetaseme mõõtmissagedus määratakse sõltuvalt põhjavee reageerimise kiirusest muutustele, mis toimuvad veekihis ilmastiku ja inimtegevuse mõjul. Lõhelistes ja karstunud kivimites reageerib põhjavesi valdavalt kiiremini kui poorses keskkonnas.

Põhjaveetaseme vaatlusandmete võrreldavuse tagamiseks mõõdetakse veetaset kindlatel kuupäevadel. Lõhelistes ja karstunud lubjakivides, nagu Ida-Virumaa põlevkivibasseini veekihid, oleks soovitav veetaseme mõõtmissagedus 5–10 korda kuus. Seire rahastamisraskustest tulenevalt piirdub veetaseme mõõtmine maapinnalähedastes veekihtides enamasti 1–3 korraga kuus, Seepärast on veetasemete automaatseire tohutu progress, mis võimaldab teha täpseid kaevandusvee ja põhjavee bilansiarvutusi ning teha põhjaveerežiimi muutuste prognoose.

Lihtsamaks veetaseme mõõtmise vahendiks on mehaaniline veetasememõõtur, mis koosneb mõõtelindist ja selle otsa kinnitatud mõõtesondist. Veetaseme mõõtmiseks lastakse mõõtesond kohaliku vaatleja poolt aeglaselt vaatluskaevu ning kokkupuutel veega tekib heli. Veetaseme sügavust mõõtelindilt loetakse markeri kohalt täpsusega 1 cm.

Veetaseme mõõtmise automaatandurite eraldusvõime on 0,1 cµ ehk 10 korda kõrgem. Veetasemete automaatmõõtmise oluliselt suuremast täpsusest, võrreldes veetaseme käsitsimõõtmisega, annavad ettekujutuse joonised 10 ja 11.

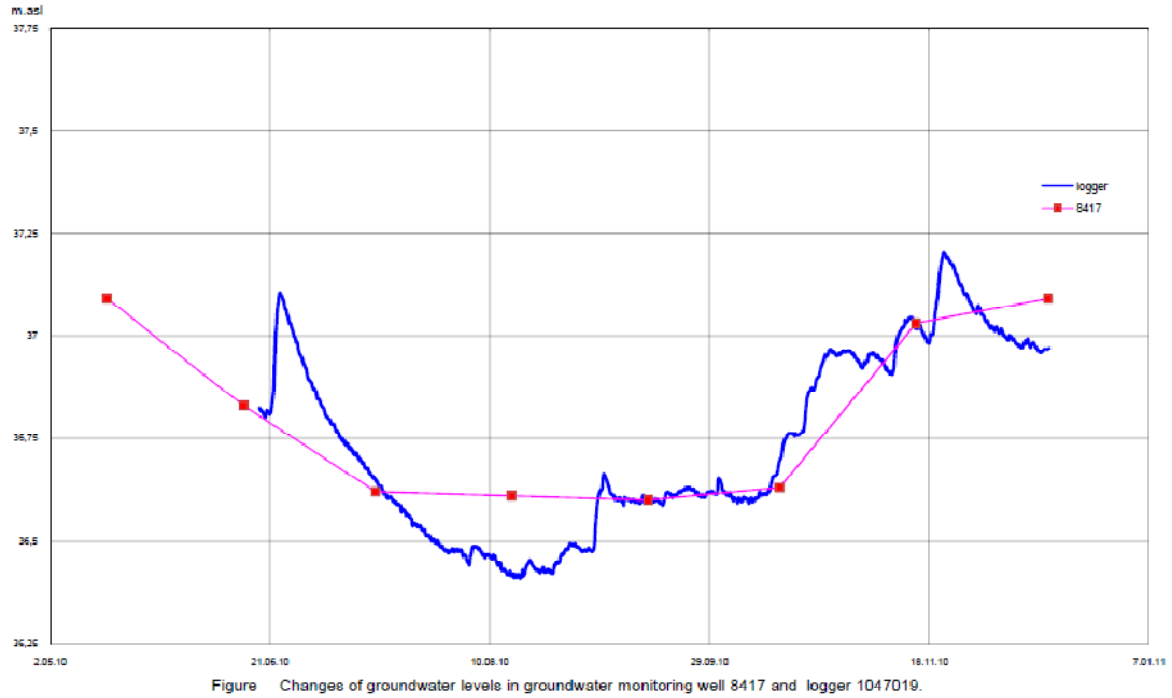


Figure Changes of groundwater levels in groundwater monitoring well 8417 and logger 1047019.

Joonis 10. Põhjaveetaseme automaatmõõdistamise (sinine joon) ning käsitsimõõdistamise (punane joon) täpsuse võrdlus põhjaveeseirekaevus nr 8417.

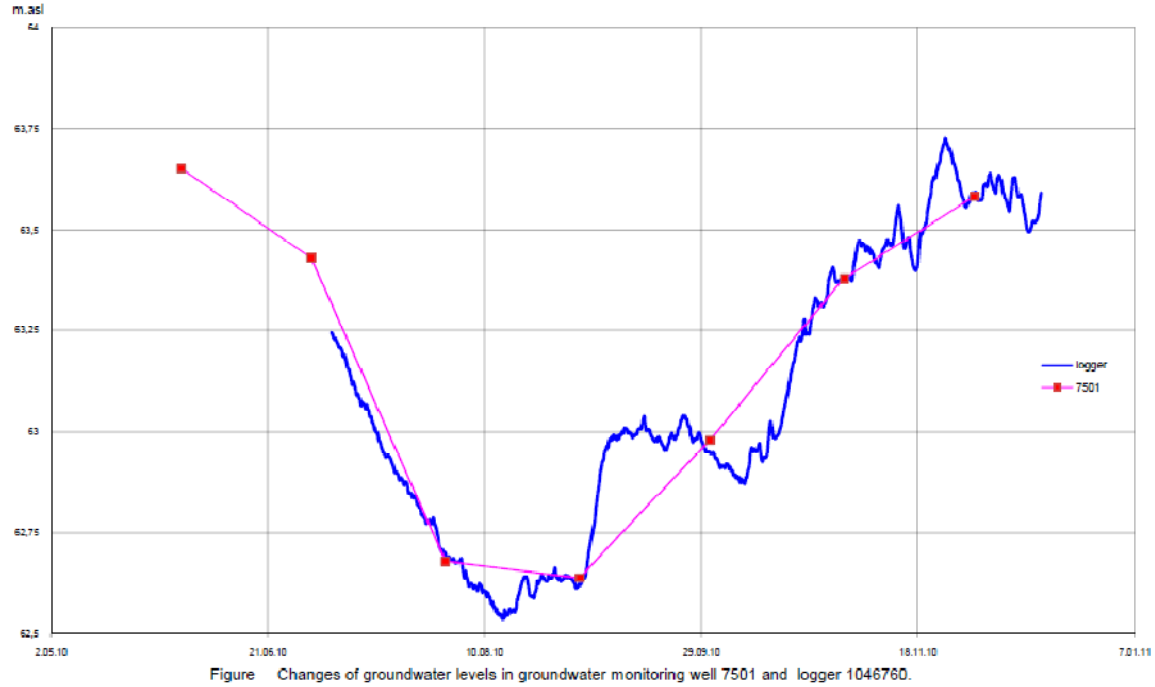


Figure Changes of groundwater levels in groundwater monitoring well 7501 and logger 1046760.

Joonis 11. Põhjaveetaseme automaatmõõdistamise (sinine joon) ning käsitsimõõdistamise (punane joon) täpsuse võrdlus põhjaveeseirekaevus nr 7501.

Põhjaveeseire pikaajalised andmed on tugimaterjal:

- põhjaveevaru hindamisel ja hüdrogeoloogiliste mudelite koostamisel;
- veevarustusküsimuste lahendamisel;
- põhjaveebilansi ja hüdrogeoloogiliste ning hüdroloogiliste prognooside koostamisel;
- kaevandustesse ja karjääridesse valguva liigvee ärajuhtimise selgitamisel;
- keskkonnakaitse tööde planeerimisel ja ekspertiisil;
- projekteeritavate, ehitatavate ja kasutatavate objektide rakendusgeoloogilisel hindamisel.

Põhjaveeseire ja veevõtu arvestuse andmed kantakse riiklikusse keskkonnaregistrisse, mille üheks osaks on põhjavee andmestik. Keskkonnaregistri pidamist korraldab K eskkonnaministeeriumi Keskkonnateabe Keskus.

Põhjaveetaseme mõõtmisandmed kantakse andmekogusse. Põhjaveeseire andmestik töödeldakse programmide Microsoft Excel ja Microsoft Access abil. Veetaseme andmed kantakse põhjavee andmekogusse meetrites maapinnast, juurde lisatakse maapinna absoluutkõrgus vaatluskaevu suudme juures.

Veetaseme seire andmete töötlemisel määratakse järgmised parameetrid:

- kuu, aasta, pikaajaline keskmine veetase;
- kuu, aasta, pikaajaline madalaim ja kõrgeim veetase;
- sesoonne, aastane, pikaajaline veetaseme kõikumise amplituud;
- kõrgeima ja madalaima veetaseme esinemise aeg;
- tehisteguritest põhjustatud veetaseme muutused.

Veevõtu andmed salvestatakse põhjavee andmebaasi veehaarete ja veekihtide, kaevandustest ärajuhitavat vett – kaevanduste ja karjääride kaupa.

Seoses Euroopa Parlamendi ja Euroopa Liidu Nõukogu Veepoliitika raamdirektiivi (2000/60/EÜ) täitmisega on muutunud aktuaalseks avalikkuse teavitamine põhjavee seisundist. Selleks et avastada võimalikke negatiivseid muutusi põhjavee seisundis, on vaja teha süstemaatilisi kokkuvõtteid saadud andmetest. eesti Geoloogiakeskus on pidevalt koostanud aastaraamatuid ja –aruandeid riikliku põhjaveeseire tulemustest, millistega on võimalik tutvuda Keskkonnaministeeriumi Keskkonnateabe Keskuse veebilehe kaudu. Käesoleva ajal on kogu põhjaveeseire andmestik koondatud ka digitaalsetesse andmebaasidesse.

3.2. Saasteainete edasiliikumise seire tulemused

Liidia Bitjukova, Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituut

Põhjavee seire on geoökoloogilise seire osa ja kujutab endast põhjavee taseme ja koostise muutuste jälgimise süsteemi. Sõltuvalt ülesannetest ja valitud objektidest eristatakse regionaalset seiret, lokaalsete objektide seiret, üksikute põhjaveekihtide seiret jne.

Põhjavee seirel saadud informatsioon on vajalik:
1) vajaliku kvantitatiivse informatsiooni saamiseks põhjavee kehade või nende gruppide keemilisest staatusest;
2) põjavee koostise muutuste pikaajalise trendi hindamiseks nii looduslike tingimuste muutumise tulemusena kui ka inimtegevuse mõjul.

Seire on vajalik selliste andmete saamiseks, mida saab kasutada alaliselt toimivate hüdrogeoloogiliste ja hüdrogeokeemiliste mudelite loomiseks.

Lokaalsete objektide seire on käesoleva projekti üks põhiülesannetest. See seire sisaldas vaatlusi olemasolevates vaatluspuuraukudes, uute puuraukude rajamist, saastavate orgaaniliste ühendite ja keemiliste elementide seiret puuraukudes, mis asuvad lokaalsete saasteallikate ümbruses.

Ida-Virumaal loetakse lokaalseteks saasteallikateks peamiselt põhilised põlevkivi töötleva tööstuse ettevõtted. Põhjavee potentsiaalse saastamise seisukohalt on kõige ohtlikumad ettevõtted, mis tegelevad põlevkivi keemilise töötlemisega (eelkõige Kiviõli Keemiatööstus Kiviõlis ja Viru Keemia Grupp Kohtla-Järvel) ja kaks maailma suurimat põlevkiviküttega Narva (Balti ja Eesti) termoelektrijaama. Teiste potentsiaalsete saasteallikate hulka kuuluvad väiksemad soojuselektrijaamad (Ahtme jt), Narva õlitehas, Sillamäe radioaktiivsete jäätmete hoidla ja teised pisemad asutused.

Käesoleva projekti raames tehakse põhjavee seiret Kiviõli Keemiatööstuse ja Viru Keemia Grupi ümbruses ja ka Balti ja Eesti elektrijaamade tööstusterritooriumil. Puuraukudest võetakse proove kolm korda aastas: kevadel põhjaveetaseme maksimaalse tõusu perioodil, suvel kui veetase on minimaalne ja sügisel kui on jälle põhjavee taseme tõus vihmade tõttu.

Projekti raames tehtud seire võimaldas varasemate uuringutega võrreldes tunduvalt laiendada määratavate komponentide hulka. See andis võimaluse kindlaks teha paljude uute orgaaniliste ainete (mida varem polnud võimalik määrata) kohaloleku ja mõõta nende sisaldust analüüsitud põhjaveeproovides. Esmakordselt määrati ka paljude mikroelementide sisaldust, sealhulgas ka inimese tervisele ohtlikute ainete sisaldust.

Projekti raames teostatakse **Kiviõli Keemiatööstus piirkonnas** Ordoviitsiumi (O), Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) ja Kambriumi-Vendi (Cm-V) põhjaveekihtide seiret. Puuraukude sügavus, mis avavad selles piirkonnas kõige sügavama veekihi, on ligikaudu 250 m ja nad on puuritud umbes 50 aastat tagasi. Selle kihi veetase on 70-71 m. Niinimetatud lahustunud (orgaanilise ja anorgaanilise substantsi, inglise keeles TDS) sisaldus lahuses on kevadest sügiseni väga stabiilne ja kõigub 425 ja 456 mg/l vahel. Ka pH tase on stabiilne: 7.5-7.9 suve- ja sügisperioodil, ja veidi väheneb suvel (7.4).

Kambriumi-Vendi (Cm-V) põhjaveekihi vesi on hea kvaliteediga. Vaid ühel juhul (puuraugus 2294) leiti PAH jälgi. Kõigis teistes puuraukudes on kõigi mõõdetud komponentide sisaldus väiksem kui määramise piirid (0.1 või 0.01 µg/l sõltuvalt määratavast komponendist), mis on tunduvalt väiksem pinnases ja põhjavees ohtlike ainete lubatud sisalduse piirnormidest (Pinnase..., 2004).

Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjavett seirati viies puuraugus, mis avasid selle veekihi 75 m sügavusel. Need augud puuriti ajavahemikus 1965-1983 a. Selle kihi veetase on 22-24 m. Lahustunud soolade sisaldus on väga stabiilne (35-401 mg/l) kõigi kolme sesooni ajal peaaegu kõigis proovitud puuraukudes. Vaid ühel juhul (puurauk 22628, puuritud 2011 aasta suvel) avastati suur TDS sisaldus (1914.5 mg/l). Selle üheks põhjuseks võib olla puurimisest möödunud ajavahemiku lühidus, mis ei olnud küllaldane põhjavee koostise stabiliseerumiseks puuraugus. Selle kasuks räägib ka TDS suur sisaldus teistes selle augu kõrval samal perioodil puuritud aukudes. PAH jälgi on leitud kevadel kahes puuraugus (2309 ja 2322). Kõigis teistes puuraukudes on kõigi mõõdetud komponentide sisaldus väiksem kui määramise piirid, mis on tunduvalt väiksem põhjavees ohtlike ainete lubatud sisalduse piirnormidest (Pinnase..., 2004).

Kõige pinnalähedasema, Ordoviitsiumi (O) põhjaveekihi veele on iseloomulikud stabiilsed, neutraalsele lähedased, kuid võrreldes allpool asuvate põhjaveekihtidega veidi madalamad pH väärtused. 2011 aasta hilissuvel puuritud aukudes ja ka puraugus 26268 on TDS väärtused tunduvalt suuremad. Need puuraugud asuvad maksimaalsel kaugusel poolkoksi puistangust uue karjääri territooriumi lähedal. Nendes puuraukudes ei avastatud saastumist orgaaniliste ainetega. Kõigi määratud orgaaniliste komponentide sisaldus oli väiksem kui määramise piirid ja tunduvalt väiksem põhjavees ohtlike ainete lubatud sisalduse piirnormidest (Pinnase..., 2004).

Viru Keemia Grupi tuhapuistangute piirkonnas seirati Ordoviitsiumi (O) ja Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjaveekihti. Selle ala vaatluspuuraugud rajati 1991 aastal ja renoveeriti 2003 aastal. Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjaveekihti avavate puuraukude sügavus on 50-60 m, Ordoviitsiumi (O) põhjaveekihti avatel aga 20-40 m.

Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjaveekihi veetase puuraukudes kõigub suurtes piirides ja sõltub sesoonist. Veetase oli kõrgem suvel, v.a. puuraukudes, mis asuvad ettevõtte territooriumil ja puistangu vahetus läheduses. O-Cm põhjaveekihi vee pH sisaldus on küllaltki stabiilne: maksimaalselt 7.9 ja minimaalselt 7.2; pH väärtuste muutus kõigi kolme sesooni vältel on tühine.

Lahustunud ainete (TDS) sisaldus (280-510 mg/l) on väga stabiilne kõigi kolme sesooni jooksul kõigis proovitud puuraukudes. Kõigi määratud orgaaniliste komponentide sisaldus Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Cm) põhjaveekihis on tunduvalt väiksem põhjavees ohtlike ainete lubatud sisalduse piirnormidest (Pinnase..., 2004). Vaid ühes puuraugus (19543) ületas sügisperioodil alküülfenooli sisaldus lubatud normi.

Oluliselt suuremat saastumist on jälgitud Ordoviitsiumi põhjaveekihi vees.Maksimaalne pH väärtus (~11) oli poolkoksi puistangu põhjaosa lähedal, teistes puuraukudes oli ta 6.7-7.2. TDS suurim tase (1200-2700 mg/l) leiti poolkoksi puistangu põhja- ja idaosa lähedal. Teistes puuraukudes oli ta 450-800 mg/l ja 1 km kaugusel puistangust 300 mg/l.

Ordoviitsiumi põhjaveekihi veele on iseloomulik orgaaniliste komponentide sisalduse suur varieeruvus sõltuvalt saasteallika kaugusest. Maksimaalne saastumine orgaaniliste ühendite

põhigruppidega (PAH, BTX ja fenoolid) avastati puuraukudes 18399 ja 19970. Nende komponentide sisaldus ületab norme sadu kordi. Kevad- ja sügisperioodil märgati saastumist puuraugus 19542, mis asub puistangust põhja pool. Selles territooriumi osas oli saastumine väiksem, kuid ikkagi ületas norme mitmekordselt.

Balti ja Eesti elektrijaamade tööstusterritooriumil oli seire ülesandeks määrata kindlaks lokaalsetest allikatest lähtuv võimalik saastumine. Uuringud näitasid, et orgaaniliste komponentide kohalolek põhjavetes muutub sesoonselt. Kevadperioodil avastati PAH kohalolek vaid Balti Elektrijaama territooriumil (normist väiksemal hulgal). Suveperioodil leiti neid ühendeid vees mõlema elektrijaama territooriumil. Seejuures Ordoviitsiumi põhjaveekihis Balti Elektrijaama territooriumil oli sisaldus väiksem normist, Eesti elektrijaama territooriumil aga mõnevõrra ületas normi. Sügisel potentsiaalselt ohtlike ühendite sisaldus põhjavees mõlema elektrijaama tööstusterritooriumil oli normi piires.

Seire sisaldas ka põhjavees mikroelementide määramist, sealhulgas tervisele ohtlike elementide nimekirja kuuluvad elemendid. Tuleb märkida, et käesolevaks ajaks on põhjavees elementide lubatud sisalduse normid kinnitatud vaid vähese hulga mikroelementide kohta. Seire tulemused näitasid, et üldiselt on mõõdetud elementide sisaldused kõigis veekihtides lubatud normide piires. Erandiks on vaid mõned elemendid (Ba, As, Se, Zn), millede tase harvadel juhtudel ületab põhjavetele kehtestatud sihtarvu.

Viidatud kirjandus

Keskkonnaministri 2. aprilli 2004. a määrus nr 12 “Pinnases ja põhjavees ohtlike ainete sisalduse piirnormid”.

4. REGIONAALNE HÜDROGEOLOOGILINE MUDEL

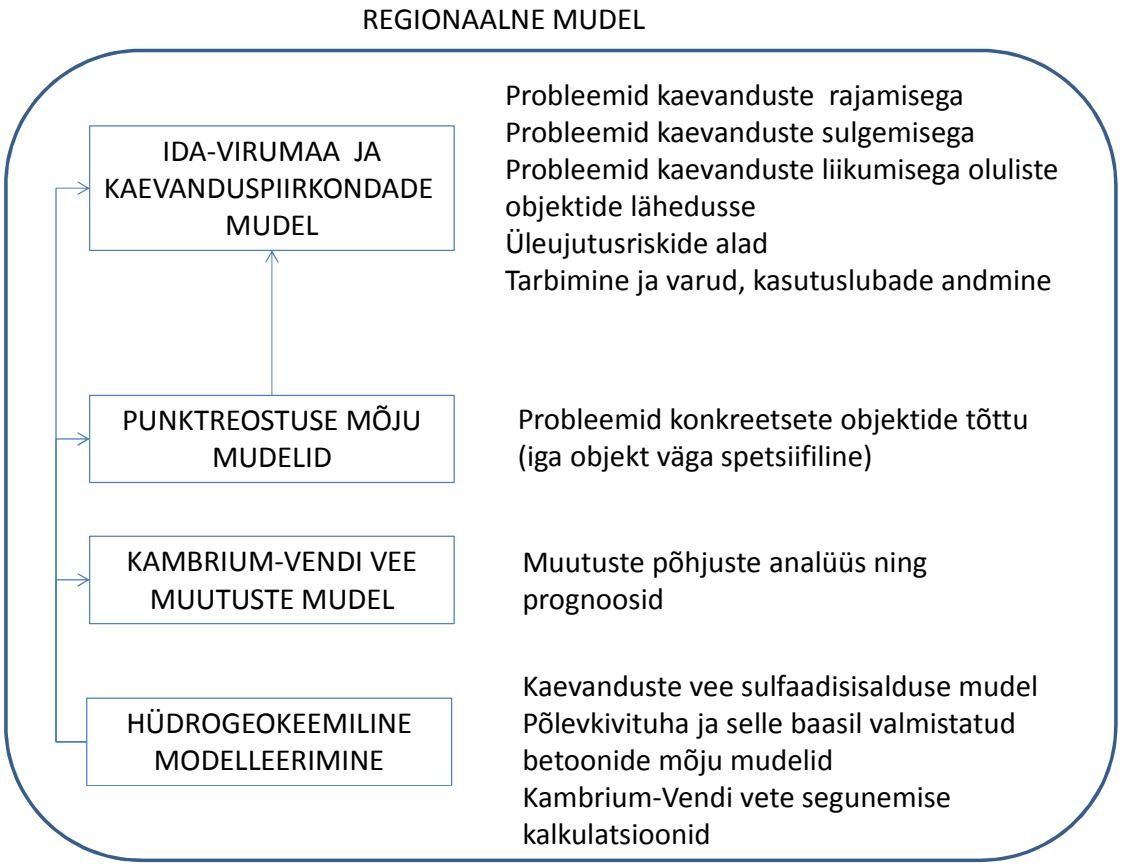
Erik Puura, Tartu Ülikool

Projekti eesmärgiks oli arendada välja regionaalne mudel, mida saab kasutada nii planeerimiseks, koolituste läbiviimiseks kui konkreetsetele probleemidele lahenduste leidmisel.

Projekti käigus selgusid järgmised asjaolud:

1) Põhjaveega seonduvad probleemid on Ida-Virumaal väga erineva mastaapsusega. Põlevkivikaevanduste poolt põhjustatud probleemistik haarab sadu ruutkilomeetreid, uute kaevanduste loomise ja vanade sulgemise käigus tekkivad muutused põhjaveetasemetes on väga palju kiiremad looduslikest muutustest. Samas punktreostusallikate mõju piirneb sageli sadade meetritega reostusobjektidest ning neis piirkondades on vajalik väga detailsed uuringud ning prognoosimine. Sellise erineva mastaapsuse sidumine ühtse tarkvaralahendusega mudelisse ei ole otstarbekas.
2) Põhjavee keemia ja selle muutuste prognoosimise sidumist hüdrogeoloogiliste mudelitega on maailmas küll katsetatud ning loodud ka vastavaid tarkvaralahendusi, samas on selliste mudelite prognoosivõime seotud väga suurte umbmäärasustega. Hüdrogeokeemilises modelleerimises on kõige olulisem süsteemist põhimõttelise arusaamise loomine ning selle põhjal tehtud kalkulatsioonide sidumine hüdrogeoloogiliste mudelitega;
3) Põhjavee modelleerimine on väga kõrget ekspertiisitaset nõudev tegevus, mis vajab paljude aastate pikkust ettevalmistust, parimad tulemused saadakse aastakümnete pikkuse töö tulemusena. Sellist ekspertiisitaset ei saa nõuda keskkonnaametnikelt. Parimaks lahendiks on süsteem, kus ekspertvõrgustikus on täpselt teada, missugustes teadus- ja arendusasutustes ning rakendusüksustes parim spetsiifiline kompetents paikneb ning seeläbi on võimalik eksperte ja teadlasi küsimuste ja probleemide korral otse kaasata;
4) Kambrium-Vendi veekihtide seire läbiviimiseks on suhteliselt vähe seirekaeve. Samas nende kihtide vee tarbimine ja selle muutus on olnud niivõrd suur, et toimuvad muutused põhjavee keemilises koostises. Sellises olukorras on modelleerimine otstarbekas kontsentreerida mitte lateraalsete skeemide loomisse, vaid konkreetsete seirekaevude ja väiksemate piirkondade ajaliste muutuste jälgimiseks, muudatuste põhjuste analüüsiks ning prognooside koostamiseks tuvastatud peamiste põhjuste ja nende toimumise kiiruse baasil;
5) Keskkonnateabe Keskuse tasandit pole samuti vajalik muuta teadus- ja arenduskeskuseks, küll võiks Keskkonnateabe Keskusel olla võimalused põhjavee seisundi kvaliteetseks 3-mõõtmeliseks visualiseerimiseks ning vastava informatsiooni edastamiseks erinevatele keskkonnavaldkonna ametkondadele.

Analüüsi tulemusena loodi regionaalse hüdrogeoloogilise mudeli alused (joonis 12).



Joonis 12. Regionaalse mudeli struktuur

Põhjavee riikliku keskkonnaseire läbiviija Eesti Geoloogiakeskuse poolt on loodud mudel kaevanduspiirkondade ja ühtlasi kogu Ida-Virumaa põhjaveetasemete prognoosimiseks ning erinevate põhjavee kasutamise stsenaariumide hindamiseks. Mudeli peamine ning Ida-Virumaa seisukohalt ühtlasi kõige olulisem kasutus on seotud just kaevandustega – vanade kaevanduste sulgemisega, uute kaevanduste planeerimise ja käivitamisega, kaevanduste liikumisega oluliste objektide (järved, Natura kaitsealad, veehaarded jne) lähedusse, samuti võimalike üleujutuste tekkega.

Punktreostuse mõju mudelid on loodud Tallinna Tehnikaülikooli geoloogia instituudi juhtimisel Leo Vallneri poolt. Punktreostuse mudelite puhul on eriti tähtis nii reostusobjektide kui alla ja ümbrusse jäävate kihtide kirjeldamine korrektsete parameetritega ning õigete piirtingimuste seadmine. Vajaduse korral on punktreostuse mudeli tulemid sisendiks Ida-Virumaa mudelisse, siiski on punktreostuse mudelite puhul põhirõhk erinevate reostusainete edasikandel ja selle prognoosimisel.

Kambrium-Vendi vee tarbimine ja selle muutus on olnud niivõrd suur, et vajalik on modelleerida muutusi põhjavee keemilises koostises. Modelleerimine Tartu Ülikooli geoloogia osakonnas kontsentreerub konkreetsete seirekaevude ja väiksemate piirkondade ajaliste muutuste jälgimiseks, muudatuste põhjuste analüüsiks ning prognooside koostamiseks.

Hüdrogeokeemiline modelleerimine Tartu Ülikooli tehnoloogiainstituudis annab omakorda olulist sisendit kõikidesse mudelitesse ning võimaldab prognoosida erinevate jäätmete baasil loodud materjalide, näiteks põlvkivituha baasil valmistatud betoonide mõju põhjaveele.

4.1. Kaevanduspiirkonna ja Ida-Virumaa mudel

Marko Häelm ja Rein Perens, Eesti Geoloogiakeskus

Eesti Geoloogiakeskus kasutab hüdrogeoloogiliste prognooside tegemiseks USA Geoloogiateenistuse poolt väljatöötatud matemaatilise modelleerimise programmi GMS v. 6.5 (Groundwater Modelling System). GMS on tänapäeval üks kõige täiuslikumalt välja arendatud laiahaardeline põhjavee modelleerimise tarkvarasid. Olles kasutatud tuhandete modelleerimisspetsialistide poolt rohkem kui 90 maal, on ta tõestanud oma efektiivsust kõige erinevamate ülesannete lahendamisel. GMS sisaldab vahendeid põhjavee seisundi modelleerimise iga faasi jaoks. Mudeli abil saab arvutada modelleerimisala põhjaveekihtkonna mistahes punkti jaoks mistahes ajamomendiks põhjavee hüdraulilise rõhu, filtratsioonivoolu suuna, kiiruse ja hulga. Mudeliga võib koostada üksikasjalikke regionaalseid ja lokaalseid veebilansse.

GMS versioonide filtratsioonimudelid põhinevad MODFLOW imitatsioonimudelil, mis omakorda tugineb teist järku osatuletisega paraboolset tüüpi diferentsiaalvõrrandi, mis kirjeldab konstantse tihedusega vee statsionaarset või mittestatsionaarset filtratsiooni poorses filtratsioonitakistuste poolest heterogeenses keskkonnas (Mc Donald, Harbaugh, 1988).

4.1.1. Mudeli ehitus

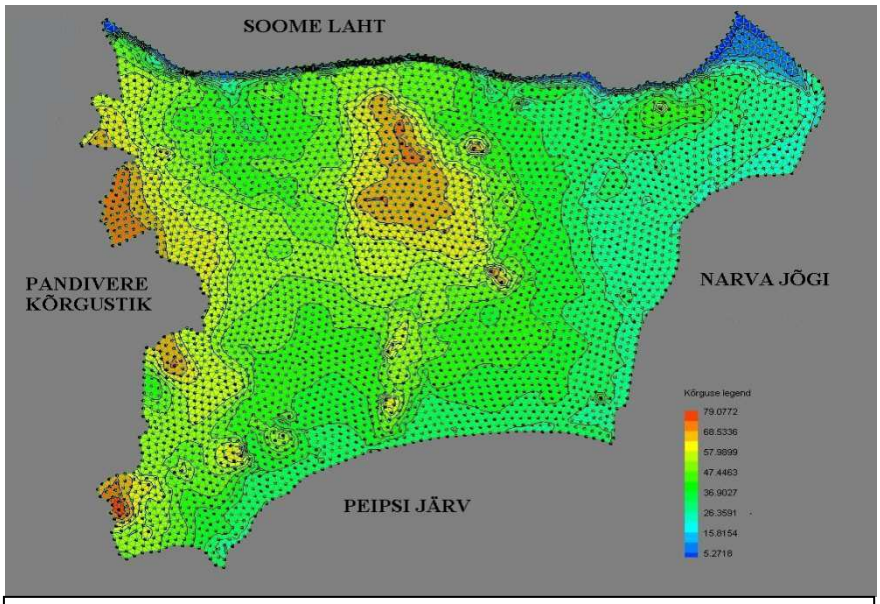
Käesolev mudel on ülesehitatud puurkaevude põhjal, mis ulatuvad Lasnamäe lademest Pakerordi lademeni. Madalamate kaevude lisamine mudeli täpsuse tõstmiseks poleks olnud kasulik liigse info tõttu, millega mudeli tarkvara GMS 6.5 oleks pidanud arvestama.

Mudeli põhjapiir ühtib Põhja-Eesti klindiga, lõunapiir Peipsi järvega, kus on valitud veetasemeks 30 m. üle merepinna. Läänest piirab käsitletavat ala Pandivere kõrgustik ja idast Narva jõgi. Mudeli pindala on 3376,15 km². Geomeetrilise mudeli loomisel on kasutatud 578 puuraugu andmeid ehk puuraukude võrgustiku tiheduseks on keskmiselt 0,17 puurauku ruutkilomeetril. Mudelikihid reprodutseerivad kõiki modelleerimisalal esinevaid regionaalse levikuga veekihte. Mudel on kihiline ja haarab hüdrogeoloogilise läbilõike kõiki veekihte ja veepidemeid, mis on seotud või mõjutatud põlevkivi kaevandamisest.

1. Kvaternaari veekompleks – Q;
2. Sporaadiliselt vett andev Narva veekiht – D_2nr;
3. Nabala–Rakvere veekiht – O_3nb–rk;
4. Oandu veepide – O_3on;
5. Keila–Kukruse veekiht – O_3kl–kk;
6. Uhaku veepide – O_2uh;
7. Lasnamäe–Kunda veekiht – O_2ls–kn
8. Alam-Ordoviitsiumi veepide – O_1vl–pk;
9. Ordoviitsiumi–Kambriumi veekiht – O–Cm.

Puurkaevude paigutamiseks oli vaja luua pinnareljeefi mudel, mis määrab puurkaevude kõrguse merepinnast. Pinnareljeefi moodustumiseks vaja läinud punktid saadi puurkaevude kõrguste järgi. Saadud andmed paigutati mudelisse punktidena kahe mõõtmelisele pinnale.

Et tekitada ühtlane kõrguse üleminek ühelt punktilt teisele oli vaja luua Ida-Virumaast TIN (Triangular Irregular Network) võrgustik, mille pinnal sai kõrgus andmed seotud TIN võrguga ja interpoleeritud kasutades lähima naabri (Natural neighbour) meetodit. Kuigi GMS 6.5 pakub nelja erinevat interpoleerimise meetodit siis leidus, et kõige õigema tulemuse sai just kasutades eelnimetatud meetodit. Interpoleerimise tulemusena sündis kolmemõõtmeline kujutis pinnareljeefist, mille kahemõõtmelist kujutist on näha joonisel 13.



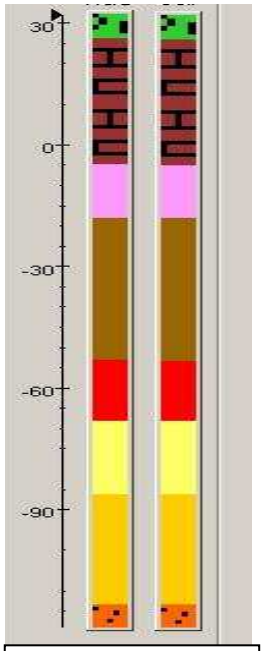
Joonis 13. Puurkaevude kõrguste järgi moodustatud pinnareljeef.

Et alustada kihtide modelleerimist oli vaja sisestada puurkaevude andmed kihtide kaupa, moodustades nii visuaalseid puurkaeve nagu kõrvalolevalt jooniselt 14 näha.

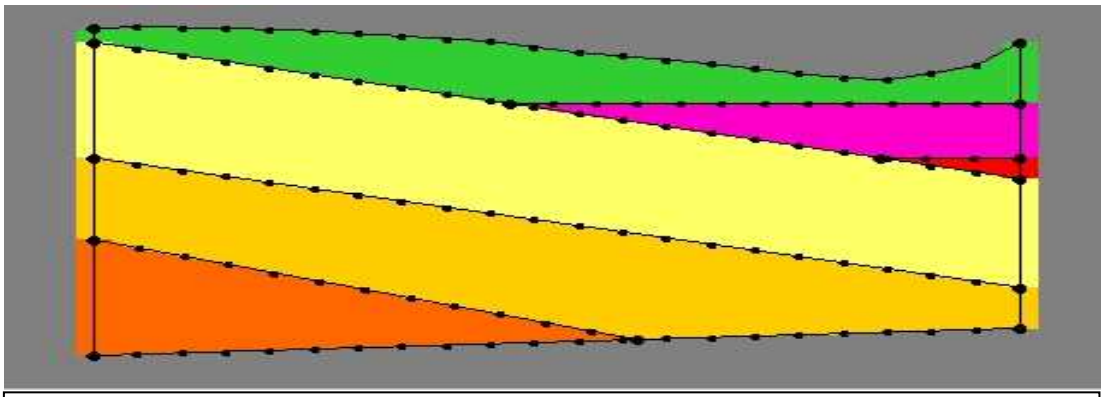
Kogu mudel koosneb 578 –st puurkaevust, mis valiti välja eelpool mainitud kriteeriumite alusel. Nimetatud kaevude seas on ka 71 virtuaalset puurkaevu, mis võimaldasid rajada Vasavere mattunud ürgoru ning määratleda lademe avamuse piirid. Virtuaalsed kaevud on paigutatud peale esmast pinna moodustamist, andes sellega võimalikult lähedase tulemuse reaalsele maapõue ülesehitusele. Kontroll näitas, et mudeli poolt loodud horisondid võivad eksida 2 m piires, mis on üldiselt tühine viga.

Puurkaevude vahele loodud seoste võrgustik võimaldas luua ühtlased üleminekud erinevatele puurkaevudele.

Nii nagu pinna reljeef paigutas puurkaevud õigetele kõrgustele, mõjutas reljeefi mudel ka puurkaevude üleminekute pindasid (joonis 15). Kui kahe puurkaevu läbilõigetes esines erinevusi lademete olemasolu osas, siis mudel katkestas lademe nagu joonis 15 ka näitab.

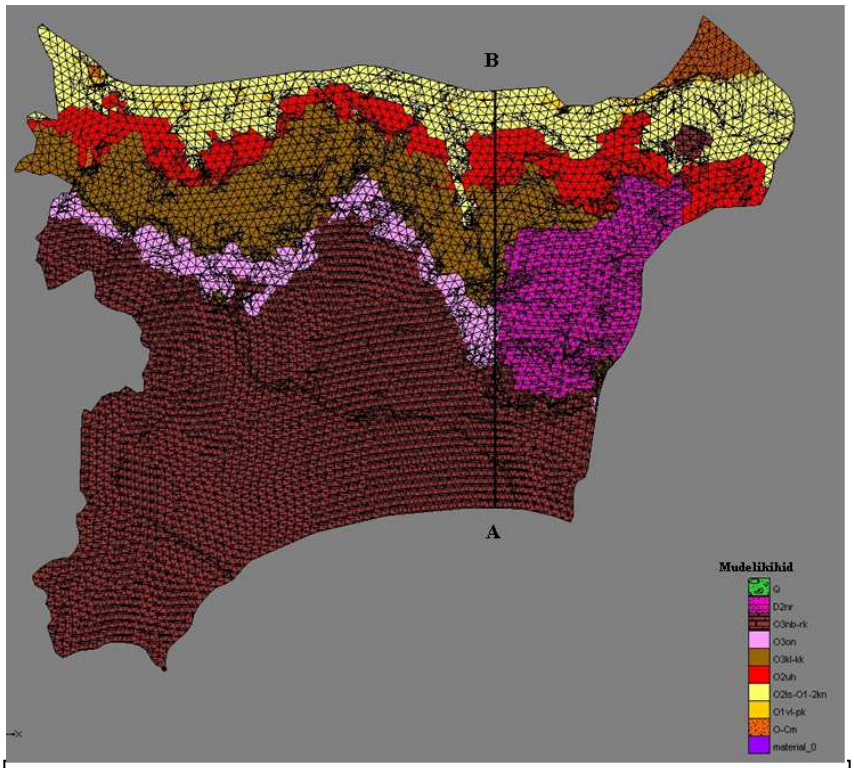


Joonis 14. Mudelis kasutatud visualiseeritud puurkaev



Joonis 15. Näidis kahte puurkaevu ühendava seose kohta.

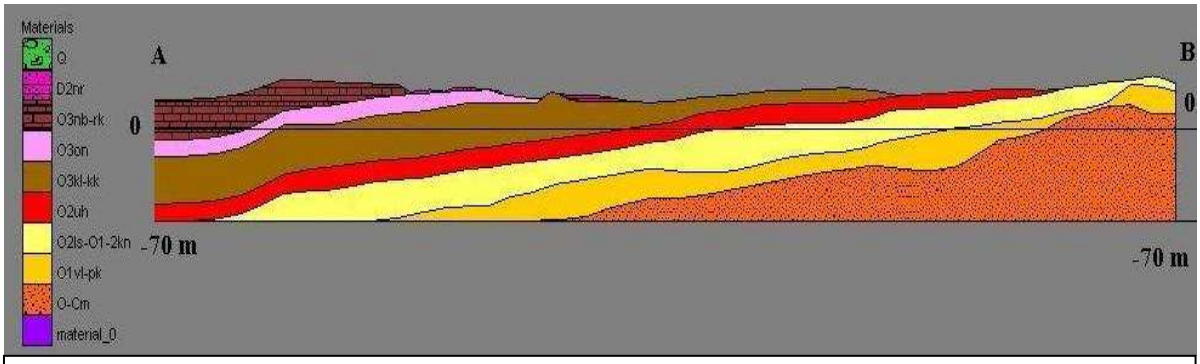
Ühtlase pinna moodustamiseks kasutatakse GMS 6.5 programmi “Solid” moodulit. Selle abil on võimalik luua kolmemõõtmeline stratigraafiline mudel. Ühtlase pinna loomine tekitab võimaluse luua läbilõikeid mistahes ulatuses ja suunas. Samuti on tekkinud stratigraafiline mudel aluseks “Modflow” moodulile, määrates ära lademete kõrgused arvulise mudeli jaoks. Selle mudeli pinna rajamisel rakendati meetodit, kus kasutati puurkaevude läbilõikeid ja puurkaeve ühendavaid ühenduste interpolatsiooni. Sellegi etapi juures kasutati lähima naabri meetodit, mis sellelgi korral osutus kõige tõepärasemaks meetodiks.



Joonis 16. Ida-Virumaa hüdrogeoloogilise mudeli Solid pind pealt vaates.

Moodustunud pind (joonis 16) ühildub geoloogilistel kaartidel infoga suuremal määral. Mudeli TIN iseärasuste tõttu ei saa üks-ühele kujutist luua. Mudelis kasutatud kolmnurgad on kohati liiga suured, rajamaks mudelisse peenemaid struktuure (väiksemaid ürgorge).

Nagu eelpool mainitud saab kasutada valmis pinda läbilõigete tegemiseks. Loodavad läbilõiked pakuvad võimalust ka kontrollida üldist mudeli õigsust järgides kihtide pidevuse printsiipi. Ülemine pind on määratletud, nagu eelpool juba mainitud, puurkaevude kõrgustega. Joonisel 17 olev stratigraafiline läbilõige näitab mudelit, mille põhja ulatus on 70 m merepinnast.



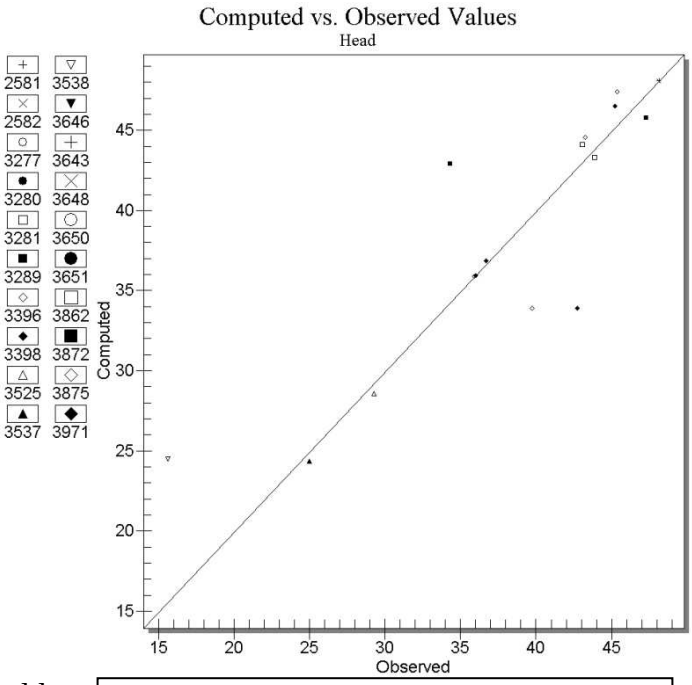
Joonis 17. Stratigraafiline läbilõige mudelist.

Mudelit on kontrollitud ja korrigeeritud põhjaveeseire vaatluskaevude andmete põhjal. Mudel on kihiline ja haarab hüdrogeoloogilise läbilõike kõiki veekihte ja veepidemeid, mis on seotud või mõjutatud põlevkivi kaevandamisest.

Mudeli "Solid" moodul võimaldab tekitatud pinda muuta kolmemõõtmeliseks ruudustikuks, mis on vajalik „Modflow" mooduli jooksutamiseks. Modelleerimisruudustiku mõõtmed on 500 × 500 m. Pind on jagatud 359-ks neljanurkseks kolmemõõtmeliseks võrguks. Mudel koosneb 9-st kihist, mis kujutab endast erinevaid veepidemeid ja veekihte. Pealmise 0 – 77 m (kiht 1) moodustab Kvaternaari setted. Järgmine mudelikiht koosneb Narva regionaalsest veepidemest (D_2Nr). Järgmised 5 kihti (kihid 3 – 7) koosneb lõhelisest lubjakividest ning viimased 2 kihti moodustavad vähem lõhestunud settekivimeid.

Kaevandused ja piiritingimused rakendati mudelisse, kui püsivate veetasemetega alad. Jõhvi vaatlusjaama andmete põhjal infiltreerus pinnasesse 67,5 mm sademeid aasta jooksul. Mudelisse on lisatud ka 3 olulisemat jõge (Purtse, Pühajõgi ja Rannapungerja) kasutades GMS-i jõe modelleerimise rakendust.

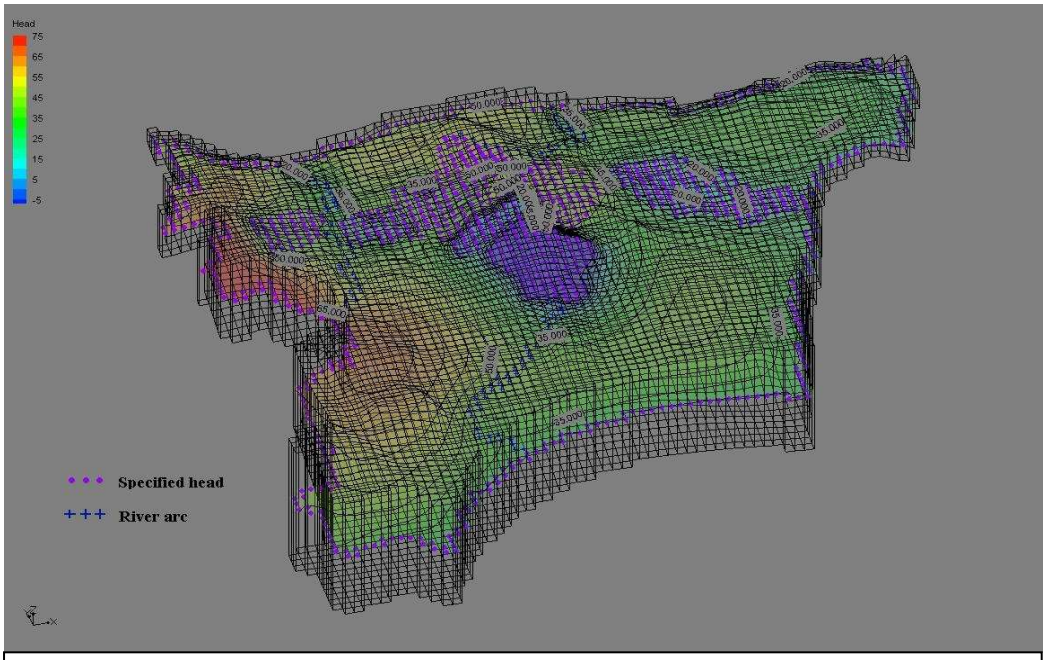
4.1.2. Mudeli kalibreerimine



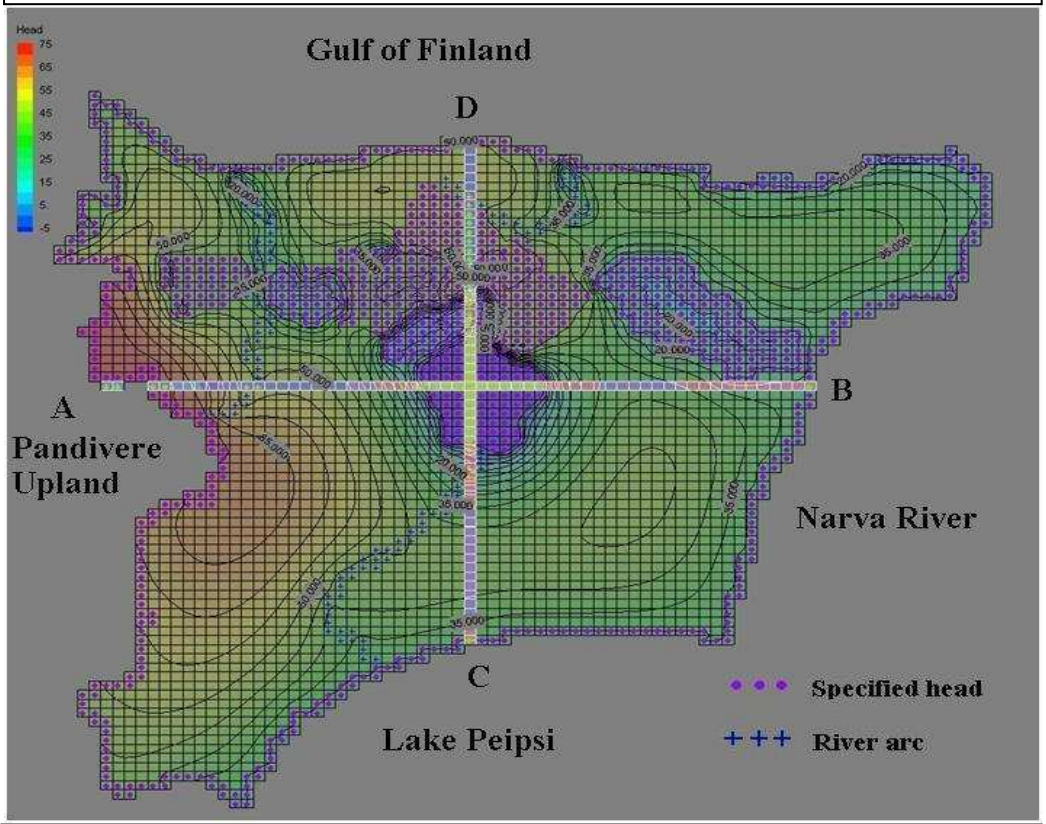
Joonis 18. Modelleeritud ja mõõdetud veetasemete vaheline vastavus 20 seirekaevu põhjal.

Regionaalne mudel kalibreeriti läbi mitmete mudeli katsete, mille tulemused võrreldi reaalselt eksisteeriva tulemusega. Eelnevalt mudeli jooksutamisele sisestati mudelisse hüdrogeoloogilised andmed, mis võimaldavad mudelil töötada. Tähtsamateks parameetriteks oli poorsus, infiltatsiooni koefitsendid nii vertikaalsel kui ka horisontaalsel tasandil ning samuti ka piiritingimused. Selleks et võrrelda modelleeritud tulemusi reaalsusega sai kasutatud 78 -st vaatlus kaevust 20 -nd. mis paiknevad kaevanduspiirkonna vahetus läheduses. Selleks et täpselt määratleda kui suur on veejuhtivus regiooniti sai kasutatud auto kalibreerimis moodulit „PEST", mis võimaldas kasutada hajutatud punkte kui võimalike informatsiooni allikatena ja nende abil

interpoleerida sobilik filtratsioonikoefitsient, selleks et vaatlus andmed kattuks modelleeritud andmetega. Saadud tulemused võimaldasid määratleda õiged parameetrid ruumis ja saavutada võimalikult lähedane tulemus praegusele olukorrale nagu jooniselt 18 näha. Modelleeritud veetasemed (joonised 19 ja 20) vastavad praegustele veetasemetele, mis kinnitab samuti mudeli edukust keskkonna imiteerimisel.



Joonis 19. Modelleeritud veetasemed koos piiritingimustega.



Joonis 20. Modelleeritud veetasemed koos piiritingimustega.

4.2. Punktreostuse mõju mudelid

Leo Vallner, Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituut

4.2.1. Üldised andmed

Ida-Virumaal on vähemalt 45 suuremat puistangut, kuhu on ladestatud põlevkivirikastuse jäägid, soojuselektrijaamade põlevkivituhk ja põlevkivi utmisel tekkinud poolkoks (Sørlie et al. 2004). Puistangute pindala on mõni hektar kuni 5 km^2 (Eesti Elektrijaam), suhteline kõrgus 120 m (Kiviõli) ja kogumaht kuni 44 miljonit m^3 (Eesti Elektijaam). Poolkoks ja selle kaasprodukt püdel pigi (fuss) sisaldavad keskkonnaohtlikke aromaatseid süsivesinikke, sh BTX-ühendeid ja fenoole. Põlevkivirikastuse jääkide puistangutes esinevad sageli spontaansed utmisprotsessid, mille tõttu tekivad mitmesugused õlid jt elusolenditele kahjulikud ained. Tuhapuistangutes aromaatseid süsivesinikke enamasti pole, sest need põlevad ära elektrijaamade kateldes, kuid värske tuhk on väga leeliseline.

Ligikaudu $^2/_3$ kogunenud vihma- ja lumesulaveest voolab puistangute pinda mööda ümbruskonna kraavidesse ning ojadesse. See vesi uhab puistangutest välja keskkonnaohtlikke ühendeid ja reostab nendega pinnaveekogusid. Ülejäänud osa sademete veest imbub puistangute sisse ja raskusjõu toimel allpoole nõrgudes ning puistangute materjali leostades reostub ise väga tugevasti. Kuna möödunud sajandil rajati puistangud eelnevalt isoleerimata maapinnale, siis tungib reostunud vesi põhjaveekihtidesse ja hakkab seal levima. Seega võib puistanguid käsitleda põhjavee punktreostusallikatena.

Põhjavesi liigub hüdraulilise rõhu alanemise suunas – kõrgema veetasemega punktist madalama taseme poole. Teatud osa põhjavees lahustunud reostusainetest lihtsalt hajub (dispergeerub) maapõues ja osa liitub (sorbeerub) kivimitega, kusjuures orgaanilised ühendid võivad järk-järgult ka iseenesest laguneda (biodegradeeruda). Nende protsesside tõttu põhjavee reostusainete kontsentratsioon tavaliselt väheneb aja jooksul ja ka reostusallikast eemaldumise suunas kuni reostuse täieliku kadumiseni. Käesoleva uuringu eesmärgiks on selgitada, milline on praegune põhjavee reostatus põlevkivitööstuse puistangute piirkonnas ja kuidas see võib levida kuni aastani 2110.

Põhimõtteliselt saaks põhjavee kaasaegset reostatust tuvastada piisava hulga ja vajaliku sügavusega seirekaevudega, kuid Ida-Virumaal pole see võimalik. Näiteks ei ole seal ühtki aluspõhjakivimitesse ulatuvat seirekaevu rajatud puistangute keskossa, mistõttu puuduvad vaatlusandmed põhjavee potentsiaalselt suurima reostatuse kohta puistangute all. Seirekaevude vähesuse tõttu ei saa kindlalt määrata reostatud põhjavee leviku välispiiri puistangute ümber. Ainuüksi seireandmetele tuginedes pole võimalik prognoosida reostatuse levikut tulevikus.

Püstitatud probleemidele võib anda usaldusväärse vastuse puistangupiirkondade hüdrogeoloogiline modelleerimine. See tugineb matemaatilisest füüsikast pärinevatele ja põhjavee liikumist ning kvaliteedi kujunemist vähemalt kahemõõtmelises ruumis kirjeldavatele diferentsiaalvõrranditele. Nende numbriliseks lahendamiseks on loodud rida tarkvarapakette, mis sisaldavad ka vajalikke protsessoreid andmete sisestamiseks ja väljastamiseks.

Reostuse leviku uurimiseks on tarvis kõigepealt luua põhjavee liikumise mudel, millega määratakse põhjavee hüdraulilise rõhu jaotumus käsitletavas piirkonnas. Alles selle alusel

saab põhjavee transpordi mudeliga arvutada uuritava reostusaine kontsentratsiooni ruumilist jaotumust sõltuvana maapõuekihtide läbilaskvusest, sorptsioonivõimest, reostusaine degradatsioonikarakteristikutest jt teguritest.

Mingi piirkonna põhjavee seisundi konkreetseks modelleerimiseks tuleb arvutisse installeeritud modelleerimistarkvara paketti sisestada arvutuste lähteandmestik. See antakse uurimisalal eristatud kõikide põhjaveekihtide jaoks kokkuleppeliste intervallide kaupa (näiteks plaanis iga 200 m järel). Sisestada on tarvis kihipindade kõrgus, põhjavee rõhk (vaba- või survepinna kõrgus), põhjavee ingredientide kontsentratsioon, kihtide filtratsioonikoefitsient, veeand, elastne mahtuvus, poorsus, mahukaal, dispersiooni- ning diffusioonikoefitsient, põhjavee sademetest toitumise netohulk, põhjavee ja pinnaveejuhtmete vahelise hüdraulilise seostatuse aste jt parameetrid. Pärast andmesisestust on uurimispiirkonna põhjavee mudelid realiseeritud (valmis) ja nendega peaks saama arvutada põhjavee rõhu, liikumissuuna ja –hulga ning käsitletava veeingrediendi kontsentratsiooni uurimispiirkonna mistahes punkti jaoks mistahes ajamomendiks. On võimalik koostada kogu uurimisala või mistahes selle osa detailseid vee- ja ainebilansse.

Loodud mudelite usaldusväärsus sõltub eeskätt lähteandmete adekvaatsusest. Kuna küllalt täpseid lähteandmeid pole kunagi piisaval hulgal, siis nende õige interpretatatsiooni ja rakendamise tagab vaid modelleerija asjatundlikkus. Mudelite adekvaatsust hinnatakse mõõdetud (vaadeldud) ja arvutatud (modelleeritud) suuruste kokkulangevuse määraga. Kui vastavate väärtuspaaride korrelatsioonikoefitsient on suurem kui 0.9, siis peetakse mudeleid üldiselt representatiivseteks.

Ida-Virumaa põlevkivitööstusega seotud tüüpilisteks punktreostuse allikateks on Kohtla-Järve poolkoksi- ja tuhapuistang, Kiviõli poolkoksipuistang ja Narva lähedal asuva Balti Elektrijaama tuhapuistang. Nende keskkonnaohtlikkuse hindamiseks koostati puistangupiirkondade hüdrogeoloogilised digitaalmudelid. Seejuures kasutati modelleerimistarkvarana Kanada firma Schlumberger tarkvarapaketti Visual MODFLOW 2010.1.

Enamik lähteandmestikust saadi Eesti Geoloogiakeskuse, Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi ja AS Maves töödest, kusjuures nende interpreteerimisel tugineti varasematele Kirde-Eesti põhjavee modelleeringutele (Sørlie et al. 2004; Vallner 2003, 2002, 1996).

Uuritud puistangupiirkondade vertikaalne hüdrogeoloogiline läbilõige on üsna sarnane, koosnedes ülalt alla järgmistest kihtidest:

1. Puistematerjal (Q_t) paksusega kuni 120 m. Koosneb kas poolkoksist koos fussiläätsedega või põlevkivituhast. Poolkoksi peamisteks mineraalseteks komponentideks on kaltsiit, illiit, ettringiit, kvarts ja dolomiit; orgaanilise aine sisaldus on kuni 16%. Põlevkivituhk sisaldab palju leeliselist kaltsiumoksiidi (kustutamata lupja), mille neutraliseerimiseks kulub väga palju vett. Puistangute alumine osa on küllastunud tugevasti reostunud vabapindse veega.

2. Kvaternaari setted (Q) paksusega 0,5—30 m. Koosnevad alumises osas peamiselt moreenist, pealpool võivad lasuda liiva, saviliiva või turba kihid. Moodustavad ülemise vabapinnalise põhjaveekihi.

3. Ordoviitsiumi veeladestik (O), mis koosneb paest koos savikate vahekihtidega; kogupaksus 10—50 m. Paas on kohati tugevasti karstunud ja seda läbivad mitmesugused lõhesüsteemid. Seepärast on Ordoviitsiumi veeladestik suhteliselt suure läbilaskvusega ja võib maapinnal asuvate reostusallikate toimel kergesti reostuda. Ülalt esimeste savikate vahekihtide peal levib vabapindne vesi, nende all on põhjavesi surveline.

4. Alam-Ordoviitsiumi regionaalne veepide (O_1). Koosneb paest, merglitest, savidest ja savikiltadest, mille paksus on 2—10 m. Vähese läbilaskvuse tõttu takistab põhjavee liikumist vertikaalsuunas.

5. Ordoviitsiumi-Kambriumi veeladestik (O-Cm). Koosneb aleuriidi vahekihte sisaldavatest liivakividest kogupaksusega kuni 20 m. Vesi on surveline. See veeladestik on Ida-Virumaal oluline ühisveevarustuse allikas.

6. Lükati-Lontova regionaalne veepide (Lk-Ln) on enamasti väga suureks takituseks põhjavee vertikaalsele liikumisele. Selle veepideme ülemist pinda peetakse puistangupiirkondade hüdrogeoloogiliste mudelite alumiseks absoluutselt vettpidavaks piiriks.

4.2.2. Kohtla-Järve mude.

Ristkülikulise modelleerimispiirkonna keskmes on Kohtla-Järve poolkoksi ja põlevkivituha puistang (joonis 21). Mudel hõlmab kõiki ülal loetletud kihte kuni Lk-Ln veepidemeni. Ala mõõtmed plaanis on 5,25 km × 5.0 km. Mudeli digitaliseerimiseks kaeti uurimispiirkond imaginaarse ruutvõrguga, mille elementide küljepikkus on 125 m.

Põhjavee voolu mudeliga tehtud arvutused näitavad, et puistangu keskosas on põhjavee vabapind 80—90 m sügavusel puistangu tipust, ulatudes absoluutkõrguseni 75 m. See määrab põhjavee suurima potentsiaalse energia modelleerimisalal, millest sõltuvad puistangust lähtuvate veevoogude suunad, ulatused ja kiirused. Ilma modelleerimiseta poleks saanud seda tuvastada, sest puistangu keskosas põhjavee seirepuurauke pole.

Reostunud vesi liigub puistangu keskosast radiaalselt puistangut ümbritseva tasandiku poole. Seal kohtub reostunud vesi üldiselt lääne poole voolava põhjaveega, seguneb sellega ja hakkab samuti lääne poole liikuma. Puistangu keskossa kogunenud vee suhteliselt suure rõhu tõttu liigub osa segunemisel reostunud veest ülevalt allapoole läbi O veeladestiku ja O^p veepideme ja tungib O-Cm veeladestikku. Seal voolab vesi puistangu kujutletava kontuuri keskosast ala äärte poole.

Põhjavee reostumise iseloomustamiseks uuriti modelleerimisega esmalt põhjavee mineraalsuse ruumilist jaotumist. Mineraalsus väljendab põhjavees lahustunud mineraalainete kontsentratsiooni, mille dimensiooniks on mg/L. Põhjavesi sisaldab alati teatava hulga lahustunud mineraalaineid ja nende looduslik kontsentratsioon modelleerimispiirkonnas pidi olema keskmiselt 350 mg/L. Kuna uurimisala on pika aja kestel allunud intensiivsele tööstuslikule hajureostusele, siis seati siin keskmiseks põhjavee mineraalsuseks 500 mg/L. Puistangult lähtuva reostunud vee mineraalsus on tunduvalt suurem, moodustades 1000—6000 mg/L ja isegi enam. Mineraalsust võib käsitleda kui trasserit, mille järgi võib hinnata konservatiivsete (aja jooksul mitte degradeeruvate ja kivimiga mitte reageerivate) reostusainete levikut. Mineraalsust ei limiteerita otseselt joogivee normidega, kuid üldiselt peetakse selle 1000 mg/l ületavat kontsentratsiooni joogivee jaoks ebasoovitavaks.

Transpordimudeli andmete järgi on käesoleval ajal põhjavee mineraalsus O veeladestikus puistangu põhjaosa all 1500—4000 mg/L (joonis 22). Samasugune mineraalsus esineb ka puistangust lääne poole jäävate settebasseinide all. Mineraalsus on kuni 1500 mg/L ka mõnedel väiksematel aladel puistangust põhja, kirde ja edela pool. Puistangu lõunapoolse osa all jääb mineraalsus O veeladestikus vahemikku 800—1500 mg/L. On tähelepanuväärne, et puistangu piirist väljapoole ulatub 500 mg/L ületav mineraalsus O veeladestikus kõikides suundades üldiselt kuni 300—400 m kaugusele. Puistangust ida pool on see selgitatav reostunud veele vastu tuleva läänesuunalise põhjaveevoolu lahjendava toimega. Teistel puistangu külgedel on tegemist reostunud vee hüdrodünaamilisest dispersioonist tingitud hajumisega kivimipoorides, mille tõttu lahuse kontsentratsioon väheneb.

Allapoole liikuva vee mineraalsus väheneb samuti dispersiooni tõttu. Käesoleval ajal on see puistangu all O veeladestiku ülemises osas enamasti rohkem kui 3000 mg/L, kuid alumises osas vaid 800 mg/L. O-Cm veeladestikus väheneb mineraalsus ülalt alla vahemikus 600—510 mg/L, kuid settebasseinide all valdavalt vahemikus 1000—800 mg/L.

Kui puistangust välja voolava vee mineraalsus ei muutu, siis üle 500 mg/L mineraalsusega põhjavee areaal horisontaalsuunas aastaks 2060 oluliselt ei laiene. Küll aga kasvab mineraalsus allapoole, ulatudes O-Cm veeladestikus puistangu all kuni kontsentratsioonini 800 mg/L. Reostusallika senise intesiivsuse jätkudes on mineraalsus O-Cm veeladestikus 2110 aastal kuni 3000 mg/L.

Loodud mudelite adekvaatsust kinnitavad nende kalibreerimise tulemused (joonis 23). Veeproovide keemiliste analüüsidega määratud ja modelleeritud mineraalsuse korrelatsioonikoefitsient on 0,95 ja standardhälve seirekaevude jaoks modelleeritud väärtustest 93 mg/L.

Põhjavett reostavad otseselt puistangumaterjalist leostuvad fenoolid. Vastavalt kehtivatele normidele on nende künnisarv põhjavees 0,001 mg/L ja piirarv 0,1 mg/l (Ohtlike ainete...2010). Modelleerimistehnoloogia seisukohalt on fenoolid sorbeeruvad ja biodegradatsioonile alluvad ühendid. Nende leviku modelleerimiseks oleks tarvis teada mitmeid spetsiifilisi parameetreid, sh sorbtsioonikoefitsiente ja biodegradatsiooni poolestusaega, kuid neid pole Eestis eksperimentaalselt määratud. Seepärast tuli fenoolide leviku uurimiseks Kohtla-Järve piirkonnas kasutada nn inversioonikalibreerimist, mille puhul mudeli vajalikke, kuid tegelikult tundmatuid sisestusparameetreid varieeriti niikaua, kuni fenoolide modelleeritud ja mõõdetud kontsentratsioonide korrelatsioonikoefitsiendiks saadi 0,997.

Põhjavee kaasaegne fenoolireostus, mida iseloomustab selle 0,001 mg/L ületav kontsentratsioon, levib O veeladestikus puistangust ida pool praktiliselt sama kaugele kui selgelt suurenenud mineraalsuski (joonis 24). Lääne pool puistangut on fenoolireostus liikunud 700—800 m võrra kaugemale kui mineraalsuse kasvu markeeriv isojoon. Fenoolide kontsentratsioon muutub O veeladestikus puistangu all enamasti vahemikus 1,0—2,0 mg/L, kuid puistangut lääne poolt piiravate pinnaveejuhtmete ja settebasseinide all ületab 3000 mg/L. Kaasaegne fenoolide kontsentratsioon O-Cm veeladestikus puistangu all on valdavalt 1,0 mg/L, ent settebasseinide all kohati kuni 3000 mg/L ja isegi enam. Kui reostusallika intensiivsus järgneva 50—100 aasta jooksul ei muutu, siis fenoolidega reostunud põhjavee piirkond horisontaalsuunas praktiliselt ei laiene, küll aga suureneb fenoolide kontsentratsioon kõikides kihtides. Settebasseinide all O-Cm veeladestikus on see 2110. aastal kuni 16 mg/L.

4.2.3. Kiviõli mudel

Uuritava piirkonna hüdrogeoloogiline läbilõige on samasugune kui Kohtla-Järvel. Ala mõõdud plaanis on 3,5 km × 5,0 km, selle keskel asub kaks poolkoksi puistangut suhtelise kõrgusega kuni 80 m (joonis 25). Neid ümbritsevad Koljala jõkke suubuvad kraavid. Ala lõunapiirile jääb suletud ja uputatud põlevkivikaevandus. Takistamaks reostunud kaevandusvee laialivalgumist, hoitakse selle taset absoluutsel kõrgusel 40 m, mis jääb allapoole puistangut ümbritsevate kraavide veetasemest. Seetõttu voolab põhjavesi O veeladestiku alumises osas valdavalt kaevanduse poole.

Vastavalt modelleerimisarvutustele on põhjavee vabapinna absoluutkõrgus puistangute keskosas, kus seirekaeve pole, kuni 55 m. Puistangutesse infiltreerunud sademete vesi nõrgub nendes radiaalsetes suundades ümbritseva tasandiku poole, leostades poolkoksist välja keskkonnaohtlikke ühendeid, sh fenoole. Looduslikesse kihtidesse tunginuna hakkab reostunud vesi O veeladestikus liikuma lõuna poole suletud kaevanduse suunas kiirusega kuni 150 m aastas. Seepärast ei jõua reostunud põhjaveevoolu ülemised harud puistangutest lääne, põhja ja ida pool kaugemale kui 700—800 m.

Puistangutest tuleb tugevasti reostunud vett O veeladestikku kokku ligikaudu 1800 m^3 päevas, mis moodustab 15% selle veeladestiku kogutoitumisest. Käesoleval ajal tungib vett umbes 800 m^3 päevas O paekihtidest allpool asuvasse O-Cm veeladestikku, kus hüdrauliline rõhk on mõne meetri võrra väiksem. Allapoole liikuva vee kiirus O_1 regionaalses veepidemes on 0,5 m aastas. Seega kulub O veeladestikus sisalduvatel konservatiivsetel reostusainetel vähemalt 10 aastat O-Cm veeladestikku tungimiseks.

Kiviõli mudeli piirkonnas on vaid 7 aluspõhja kihtidesse rajatud põhjavee seirekaevu. Nende vett on analüüsitud vaid üks kord 2003. aastal, kusjuures mineraalsust otseselt ei määratud, mõõdeti vaid elektrijuhtivust. Seepärast tuli käesoleva töö jaoks põhjavee mineraalsus arvutada elektrijuhtivusest lähtuvalt empiiriliste sõltuvuste alusel. Siiski loodi ka Kiviõli piirkonna jaoks põhjavee konservatiivse transpordi mudel, mille arvutatud väljundid on heas kooskõlas nappide analüüsiandmetega. Piirkonna põhjavee algmineraalsuseks seati 500 mg/L. Modelleerimine näitab, et O veeladestikus on mineraalsus käesoleval ajal enamasti vahemikus 1000—12000 mg/L, mis osutab kohatisele suuremale reostunud vee juurdevoolule, võrreldes Kohtla-Järve piirkonnaga. Algväärtusest suurem mineraalsus levib puistangutest lääne, põhja ja ida suunas kuni 200—300 m kaugusele, kuid lõuna poole kuni 1 km kaugusele. Mineraalsus väheneb pidevalt ülalt allapoole. moodustades O-Cm veeladestikus praegu vaid kuni 1500 mg/L.

Konservatiivse transpordi mudeli abil tehtud prognoosarvutuste järgi suureneb põhjavee mineraalsus järgneva 50—100 aasta kestel 30—40% võrra tingimusel, et reostusallika intensiivsus aja jooksul ei muutu. Suurenenud mineraalsuse areaal horisontaalsuunas praktiliselt ei laiene.

Kiviõli piirkonna fenoolide transpordi mudel demonstreerib nende kaasaegset kontsentratsiooni vahemikus 0,001—0.020 mg/L, mis levib O veeladestikus samal alal nagu kõrgenenud mineraalsuski. Vastupidi Kohtla-Järve mudelile, fenoolid pole käesolevaks ajaks tunginud O-Cm veeladestikku. Selle põhjuseks võib olla siinsete kivimite suhteliselt suurem suurem sorbtsioonivõime ja ka valdavalt esinevate fenoolierimite lühem poolestusaeg. Muutumatu intensiivsusega fenoolireostuse allika puhul fenoolide kontsentratsioon tõuseb O

veeladestikus järgmise 50—100 aasta jooksul kuni 30% võrra, kusjuures fenoolid võivad tungida ka O-Cm veeladestikku.

4.2.4. Narva mudel

Modelleerimisala mõõtmetega 7,0 km × 7,0 km asub Narvast lõuna pool. Selle keskmes on Balti Elektrijaama platootaoline põlevkivituha puistang, mille pealispind jääb enamasti absoluutkõrguste 40—70 m vahemikku. Puistangu peal on ulatuslik settebasseinide süsteem, kuhu elektrijaamast pumbatakse veega segatud tuhka. Puistangut ümbritseb vahetu drenaažikraavide ja –kanalite võrk ning lõuna poolt kaks ulatuslikku settebasseini (Roheline järv), kus veepind on ainult veidi kõrgemal kui Narva veehoidlas. Piirkonna hüdrogeoloogiline läbilõige on samalaadne kui ülalkirjeldatud modelleerimisalade puhul.

Puistangule pumbatav vee ja tuha suspensioon praktiliselt ei sisalda orgaanilisi ühendeid, suhteliselt suure lahjendatuse tõttu on selle mineraalsus väike ja reaktsioon peaaegu neutraalne. Allapoole nõrgudes leostab vesi konsolideerunud tuhalasundist välja siiski palju mineraalaineid ja muutub erakordselt leeliseliseks. Põhjavee voolumudeliga tehtud arvutuste järgi tungib rõhuv enamus tekkinud reostunud veest läbi loodusliku pinnakatte ja aluspõhja paekihtide ülemise osa otse puistangut ümbritsevatesse kraavidesse ja settebasseinidesse. Seda näitavad pinnavee proovid, mille mineraalsus on 23000—26000 mg/L ja pH kuni 13,0 (Sørlie et al. 2004).

Vee liikumisele puistangu pinnalt allapoole läbi puistangu materjali ja jõudmiseni ümbritsevatesse pinnaveekogudesse kulub 1—2 kuni 150 aastat, sõltuvana filtratsoonitee pikkusest ja tuhakihi paksusest. Kogu reostunud vee hulk, mis tungib ülemisest põhjaveekihist pinnaveekogudesse on ligikaudu 32000 m^3 päevas. O veeladestikust läheb reostunud vett läbi O_1 regionaalse veepideme allapoole O-Cm veeladestikku vaid ligikaudu 200 m^3 ööpäevas. See vesi liigub O-Cm veeladestikus ida poole Narva veehoidla suunas.

4.2.5. Punktreostuse mõju edasine uurimine

<u>Seiresüsteemi arendamine.</u>

Olemasoleva seiresüsteemi suurimad puudused on järgmised:

- Seirekaeve pole puistangute keskosas, kus kujuneb põhjavee potentsiaalselt suurim hüdrauliline rõhk. Seetõttu ei saa puistangute põhjavee voolumudeleid korrektselt kalibreerida, sest puuduvad vaatlustega kinnitatud veetasemete ekstreemsete kõrguste andmed.

- Puuduvad põhjavee peamiste liikumissuundade järgi orienteeritud seirekaevude profiilid, millel seirekaevude vahemaa poleks suurem kui 100 m. Seetõttu ei saa korrektselt uurida põhjavee ingredientide dispersiooni ja biodegradatsiooni plaanis.

- Puuduvad seirekaevud, mis avaksid eraldi põhjaveekihtide ülemise, keskmise ja alumise osa. Seetõttu ei saa korrektselt uurida põhjavee ingredientide dispersiooni ja biodegradatsiooni vertikaalsuunas.

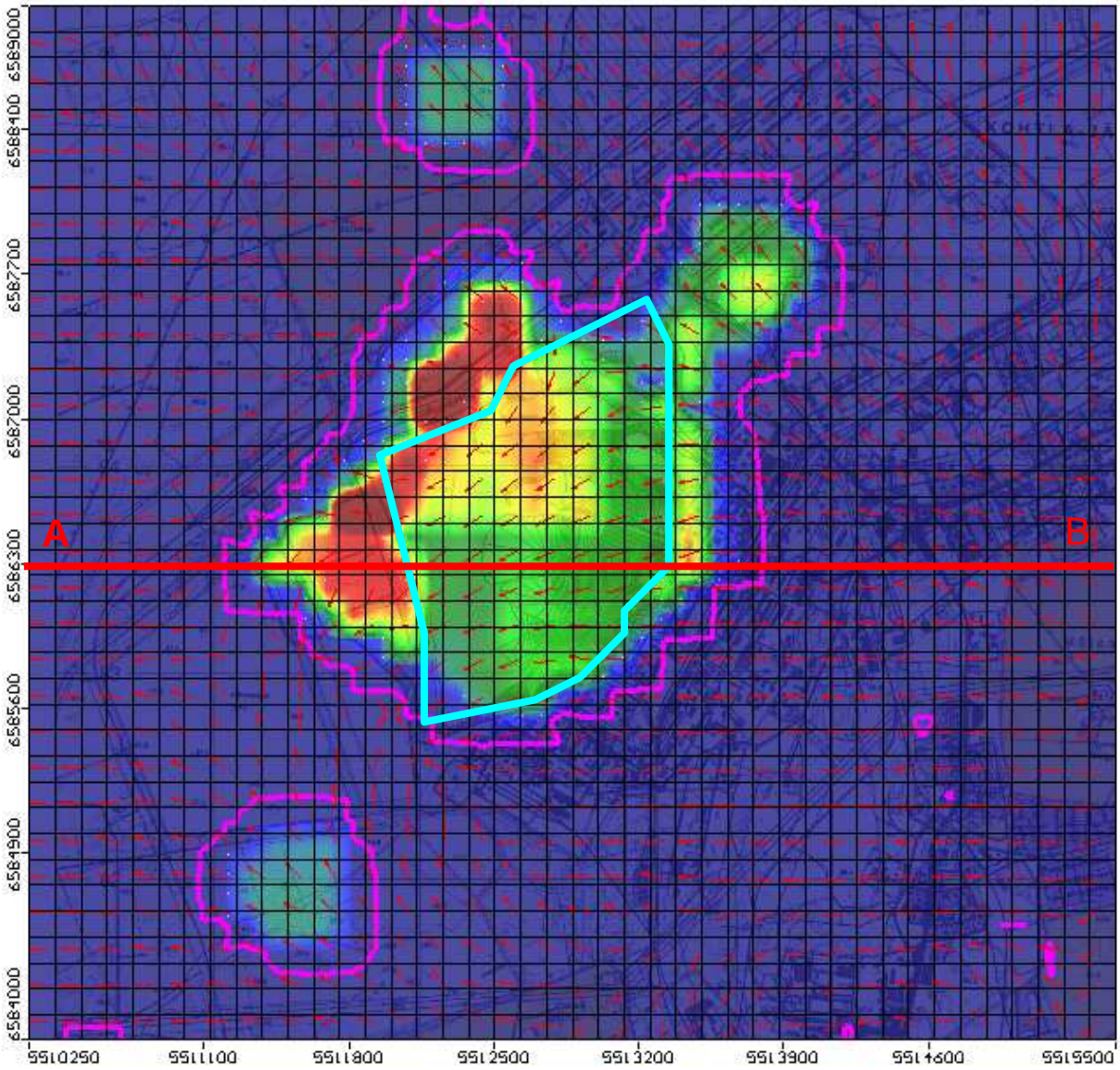
- Veeproovide võtmise intervall seirekaevudest on liiga pikk. Seetõttu ei saa teha täiesti korrektseid järeldusi põhjavee ingredientide ajast sõltuva jaotumuse kohta. Proove tuleks võtta regulaarselt iga 1—2 kuu järel mõne aasta kestel.

Välikatsed.

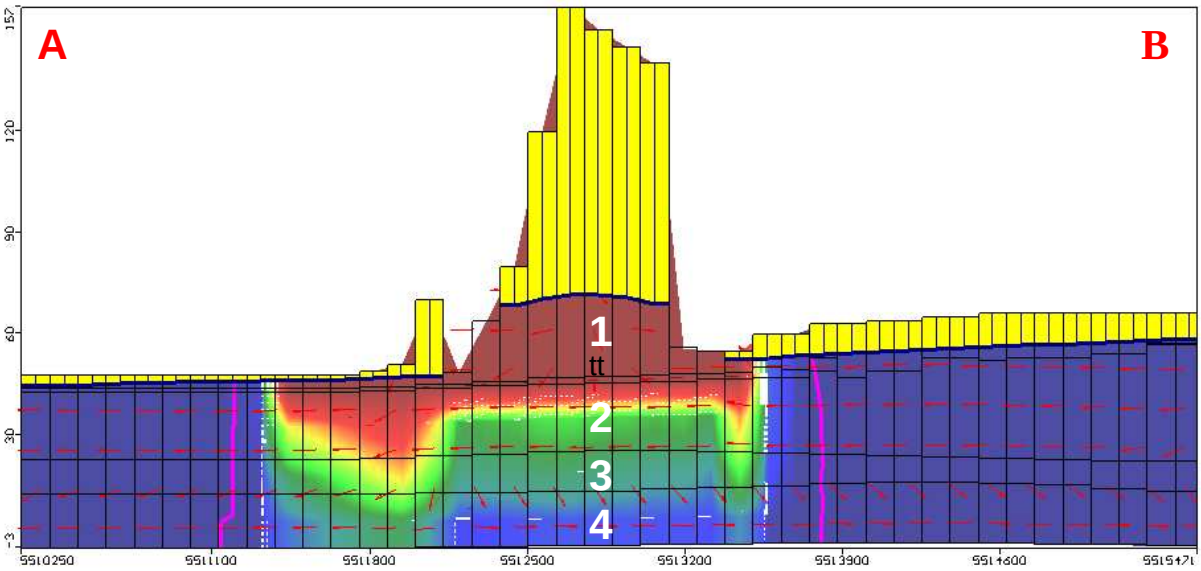
Põhjavee reostumise korrektseks uurimiseks on vaja teha peamiste põhjaveekihtide (liiv, kruus, moreen, paas, liivakivi) transpordiparameetrite eksperimentaalseid määramisi. Selleks tuleb rajada nendesse kihtidesse katsekaeve koos vaatluskaevudega. Katsekaevudesse on tarvis injekteerida reostusainet ja pärast seda registreerida selle ilmumist ja kontsentratsiooni muutumist vaatluskaevudes.

Viidatud kirjandus

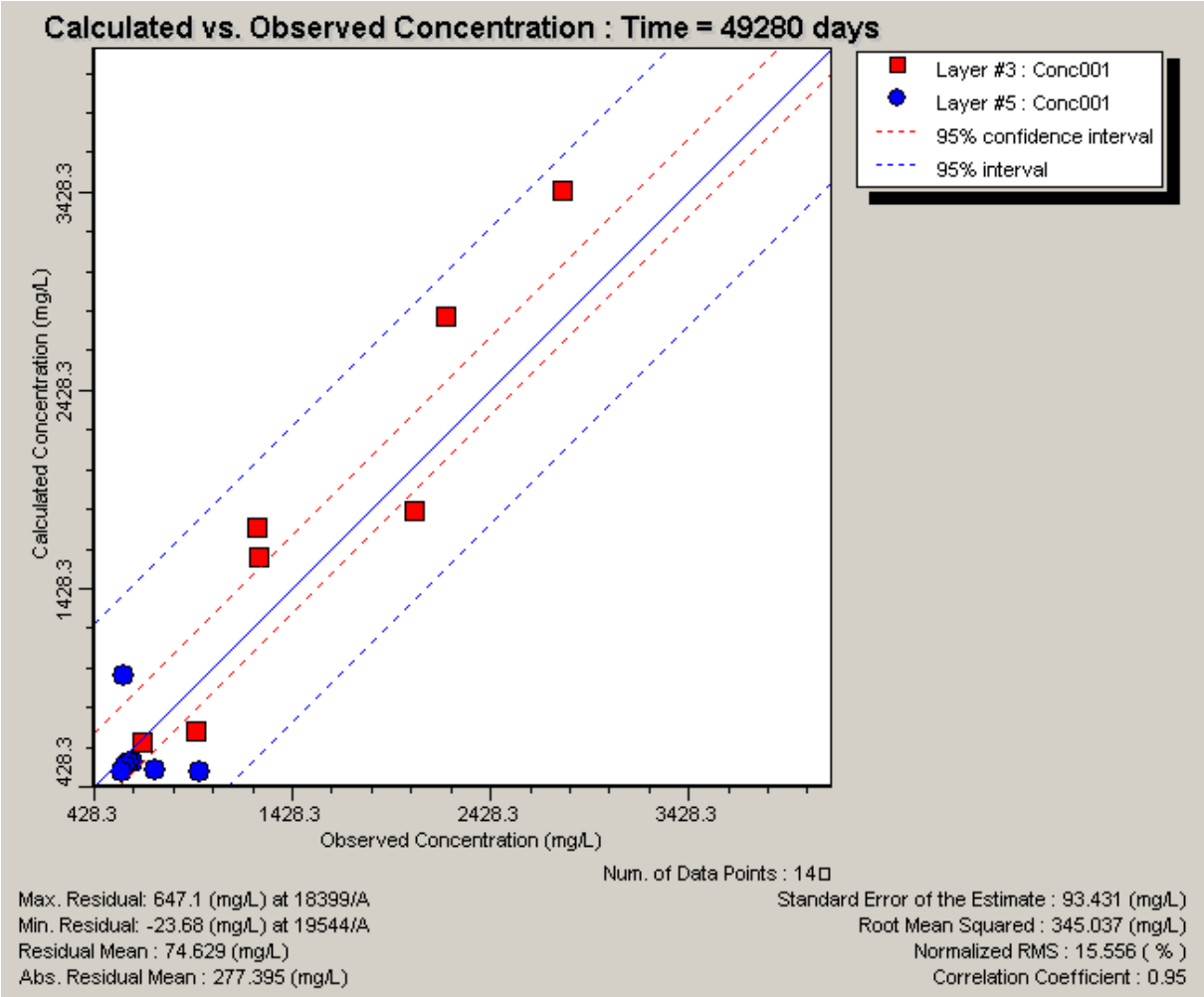
Ohtlike ainete põhjavee kvaliteedi piirväärtused. 2010. Riigi Teataja I 2010, 57, 374.
Sørlie, J.-E., Bityukova, L., Sæther, O.-M., Rudolph-Lund, K., Kahru, A., Vallner, L., Petersell, V., Razgonjajev, A., Põllumaa, L. 2004. Estonia, the oil shale industry. Risk based environmental site assessment of landfills. Norwegian Geotechnical Institute, Norwegian Geological Survey, Institute of Geology at Tallinn Technolgical University, Oslo, Tallinn. Research report in the Depository of the Ministry of the Environment of Estonia.
Vallner, L. 2003. Hydrogeological model of Estonia and its applications. Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. **52**, 3, 179–192.
Vallner, L. 2002. Eesti hüdrogeoloogiline mudel. Uuringuaruanne Eesti Geoloogiafondis, Tallinn.
Vallner, L. 1996c. Kirde-Eesti hüdrogeoloogiline mudel. Uuringuaruanne Eesti Geoloogiafondis, Tallinn.



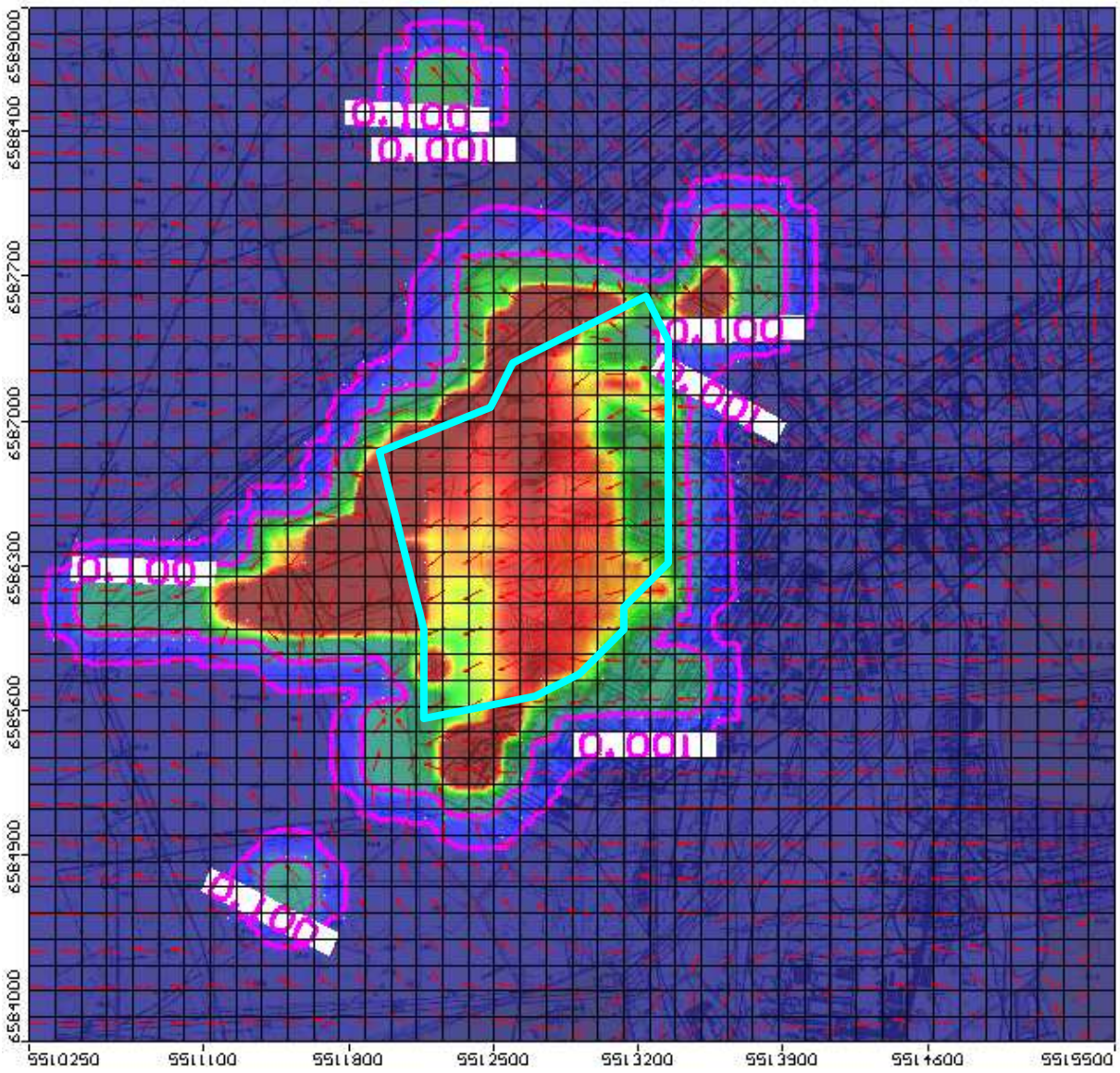
Joonis 21. Põhjavee mineraalsus Kohtla-Järve piirkonna O veeladestikus 2010. aastal. Mineraalsuse astmed, mg/L: 500 – tumesinine, 500—510 – sinine, 510—600 – sinakasroheline, 600—800 – tumeroheline, 800—1000 – heleroheline, 1000—1500 – kollane, 1500—2000 – helepruun ja pruun, >2000 – tumepruun. Mineraalsuse 500 mg/L isojoon – lilla. Põhjavee liikumise suund – punased nooled. Puistangu kontuur plaanis – helesinine. Koordinaadid ala välispiiril – meetrid. A—B – hüdrogeoloogilise lõike joon. Joonisel on modellerimispiirkonna digtaliseerimise imaginaarne võre elementide küljepikkusega 125 m.



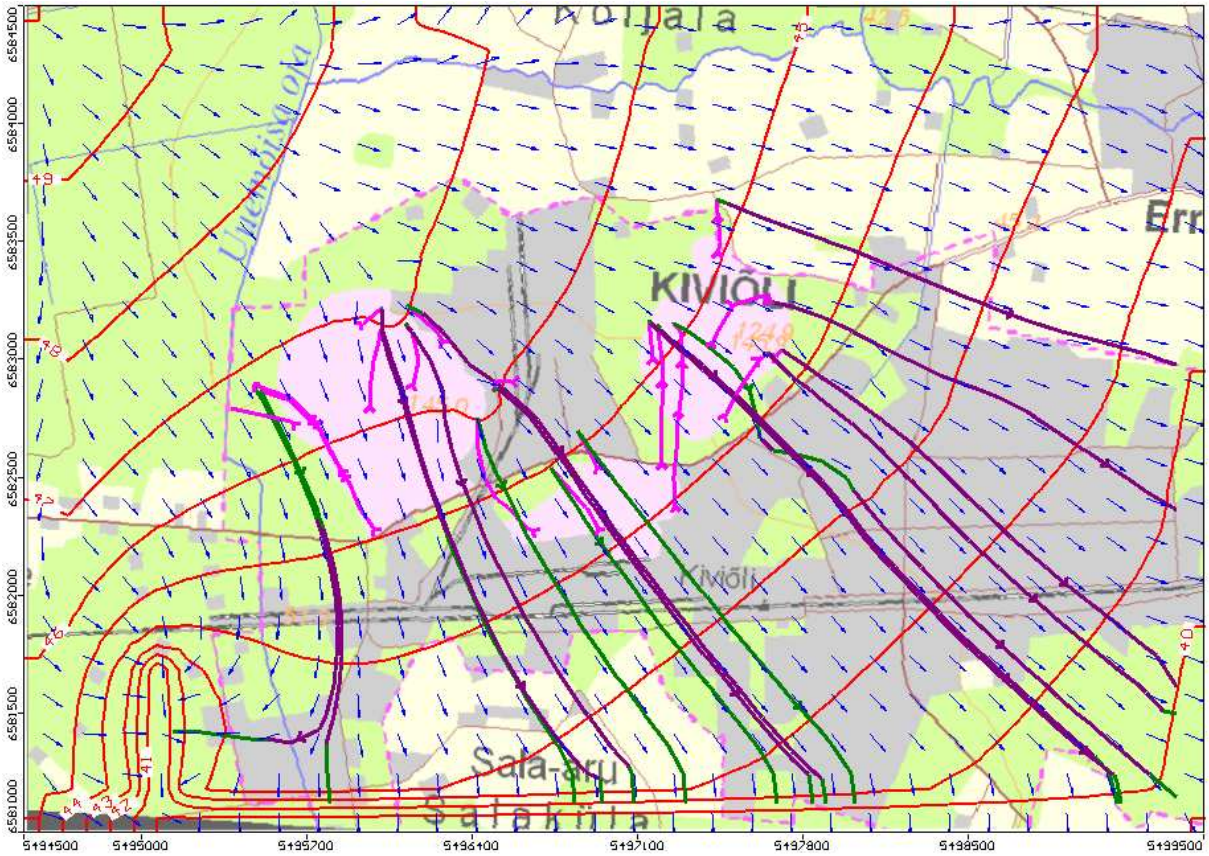
Joonis 22. Põhjavee mineraalsus 2010. aastal Kohtla-Järve piirkonna hüdrogeoloogilisel lõikel A—B. Mineraalsuse astmed ja põhjavee liikumise suunad –vt joonis 1. Kihid: 1 – puistangu veega küllastanud materjal, 2 – O veeladestik, 3 – O_1 regionaalne veepide, 4 – O-Cm veeladestik, tihe vertikaalviirutis – veega küllastamata kivimid. Lõike vertikaalteljel absoluutne kõrgus, m.



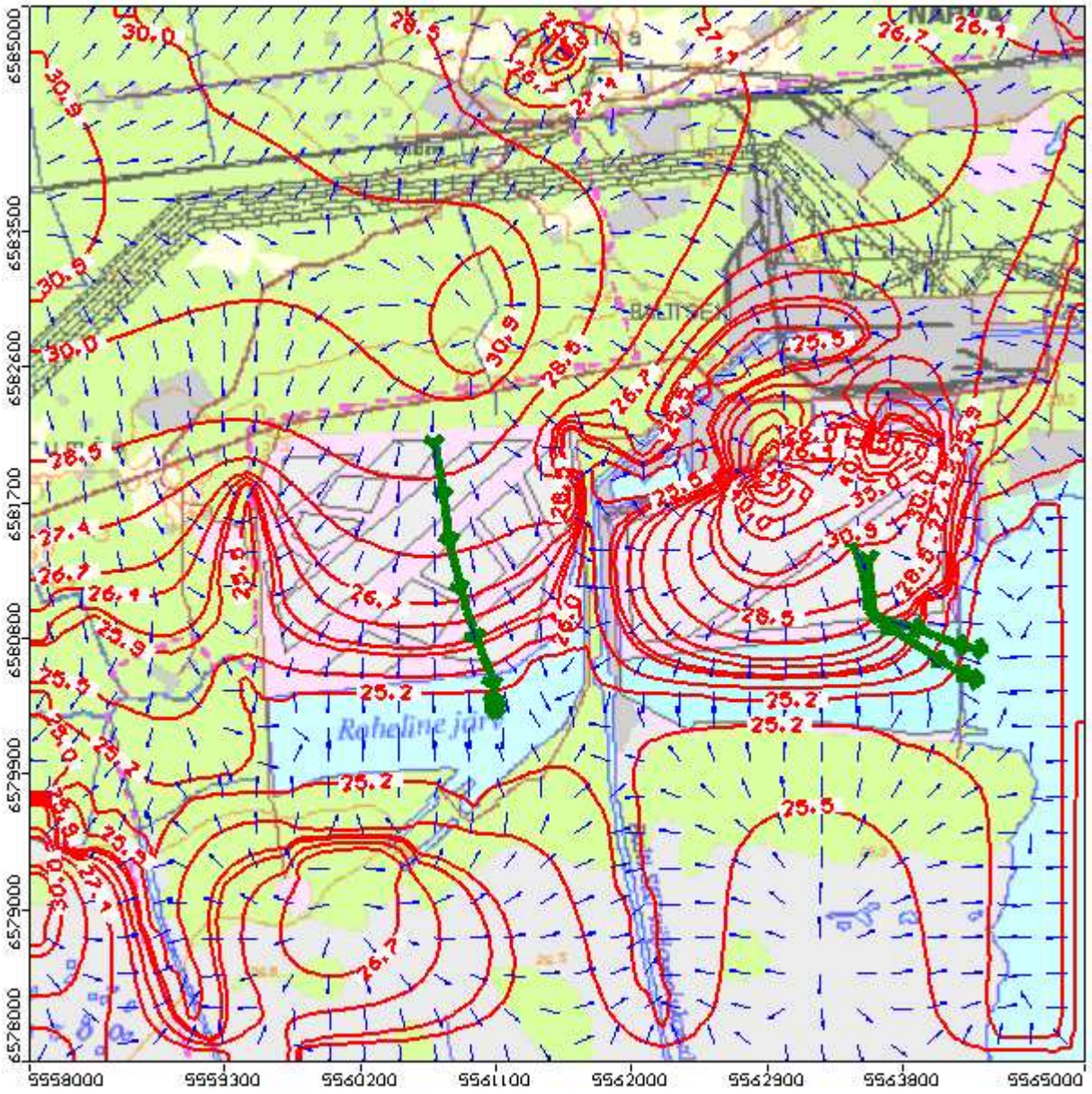
Joonis 23. Kaasaegse mõõdetud ja modelleeritud mineraalsuse vaheline seos Kohtla-Järve uurimispiirkonnas.



Joonis 24. Fenoolide summaarne sisaldus Kohtla-Järve piirkonna O veeladestikus 2010. aastal. Sisalduse astmed, mg/L: 0 – tumesinine, 0,001—0.1 – sinine, 0,1—1,0 – tumeroheline, 1,0—2,0 – heleroheline, 2,0—3,0 – kollane, 3,0—4,0 – helepruun, > 4,0 – tumepruun. Kontsentratsiooni isojoon – lilla. Teised tingmärgid: vt joonis 21.



Joonis 25. Põhjavee liikumine Kiviõli modelleerimispiikonna O veeladestikus 2010. aastal. Maastikuelemendid: metsamaa – heleroheline, lage – kollakas, ehistatud ala – hall, poolkoksi puistangud – roosa. Põhjavee rõhk, m ümp – punased isojooned. Reostunud põhjavee esialgse liikumise trajetoorid puistangute piirkonnas – helelillad jooned, reostunud põhjavee liikumise trajektoorid kaevanduse poole – tumelillad ja rohelised jooned. Nooled trajektooridel tähistavad vee liikumistee pikkust 10 aasta kestel. Põhjavee üldine liikumissuund – sinised nooled.



Joonis 26. Põhjavee liikumine Narva modelleerimispiikonna O veeladestikus 2010. aastal. Maastikuelemendid: metsa- ja rohumaa – heleroheline ja helehall, lage – kollakas, ehistatud ala – keskmine hall, poolkoksi puistangud – roosa, pinnaveekogud – helesinine. Põhjavee rõhk, m ümp – punased isojooned. Reostunud põhjavee liikumise trajetoorid puistangute piirkonnas – rohelised jooned. Nooled trajektooridel tähistavad vee liikumistee pikkust 10 aasta kestel. Põhjavee üldine liikumissuund – sinised nooled.

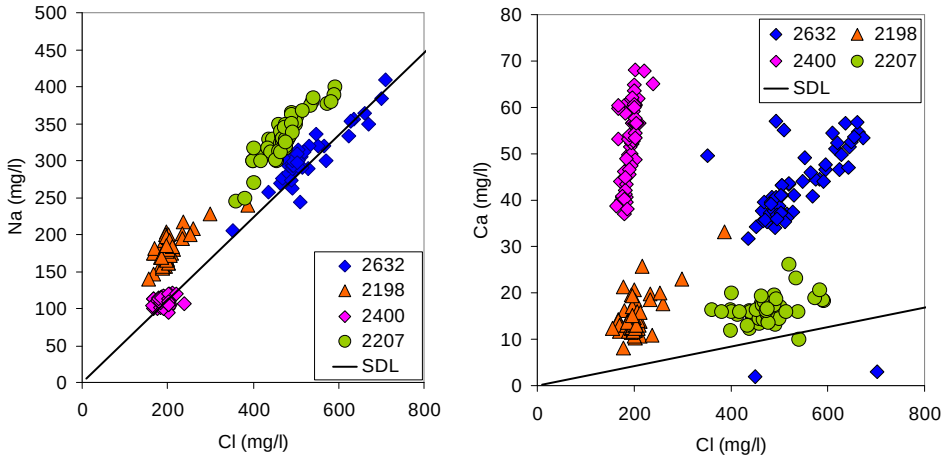
4.3. Kambriumi-Vendi veekompleksi põhjavee modelleerimine

Enn Karro ja Andres Marandi, Tartu Ülikool

Põhjavee seire peaülesandeks on põhjavee loodusliku seisundi (veetaseme, vee keemilise koostise jne) uurimine ning inimtegevusest põhjustatud (põhjavee otsene ja kaudne tarbimine, reostamine jne) põhjavee kvaliteedi, veetasemete ja varude muutuste jälgimine. Järjepideva seire tulemusena tekivad pikaajalised andmete (veetase, keemiline koostis, veevõtt) read, mida saab kasutada põhjavees toimunud kvantitatiivsete ja kvalitatiivsete muutuste interpreteerimisel. Põhjavee keemilise koostise seireandmestik annab esmase informatsiooni selle kohta, kas põhjavee keemiline koostis on ajas püsinud stabiilsena või mitte.

Vees esinevate keemiliste komponentide kontsentratsiooni või suhtvahekorra muutus viitab veekihis toimuvatele muutustele, mis võivad olla tingitud kas ühest või mitmest samaaegselt toimivast tegurist. Näiteks, viitab mingi keemilise elemendi (Cl, Na, Ca) kontsentratsiooni pidev tõus asjaolule, et põhjavee kvalitatiivne seisund on halvenemas, kuid ainuüksi elemendi kontsentratsiooni muutustele tuginedes ei saa teha lõplikke järeldusi seda muutust põhjustavate tegurite kohta. Mitme põhjaveest analüüsitud keemilise komponendi ühetaoline ajaline muutlikkus on juba palju informatiivsem, kuid korrektsema viite võimalikule muutuste allikale annab keemiliste komponentide ioonsuhete arvutamine ja tõlgendamine ning põhjavee lisaanalüüside teostamine. Vee päritolu, geneesi ja dünaamika selgitamisel on oluline roll näiteks süsiniku ja hapniku isotoopide määramisel põhjaveest. Lisaks eelnevale aitab seireandmeid interpreteerida geokeemiline modelleerimine.

Põhjavee liigne tarbimine on tüüpiline probleem, millega veeressursside majandamise käigus kokku puututakse. Sellega kaasnevad püsivad negatiivsed muutused nagu pidev põhjaveetaseme langus, jätkuv vee kvaliteedi halvenemine. Ida-Virumaal võib pumpamisest tingitud soolase vee intrusioon mageda põhjavee varusid mõjutada, kas siis merevee sissetungi näol rannikuäärsetesse veehaaretesse või siis pumpamisest indutseeritud soolase sügaval lasuva põhjavee vertikaalsest liikumisest puurkaevude suunas. Mereäärsed veehaarded võivad olla mõjutatud mõlema nimetatud protsessi poolt, kuid mõlemal juhul leiab põhjavees aset nii kloriidide, naatriumi kui ka kaltsiumi sisalduse tõus. Selleks, et eristada üksteisest erinevaid vee keemilist koostist modifitseerivaid tegureid, on hüdrokeemiliste interpretatsioonide käigus otstarbekas kasutada põhikomponentide ioonsuhteid. Joonisel 27 on esitatud mõningate põhjaveele iseloomulike elementide suhted.

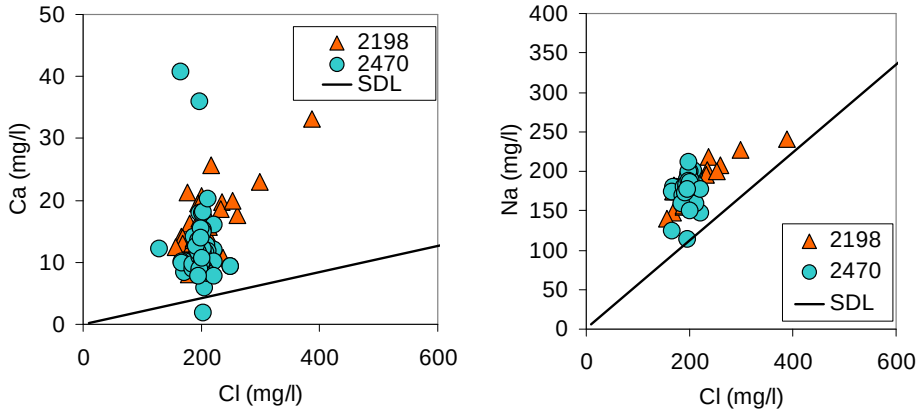


Joonis 27. Na^+ ja Cl^- ning Ca^{2+} ja Cl^- sisalduste seos põhjavees. SDL – merevee lahjendumisjoon.

Merevee võimaliku sissetungi indikaatoriteks on Na ja Cl kontsentratsioonide tõus rannikuäärsete vaatluskaevude vees. Joonisel 28 näitab Na/Cl suhe, et Sillamäe põhjavesi on võrreldes mereveega nii Voronka (2198) kui ja Gdovi (2207) veekihis Na suhtes rikastunud. Kaevude vee koostist kirjeldavad punkid asetsevad graafikul ülalpool merevee lahjendumisjoont. Andmepunktide paiknemine joonisel on lineaarne, mistõttu see näitab, et aset on leidnud erineva soolsusega vete segunemine. Purtse (2400) ja Ahtme (2632) vaatluskaevude andmepunktid paiknevad praktiliselt merevee lahjendumisjoonel, mõningase hajumisega ühele või teisele poole joont. Selline punktide paigutus ei välista, et osa Na on merelise päritoluga, kuid samas on põhjavee Na-sisaldus teatud määral mõjutatud ka murenemis- ja lahustumisreaktsioonidest. Na ja Cl ioonsuhete põhjal võib oletada, et põhjavee pumpamine Sillamäel võib põhjustada merevee sissetungi põhjaveekihtidesse.

Samas on jooniselt 28 selgelt näha, et põhjavesi on kaevudes Ca osas rikastunud võrreldes mereveega, eriti selge erinevus mere- ja põhjavee koostises on täheldatav Purtse (2400) ja Ahtme (2632) kaevudes. Asjaolu, et analüüsipunktid paiknevad graafikul merevee lahjendumisjoonest ülalpool, tähendab, et põhjavees esinev kaltsium on murenemissaadus ning on ilmselt pärit aluskorrast. See omakorda viitab tõsiasjale, et põhikomponentide sisalduse tõus nimetatud vaatluskaevudes on tingitud pigem soolase Ca-rikka aluskorra põhjavee sissetungist, mitte niivõrd merevee intrusioonist veekihti. Aluskorra lõhelise vööndi põhjavesi on tihti Cl-Ca keemilist tüüpi, mis võib segunemisel Gdovi veekihi veega tõsta viimase Ca-sisaldust. Selline selgitus võiks olla tõene vähemalt sisemaal paikneva Ahtme vaatluskaevu puhul, kus veevõtt toimub 270 m sügavuse puurkaevu kaudu.

Joonisel 29 on esitatud kahe Sillamäe piirkonnas asuva Voronka veekihti avava puurkaevu (2198 – Sillamäe, 2470 – Vaivara, Sirgala karjäär) põhjavee keemiliste analüüside tulemused. Vaatluskaev 2198 paikneb rannikul, 2470 sellest aga lõunas, 7-8 km sisemaa poole. Mõlemas punktis on põhjavesi võrreldes mereveega küllastunud nii Na kui ka Ca suhtes.



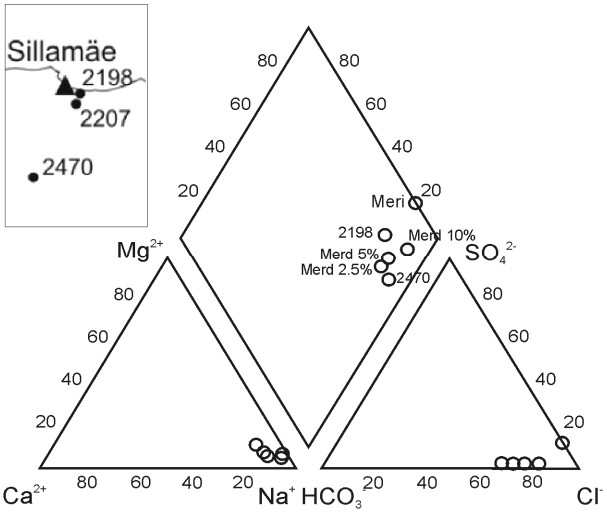
Joonis 28. Ca^{2+}, Na^{+} ja Cl^{-} vastastikune seos Voronka veekihis. SDL – merevee lahjendumisjoon.

Sisemaal paikneva kaevu (2470) kloriidi väärtused kõiguvad väikese amplituudiga väärtuse 200 mg/l ümber, mereäärse Sillamäe kaevu Cl kontsentratsioonid on aga vahemikus 200-400 mg/l, olles seega kõrgemad. Pikaajalised veetasemete vaatlusread näitavad, et põhjavee survetasemed on taastumas, kuid samas jätkub kaevus 2198 mineralisatsiooni tõus, mis korrelleerub hästi põhjavee Na ja Cl sisalduste tõusuga. Seega võib oletada, et Sillamäel võib tegemist olla merevee mõjuga.

Geokeemiline modelleerimine aitab mõista süsteeme ning määratleda protsesse, mille kaudu keemilised elemendid satuvad põhjavette ning prognoosida elementide kontsentratsioone põhjavees. Madala temperatuuri veekeskkonna mudeleid on mitmeid (näit. PHREEQC), kuid need kõik töötavad samal põhimõttel – mudelid arvutavad määratletud süsteemi (sisaldab vett, selles lahustunud aineid, tahkeid ja gaasilisi faase) termodünaamilise tasakaaluoleku ette antud keskkonnatingimustes. Tavaliselt koosnevad mudelid neljast põhiosast: sisendandmed, milleks on lahustunud ainete kontsentratsioonid, lahuse temperatuur, gaaside osarõhud ja tahke faasi koostis, valemid, mida mudel kasutab arvutustel, reaktsioonide tasakaalu ja kiiruse valemite andmebaas ning väljund modelleermistulemuste kohta.

Mudeli sisendparameetritena kasutatakse tavaliselt põhjavee keemiliste analüüside tulemusi ning lisaks on vaja kirjeldada uuritava keskkonna temperatuur, pH ja Eh. Mudelid arvutavad ette antud elementide kontsentratsioonide põhjal nende moolilised hulgad ning seejärel lahendavad mitmeid samaaegseid mittelineaarseid algebralisi valmeid (keemilised reaktsioonid, laengu- ja massibilansi valemid) püüdes arvutada kõigi lahustunud komponentide aktiivsuse ja kontsentratsioonide tasakaalu. Geokeemilised mudelid võimaldavad arvutada keskkonna pH, Eh, lahustunud ainete hulka ja tasakaaluseisundit võrrelduna tahke faasi (mineraalide) ja gaasidega.

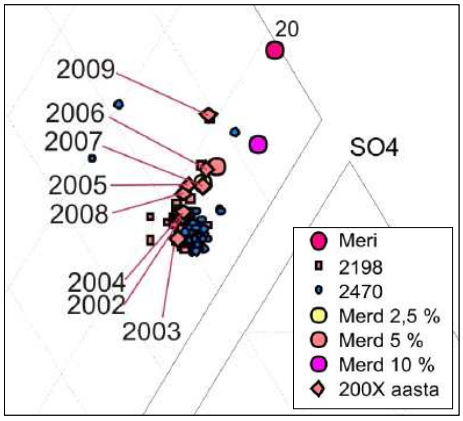
Eelpool käsitletud põhjavees lahustunud komponentide ioonsuhete analüüsi täiendab oluliselt põhjavee geokeemiline modelleerimine. Merevee või aluskorra lõhelise vööndi soolase vee sissetung magedasse põhjaveekihti kujutab oma olemuselt erineva soolsuse ja keemilist tüüpi vete segunemist, mille käigus leiavad aset mitmed füüsikalis-keemilised protsessid (ioonvahetus, lahustumine, väljasettimine). Merevee võimaliku intrusiooni uurimiseks Sillamäel (kaevus 2198) on modelleerimise sisendparameetriteks põhjavee keemiline koostis kaevus 2470 ja merevee keemiline koostis. Modelleerimise käigus segatakse erinevates suhtvahekordades põhja- ja merevett ning tekkinud seguvete keemilised analüüsid kantakse illustreerimiseks hüdrogeokeemias laialt kasutatavale Piper'i diagrammile (joonis 29). Seguvete keemilist koostist võrreldakse kaevu 2198 vee keemilise koostisega.



Joonis 29. Voronka veekihi põhjavee, merevee ja võimaliku mervee sissetungi tulemusena moodustunud vee keemiliste analüüside tulemused.

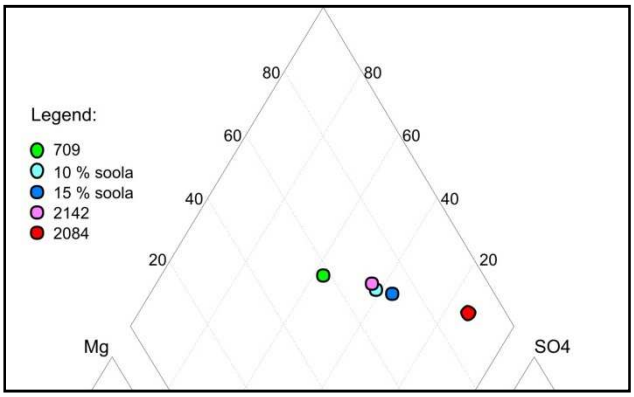
Puurkaevu 2470 vett ja merevett segades saab segamistulemuste põhjal parima lähenduse puurkaevu 2198 veele juhul, kui merevett on 2,4-5 % kogu vee hulgast. Joonisel X paiknevad vastavad punktid kaevude 2470 ja 2198 vahel.

Kinnitamaks modelleerimise tulemusi, analüüsiti Piper'i diagrammi abil Sillamäe kaevu 2198 keemilise seire tulemusi (joonis 30). Jooniselt on näha, et enamus põhjavee analüüsitulemustest koondub pilvena Piper diagrammil peegeldades ajas muutumatut vee keemilist koostist. Samas on selgelt eristatav, et viimaste aastate analüüsitulemused "liiguvad" diagrammil merevee koostist tähistava punkti poole. Seega nii seireandmed kui ka põhjavee keemilise modelleerimise tulemused (Marandi 2010) viitavad võimalusele, et Sillamäe piirkonnas võib põhjavesi olla mõjutatud merevee sissetungist.



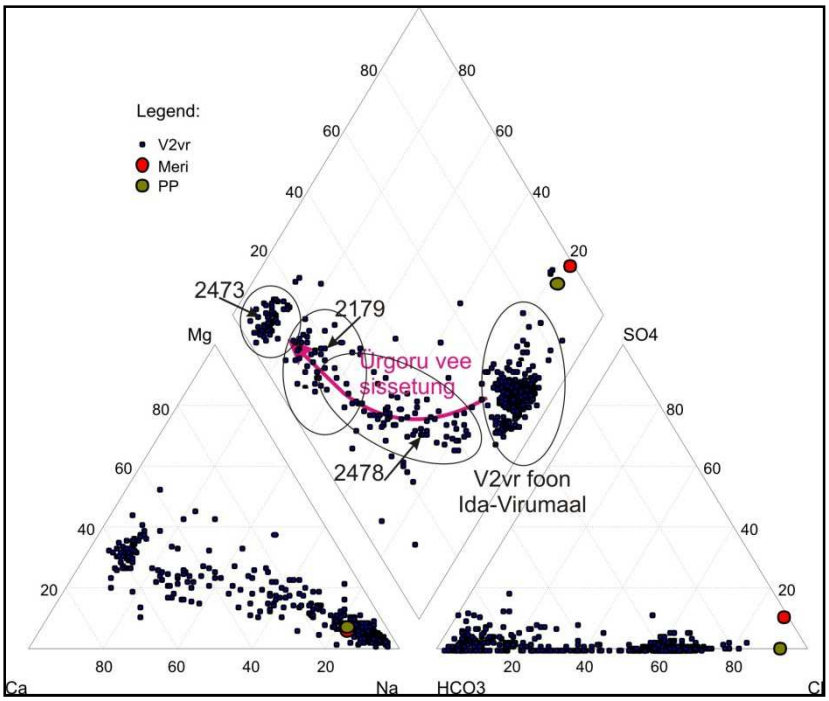
Joonis 30. Modelleerimise käigus saadud seguvete ja kaevude 2470 ja 2198 seireandmetel tuginev keemiline koostis kujutatuna Piper'i diagrammi fragmendil.

Modelleerimise näitena saab käsitleda ka Kambriumi-Vendi veekompleksi (Gdovi veekihi) põhjavee soolsuse ida-läänesuunalist muutust. Kambriumi-Vendi veekompleksi põhjavee keemilise koostise kujunemisel on olulist rolli mänginud liustikuvee sissetung viimaste jäätumiste ajal (Raidla et al. 2009), mis tingis põhjavee olulise magestumise veekompleksi põhjaosas. Selle kontrolliks ning keemilise muutuse simuleerimiseks segati Harjumaa (kaev 709) põhjavee keskmisele koostisele vastavat veeproovi Narva-Jõesuu kaevu 2084 kõrgema soolsusega prooviga. Saadud tulemusi võrreldi Gdovi veekihi keemilise analüüsi tulemustega Kohtla-Järvel (kaev 2142). Modelleerimise tulemused näitavad, et Kohtla-Järve piirkonna põhjavees on soolaka põhjavee (kaev 2084) ja mageda (kaev 709) liustikuvee osakaal vastavalt 10% ja 90% (joonis 31) olles kooskõlas varasemate uuringute tulemustega (Raidla et al 2009).



Joonis 31. Põhjavee soolsuse ida-läänesuunalise muutumise modelleerimise tulemused.

Aladel, kus ürgorud lõikuvad Lontova veepidemesse ja lamavasse Kambriumi-Vendi veekompleksi, tungib tänu alanenud rõhkudele tänapäevane värske vesi põhjaveekompleksi. Sellega kaasneb põhjavee magestumine ja ioonsuhete muutus. Nimetatud nähtuse mõju on selgemini märgatav lasuvas Voronka põhjaveekihis, kus veevahetus on intensiivsem. Tulemuseks on olukord, kus Voronka põhjaveekihi vee keemilist koostist väljendavad punktid asuvad Piper'i diagrammi selles osas, kus on tavaliselt kiire veevahetusega, tänapäevaste sademete vett sisaldavad põhjaveed (joonis 32). Jooniselt nähtu põhjal võib järeldada, et Voka külas oleva puurkaevu (2473) põhjavesi on olnud ürgorgu veest mõjutatud kaevu rajamisest saadik, kuna vee keemiline koostis moodustab ühtse parve diagrammi rombi vasakus nurgas (HCO_3-Ca-tüüpi veed).



Joonis 32. Ürgorgude mageda vee sissetung Voronka põhjaveekihti, mis kajastub põhjavee keemilise tüübi muutusena.

Toila puurkaevu 2478 põhjavee keemiline koostis varieerub Ida-Virumaa Voronka veekihi foonilisest koostisest kuni kaevu 2473 vee koostiseni. Pikaajalised seireandmed näitavad, et Toila kaevus suureneb ajas HCO_3/Cl suhe, mis viitab mageda ürgoru vee osakaalu kasvule. Põhjavee keemilise koostise põhjal võib oletada, et ürgoru põhjaveest on mõjutatud ka Oru linnaosas olev puurkaev 2179. Selleks, et kinnitada modelleerimise tulemusi, oleks vaja täiendavalt uurida põhjavee isotoopkoostist (^{18}O, ^{2}H, ^{14}C).

Viidatud kirjandus

Marandi A. 2010. Põhjavee keemiline modelleerimine Cm-V põhjavees Ida-Virumaal. Projekti lõpparuanne. Tartu, 38 lk.

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

4.4. Hüdrogeokeemiline modelleerimine

Erik Puura ja Kaur Kõue, Tartu Ülikool

Kaevandamise tagajärjel reostunud pinna- ja põhjavesi on üks inimtegevuse peamisi hüdrogeoloogilisi ja geokeemilisi probleeme. Skandinaavia ja Suurbritannia kogemuste baasil on kaevandusveed liigitatud kolme kategooriasse: (1) kõrgenenud sooladesisaldusega veed; (2) happelised raskmetalliderikkad sulfaatsed veed; (3) aluselised divesiniksulfiidi sisaldavad veed. Lähtuvalt keemilisest koostisest ei ole kaevandusveed alati käsitletavad ainult kui probleemide allikas, kaevandusvett on teatud juhtudel võimalik kasutada nii tööstuslikult kasutatava veena kui joogiveena (Banks jt, 1997).

USA majandusgeoloogide huviorbiidis on juba aastakümneid olnud üldistatud lähenemine maardlatele, mille alusel on võimalik need jaotada erinevatesse tüüpidesse ja juba enne kaevandamist ette ennustada, missuguseks kujunevad kaevandamise mõjud keskkonnale, eriti pinna- ja põhjaveele. Sellisest prognoosidest sõltuvad maavara kaevandamise tehnoloogiad ning plaanitud keskkonnameetmed. Loodud geoloogilise keskkonna mudelid arvestavad eelkõige maavara enda ja ümbriskivimi mineraloogiat ning geokeemiat, samuti aga kivimite ja setete füüsikalisi parameetreid (Plumlee ja Nash, 1995). Arvestades lisaks kohalikke kliimatingimusi on võimalik ette prognoosida peamiste geokeemiliste reaktsioonide jada, mis viib kaevandusvete keemilise koostise kujunemiseni. Siiski on iga maardla erinev ning üldistused annavad vaid esialgse indikatsiooni, kuivõrd tõsisteks keskkonnaprobleemid võivad kujuneda.

Samuti on võimalik prognoosida maavarade töötlemise ja põlevmaavarade põletamise käigus tekkinud tahkete jäätmete mõju pinna- ja põhjaveele.

Käesolev ülevaade lahkab Eesti põlevkivi kaevandamise tagajärjel välja kujunenud peamiste hüdrogeokeemiliste reaktsioonide jadasid, samuti põlevkivituha sattumisel atmosfääritingimustesse toimuvaid peamisi reaktsioone, mis mõjutavad kaevandustest, kaevandusjäätmetest ja põlevkivituhast välja leostuva vee kvaliteeti. Omandatud kogemuste baasil on võimalik prognoosida maavarade kasutamise keemilist mõju juba kaevandusplaane tehes uute maardlate kasutuselevõtu korral.

4.4.1. Teoreetilised alused ja metoodika

Kõige olulisem staadium prognooside koostamisel on maardla mineraalset, geokeemilist ja litoloogilist konteksti uurides aru saada ja ära tunda, missugused peamised reaktsioonide jadad ühel või teisel juhul käivituvad, kui kivimid ja setted avada õhu ja vee juurdepääsule.
Atmosfääri mõju arvestamisel on esmatähtsad

(1) Hapniku juurdepääs mineraalideni ja aineteni, mille termodünaamiline tasakaal atmosfääriga ei saavutu;
(2) Atmosfääri happelisus süsinikdioksiidi sisalduse tõttu.

Vee peamisteks rollideks on omakorda

(1) Lahustav toime;
(2) Atmosfäärigaasidega toimuvate reaktsioonide katalüüsimine.

Mineraalide kompleksi, vee ja atmosfäärigaaside kokkupuutel toimuvad geokeemilised reaktsioonid on nii komplekssed, et neile ei ole võimalik leida analüütilisi lahendeid, st

tekkivaid keerulisi võrrandisüsteeme on võimalik lahendada vaid arvutuslike meetoditega kasutades selleks spetsiaalset tarkvara ning mineraalide andmebaase. Ka sellest on vähe, mineraalide väljasettimise hindamisel on vajalik geoloogia-alased kogemused, mis võimaldavad hinnata, missugused mineraalid üleküllastatuse tekkel vesilahuses reaalselt välja võivad settida ja missugused mitte. Lisaks tasakaaluarvutustele on vajalik teada ja tunda reaktsioonide kineetikat.

Hüdrogeokeemilisi kalkulatsioone on võimalik teha USA Geoloogiakeskuse (USGS) poolt loodud tarkvaraprogrammiga PHREEQC, mis on kättesaadav vabavarana. Programm põhineb vesilahuste tasakaalulisel keemial, kus reaktsioone vesilahuses kalkuleeritakse vastastoimes mineraalide, gaaside, tahkete lahustega. Programm on võimeline modelleerima ka reaktsioonide kineetikat. Pöördmodelleerimise teel saab tuvastada reaktsioone kogu eksperimendi aja jooksul. Andmebaas, millele saab lisada vajadusel spetsiifilisi mineraale, võimaldab reaktsioonide, vee transpordi ja pöördmodelleerimise rakendamist peaaegu mistahes keemilise reaktsiooniga, mis mõjutab vihma-, pinna- või põhjavee kvaliteeti (Parkhurst & Appelo, 1999).

4.4.2. Eesti põlevkivide mõju veekeskkonnale kaevandamise korral

Eestis leidub kahte tüüpi põlevkivi: kukersiiti ja graptoliitargilliiti ehk diktüoneemaargilliiti. Nende mõju veekeskkonnale on väga erinev. Mõlemal juhul aga, nagu enamiku tahkete põlevmaavarade ja sulfiidsete maakide korral, käivituvad keskkonnale ohtlikud protsessid püriidi (FeS_2) oksüdeerumise tõttu. Kõikide vee kvaliteedi prognooside puhul on püriidi koguse ja kristallide suuruse määramine üheks esmaülesandeks.

Intensiivseks oksüdeerumiseks vajab püriit üheaegselt hapnikku ja vett. Sügaval looduslikus lasumis on infiltreeruv vihmavesi võimeline oksüdeerima maksimaalselt vaid sellisel hulgal püriiti, kuivõrd oli vees lahustunud hapnikku. Arvestades näiteks, et infiltreeruvas vees oli lahustunud 12.7 mg/l hapnikku (atmosfääriga tasakaaluline kontsentratsioon 6°C korral), on maksimaalselt võimalik, et selline vesi (ilma muid reaktsioone arvestamata) oksüdeerib 14.5 mg püriiti ning tekib vesi, mille pH on 3.7, sulfaadisisaldus 22 mg/l ning lahustunud Fe(II) sisaldus 6.3 mg/l. Tegelikkuses toimub hapniku tarbimine näiteks juba mullakihis reaktsioonides orgaaniliste ainetega ning reaktsioonide jadad teiste kivimites ja setetes olevate mineraalidega ei lase pH-l nii madalale langeda, pH jääb põhjavees tavaliselt 6-9 piiresse, sulfaatidesisaldus aga on sageli 10 mg/l ringis. Neist lihtsatest arvutustest on selge, et kui püriidiga puutub kokku vaid vees lahustunud hapnik, siis suuri keskkonnaprobleeme ei teki. Just sel põhjusel on üks levinumaid tehnoloogiaid püriiti sisaldavate jäätmete käitlemisel nende kohene isoleerimine atmosfääris sisalduvast hapnikust näiteks kattes jäägid savikihiga, rajades loodusliku või tehisliku barjääri gaasilise hapniku advektsiooni ja difusiooni takistamiseks või paigutades jäätmed veekogu põhja.

Püriidi oksüdeerumise reaktsiooniks on sellisel juhul

$$FeS_2 + 3.5O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+$$

kusjuures tekkinud happelisus puhverdatakse üldjuhul karbonaatsete või alumosilikaatsete mineraalide poolt.

Kaevandamise, aga ka näiteks põhjaveetasemete langetamise või isegi puhtalt loodusliku erosiooni tulemusena avatakse püriiti sisaldavad kivimid ja setted üheaegselt nii hapniku kui

vee juurdepääsule. Nii kukersiidis kui diktüoneemaargilliidis esineb mikrokristalliline püriit. Kuna ei hapniku ega vee kättesaadavus ega ka kristallide suurus pole enam takistuseks, toimub kiire oksüdeerumisreaktsioon.

Määravaks saab karbonaatsete mineraalide – kaltsiidi ja dolomiidi - sisaldus, mis kukersiidis on kõrge, diktüoneemaargilliidis aga madal.

4.4.3. Kukersiidi kaevandamise mõju ja selle prognoos

Kukersiidis on püriidi ja kaltsiidi vahekord moolsuhetes 1:8 – 1:10. Seetõttu kukersiidi kokkupuutel õhu ja veega toimub peamine summaarne reaktsioon

$$FeS_2 + 3.75O_2 + 3.5H_2O + 4CaCO_3 \rightarrow Fe(OH)_3 + 4Ca^{2+} + 2SO_4^{2-} + 4HCO_3^-$$

mille tulemusena kukersiit kattub osaliselt amorfse raud(III)hüdroksiidi koorikutega ning põlevkivikaevandustest välja leostuv vesi muutub kaltsiumi- ja sulfaadirikkaks.

Sulfaadisisalduse maksimaalne piir on määratud kipsi väljasettimisega ja selle kineetikaga, just seetõttu ei ületa Eesti põlevkivikaevandustest välja voolava ja pumbatava vee sulfaadisisaldus olulisel määral 500-600 mg/l piiri.

Kukersiiti ümbritsevad lubjakivikihid ei lisanda hüdrogeokeemilisse süsteemi väga olulisi täiendavaid komponente. Teatud mõju on karstunud kivimites esinevatel teistel sulfiidsetel mineraalidel lisaks püriidile, mis oksüdeerudes vabastavad raskmetalle. Kuid neutraalselähedase pH tingimustes on raskmetallide mobiilsus madal ning oluline keskkonnamõju puudub.

Kokkuvõtvalt on kukersiidi kaevandamise peamiseks mõjuks põhjaveele kõrgenenud sulfaadisisaldusega vee teke. Sulfaatidesisaldus on kõrgeim peale allmaakaevanduste täitmist veega ning sesoonselt kevadeti veetasemete tõustes, kuna lahustuvad kaevanduskäikude seintele kuhjunud kergestilahustuvad sulfaatsed mineraalid. Sulfaatide sisalduse muutlikkuse alusel on võimalik uurida kaevandusvete liikumist (Erg, 2005). Kuna karstunud aladega seonduvalt võib kuhjuda sulfaate, mille lahustuvus on kipsist märkimisväärselt kõrgem (näiteks magneesiumsulfaat-hüdraadid), siis on võimalik nende lahustumisel ka anomaalselt väga kõrgete sulfaadikontsentratsioonide leiud, seetõttu on sulfaadisisalduste täpne prognoos iga kaevanduspiirkonna täitumisel veega eraldi sisuliselt võimatu. Kuid maardla mastaabis tervikuna, mille vees Ca^{2+} on peamine katioon, piirab maksimaalseid sulfaadisisaldusi ikkagi kipsi väljasettimise tasakaal ning maksimaalsed sulfaadisisaldused jäävad 400-600 mg/l piiresse.

4.4.4. Diktüoneemaargilliidi kaevandamise võimalik mõju ja selle prognoos

Fosforiidi kaevandamisel Maardus avati selle lasumis paiknev diktüoneemaargilliidi kiht ning argilliidis sisalduv püriit (keskmiselt 4-6%) avati vee ja hapniku juurdepääsule. Erinevalt kukersiidist on diktüoneemaargillidis püriidi ja kaltsiidi moolsuhe üldreeglina 2:1 kuni 10:1, seetõttu puudub argillidil sisemine karbonaatne puhverdusvõime. Just sellest tingituna käivitub diktüoneemaargilliidis sisalduva püriidi oksüdeerumisel geokeemiliste reaktsioonide jada, mille puhul tekkiv happeline vesi hakkab argilliidist välja leostama raskmetalle. Erinevalt kukersiidist on diktüoneemaargilliidis anomaalselt kõrged U, Mo ja V sisaldused, aga ka näiteks Ni, Pb, Zn ja Cu kontsentratsioonid on palju kõrgemad kui kukersiidis.

Kuna karbonaatseid mineraale on vähe, puhverdavad tekkinud happelisust alumosilikaatsed mineraalid, näiteks savimineraal illiit ligikaudse valemiga $K_{0.6}Mg_{0.25}Al_{2.3}Si_{3.5}O_{10}(OH)_2$, mis vabastab kaaliumi ja smektiidistub. Tulemuseks on muuhulgas jarosiidi $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ teke, mis on argilliidi pinnal kihti moodustavana kollase värvuse järgi kergelt ära tuntav nii Maardu karjääri puistangutes kui näiteks Pakri poolsaarel argilliidi looduslikus paljandis. Samas suudab selline mehhanism puhverdada vaid 1/3 püriidi oksüdeerumise tulemusena ning 2/3 tekkinud happest leostub keskkonda (Puura ja Neretnieks, 2000).

Seega kirjeldavad diktüoneemaargilliidi mõju põhjaveele eelkõige reaktsioonid

$$FeS_2 + 5/9(\text{Illiit}) + 3.75O_2 + 3.5H_2O \rightarrow 1/3\ KFe_3(SO_4)_2(OH)_6 + 5/9\ (\text{Smektiit}) + 4/3\ SO_4^{2-} + 8/3\ H^+$$

$$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6 + 3H_2O \rightarrow 3Fe(OH)_3 + K^+ + 2SO_4^{2-} + 3H^+$$

ning happelise veega mobiliseeritud raskmetallid, mis ümbritsevasse keskkonda leostuvad. Nüüd osutuvad oluliseks teiste ümbriskivimite mõjud.

Kui on tagatud, et välja leostuv vesi puutub kokku lubjakividega, siis happelisus puhverdub

$$H^+ + CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + HCO_3^-$$

ning seoses pH äkktõusuga settivad välja ka raskmetallid.

Kahjuks aga on garantiid, et puistangus tekkiva happelise vee teele jääb kõikjale lubjakivi, mis lisaks ei kattu sekundaarsete mineraalide koorikuga ning on seeläbi pikka aega aktiivne, sisuliselt võimatu anda. Nii on ainsaks peamiseks lahenduseks isoleerida diktüoneemaargilliit nii kiiresti kui võimalik hapniku juurdepääsu eest – mattes selle savikihi alla, kattes hapniku difusiooni takistava kunstliku barjääriga või paigutades allapoole põhjaveetaset või veekogu põhja.

4.4.5. Eesti põlevkivituha mõju veekeskkonnale

Kukersiidi tolmpõletamisel elektrijaamade kateldes (mõneks sekundiks temperatuur kuni 1500 kraadi) tekivad keemilised reaktsioonid, mis kujundavad tuha koostise – mitmed nendest on omavahel seotud ja toimuvad üheaegselt.

(1) Orgaaniline aine oksüdeerub, tekib süsinikdioksiid ning väävlioksiidid;

(2) Püriit laguneb (lagunemine juba ca 550 kraadi juures) – vabaneb raud, tekivad väävlioksiidid;

(3) Karbonaatne aine laguneb (dolomiit ca 860 ning kaltsiit ca 950 kraadi juures), tekivad kaltsium- ja magneesiumoksiid ning vabaneb täiendav süsinikdioksiid;

(4) Karbonaatse aine lagunemisel tekkinud kaltsiumoksiid, vähem magneesiumoksiid, on keemiliselt kõige aktiivsem komponent ning mõne sekundi jooksul suudab domineerida, põhjustades järgmiseid reaktsioone:

a) reageerides väävlioksiididega moodustub kaltsiumsulfaat ($CaSO_4$, mineraalina anhüdriit), mis vähendab atmosfääri paiskuva vääveldioksiidi hulka;

b) reageerides silikaatsete mineraalidega ning rauaga tekivad tüüpilised tsemendimineraalid – kaltsiumsilikaadid, kaltsiumalumosilikaadid, kaltsiumferroaluminaadid;

c) siiski on põletamisprotsess nii kiire, et osa CaO-st jääb üle vabana – kui oleks rohkem aega, läheksid protsessid edasi ning vaba CaO-d ei jääks üle.

Seega sisaldab värske tuhk järgmisi komponente:
(1) vaba CaO;
(2) $CaSO_4$
(3) Tsemendimineraalid
(4) Reageerimata silikaatsed mineraalid (peamiselt kvarts, ka kaaliumpäevakivi) ning nn 'klaasifaas' – silikaatsete mineraalide baasil tekkinud amorfne faas, mis kiirel tardumisel mineraale ei moodustanud.

Keevkihtkatelde tuha erinevus tolmpõletamise tuhast seisneb eelkõige selles, et kaltsium- ja magneesiumkarbonaatide lagunemine oksiidideks on väiksem ning väävli sidumine sulfaatsesse vormi suurem. Seega, erinevalt tolmpõletamistuhast sisaldab keevkihtkatelde tuhk vähem vaba CaO-d ja tsemendimineraale ning täiendava komponendina on värskes tuhas alles kaltsium- ja magneesiumkarbonaadid.

Tuhkade kokkupuutel veega algavad sisuliselt koheselt keemilised reaktsioonid, mis on sarnased lubisideainete ja tsemendiklinkri ning vee reaktsioonidega.
1) Kiireimaks reaktsiooniks, mis algab kohe ja lõpeb mõne päevaga, on vaba CaO ehk kustutamata lubja reageerimine veega, tekib kaltsiumhüdroksiid $Ca(OH)_2$ ehk portlandiit.
2) Kaltsiumsulfaat ehk anhüdriit ($CaSO_4$) reageerib samuti veega, mõne päeva jooksul moodustub kips $CaSO_4*2H_2O$, mis hiljem läheb ettringiidi koostisesse;
3) Kaltsiumoksiid ning kaltsiumhüdroksiid, kips ja alumiiniumoksiidi-komponent klaasifaasist reageerivad veega ning moodustavad põlevkivituha peamise mineraali ettringiidi keerulise valemiga $3CaO*Al_2O_3*3CaSO_4*31.5H_2O$; juhul kui tekib väävlidefitsiit, kuid kaltsium- ja alumiiniumoksiidi komponente on veel alles, moodustub hüdroaluminaat, vist oli $4CaO*Al_2O_3*13H_2O$ – need reaktsioonid toimuvad ca paari nädala jooksul;
4) Pikemas ajaskaalas reageerivad veega teised tsemendimineraalid;
5) Kokkupuutel süsinikdioksiidiga atmosfäärist hakkab kaltsiumhüdroksiid üle minema kaltsiumkarbonaadiks.

Keskkonnakaitse seisukohalt on selge, et tuha leostumisel tekib paratamatult teatud koguses aluselist vett, mis põhjavee liikumise tagajärjel levib teatud kaugusele ning avaldab teatud ulatusega mõju põhjavee kvaliteedile. Sisuliselt tekivad sellised mõjud kõikide ehitustööde korral, kus kasutatakse tsementi või lupja. Seondades põhjavee liikumise hüdrogeokeemiliste põhjavee kvaliteedi muutumise mudelitega on võimalik hinnata leostumise käigus tekkivaid keskkonnamõjusid.

Põlevkivituhast leostuv vesi on küll aluseline, kuid aluseline on ka kõikidest tavabetoonidest leostuv vesi, sest betoonide tsementeeruvad omadused põhinevadki aluselises veekeskkonnas toimuvatel keemilistel reaktsioonidel. Aluselisuse mõju kaob täielikult leostuva vee segunemisel põhjaveega reaktsiooni

$$OH^- + HCO_3^- = CO_3^{2-} + H_2O$$

tulemusena.

Keskkonnatingimustega kalibreeritud mudel saab näidata, kui kaugele tuha ladestusalast tuha aluseline mõju ulatub. Põhjavee puhul on see eelkõige seotud tuhast leostuva vee ja põhjavee segunemisega eri vahekordades. Samuti settib segunemise tulemusena välja kaltsiit, mis sulgeb pooriruumi ning võib vähendada põhjavee leviku kiirust.

Seeläbi on ka maavarade kasutamisel tekkivate tahkete jääkide keskkonnamõjud suuresti prognoositavad. Mudelite abil saab näidata ja kalkuleerida põlevkivituha baasil valmistatud betoonisegude keskkonnamõjusid.

4.4.6. Kokkuvõte

Nii maavarade kaevandamise kui põletamise ja töötlemise tahkete jääkide mõju veekeskkonnale on võimalik prognoosida ning kasutada vajaduse korral neid prognoose ja kalkulatsioone sobilike kaevandamis- ja töötlemistehnoloogiate valikul.

Selline kompetents aga saab tekkida paljude praktiliselt läbi viidud uuringute tulemusena, kus on ühildatud nii teoreetilised modelleerimise tulemused, laborikatsed kui keskkonnas reaalselt jälgitavad protsessid. Modelleerimisel on võimalik teha lihtsaid vigu, unustades ära mõne olulise komponendi modelleeritavas süsteemis või hinnates valesti väljasettivaid mineraale.

Eesti põlevkivitööstuse reaalsete juhtumite jaoks loodud mudelid on end praktikas tõestanud. Kõige tähtsamaks komponendiks mudelite loomisel on samas oskus teoreetiliste teadmiste baasilt eristada määravad faktorid, protsessid ja võimalikud keemiliste reaktsioonide jadad. Iga juhtum on erinev, isegi põlevkivi tolmpõletustuha erinevad fraktsioonid on teatud ulatuses erinevate mõjudega.

Viidatud kirjandus

Banks, D., Younger, P.L., Arnesen, R.-T., Iversen, E.R. and Banks, S.B. (1997). Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly. Environmental Geology, 32/3, lk 157-174

Erg, K. (2005). Changes in groundwater sulphate content in Estonian oil shale mining area. Oil Shale, 22/3, lk 275-289

Parkhurst, L.-D. ja Appelo, C.A.J. (1999). User's guide to PHREEQC (version 2) — a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, United States Geological Survey (USGS), Water-Resources Investigations Report 99-4259, Denver, Colorado, lk 1-4

Plumlee, G.S., ja Nash, J.T. (1995). Geoenvironmental models of mineral deposits – fundamentals and applications: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-831, lk 1-9.

Puura, E. ja Neretnieks, I. (2000). Atmospheric oxidation of the pyritic waste rock in Maardu, Estonia, 2: an assessment of alumosilicate buffering potential. Environmental Geology 39/6, lk 560-566.

5. KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

Projekti üldeesmärgiks oli aidata kaasa saavutamaks Ida-Viru maakonnas võimalikult suurel määral head põhjavee kvaliteeti, piisavaid põhjaveevarusid ning head ligipääsu põhjavett puudutavale informatsioonile.

Ida-Viru maakonna põhjaveeprobleemistik on Eestis kõige teravam. See on tööstuspiirkond, kus Eesti peamist maavara – põlevkivi – on juba 90 aastat kaevandatud all- ja pealmaakaevandustes, põletatud soojuselektrijaamades ning töödeldud keemiatehastes.

Selle tulemusena on muutused põhjavee hüdroloogias ja hüdrogeokeemias praeguseks hetkeks suuremad kui kunagi varem. Sulfaadirikka vee väljapumpamine kaevandustest, uute voolukanalite teke kaevandamise tagajärjel ja põhjavee reostumine põletamise ja töötlemise käigus tekkinud tahkete jäätmete poolt põhjustavad ülisuurt mõju põhjaveevarudele, luues vajaduse tagada kasutatavate varude olemasolu ja kvaliteet ning vajaduse korral otsida ja leida alternatiivseid allikaid.

Sügavamatest Kambrium-Vendi veekogu-mitest välja pumbatav vesi on viimase aja uuringute põhjal kohati osutunud looduslikult saastunuks, sisaldades anomaalselt suuri miktoelementide (Ba, B) ja radionukleiidide kontsentratsioone. Samuti on põhjavee tasemed ja liikumine viimastel aastatel tugevasti muutunud, kuna mitu kaevandust on suletud ning elualad kannatavad üleujutuste all. Täiendav surve põhjaveele lähtub lisaks veel Sillamäe keemiatööstuse, intensiivse transpordivõrgustiku ning olme- ja ohtlike jäätmete prügilate poolt.

Euroopa Liidu uue liikmesriigina arendab Eesti põhjavee seiresüsteemi, mis vastab EL regulatsioonidele ning arvestab põhjaveeseire alaste rahvusvaheliste võrgustike soovitustega. Samal ajal peab Ida-Viru maakonna põhjaveesire süsteem vastama jätkuvatele kiiretele muutustele, mis iseloomustavad vaid seda Eesti piirkonda, ning eriti kohalikele ja regionaalsetele vajadustele tagamaks põhjavee kättesaadavust ja nõuetekohast kvaliteeti, samuti andmaks sisendeid kohalikele ja regionaalsetele planeeringutele.

Ida-Viru maakonnas arendatud kompleksne seire ja modelleerimise süsteem on Eestis rahvuslikuks pilootprojektiks, mis on otseselt Euroopa Liidu Vee Raamdirektiivi ning uue Põhjavee Direktiivi rakenduseks, samuti Eesti Vabariigi keskkonnaseire seaduse täitmiseks.

Projekt

1) analüüsis olemasolevat seiresüsteemi ning leidis vajakajäämised;
2) arendas olemasolevat seiresüsteemi edasi – lõi uusi seirekaeve ning paigaldas automaatse seire seadmed;
3) seiras saasteainete edasillikumist põhjavees ning põhjaveetasemeid;
4) arendas välja regionaalse mudeli, mida saab kasutada planeerimiseks, koolituste läbiviimiseks ning selgitusteks;
5) korraldas koolitused riigiametnikele, ettevõtete esindajatele ning üliõpilastele;
6) kannab tulemused üle teistesse maakondadesse, demonstreerides projekti raames saavutatut.

Projekti raames rajati 9 puurkaevude gruppi - kokku 20 uut seirekaevu, puurimistööde kogumahuks kujunes 924 m. Osteti 99 andurit, mis paigaldati 95 seirekaevu, sh 64

põhjaveetaseme ja vee temperatuuri mõõteandurit 300l LT Levelloger Gold, 4 õhurõhu automaatset registreerijat 300l LT Barologger, 24 põhjaveetaseme ja vee temperatuuri mõõteandurit 300l LTC Junior ning 7 sügavate kaevude jaoks sobilikku põhjaveetaseme ja vee temperatuuri mõõteandurit Ceramic CTD DI 237.

Projekti põhijäreldusena võib lugeda seda, et üks kõige olulisemaid tegevusi Ida-Virumaa ja kogu Eesti põhjavee eest hoolt kandmisel on teadus- ja arendustöötajate, riigiametnike, kohalike omavalitsuste spetsialistide ning ettevõtete spetsialistide vahelise kompetentsivõrgustiku toimimine – selge teadmine, mis on kellegi kompetentsid, millega iga lüli süsteemis tegeleb ning kustkohast vajaduse korral saada informatsiooni, konsultatsioone, aga ka konkreetselt varude hinnanguid ja prognoose põhjavee kasutamise eri stsenaariumide korral ning uute põhjaveega seonduvate projektide käivitamisel.

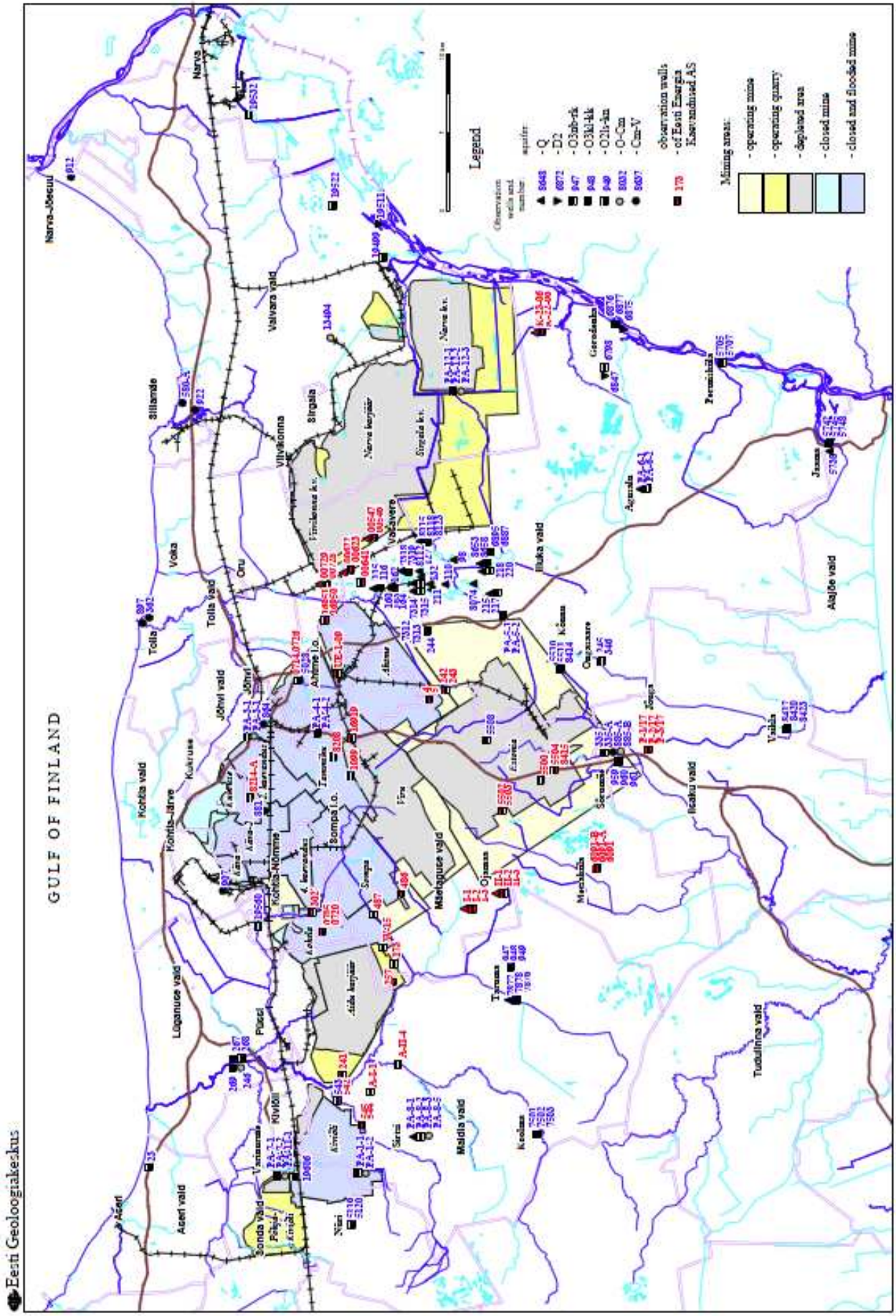
Hiljuti Eestis olnud Nõiakaevu juhtum näitas selgelt, et kui ühtset kompetentsivõrgustikku pole, on mistahes uute projektide käivitamine sisuliselt võimatu, ebakompetentsuse tasanditelt tekivad emotsioonid, mida on võimatu pidurdada.

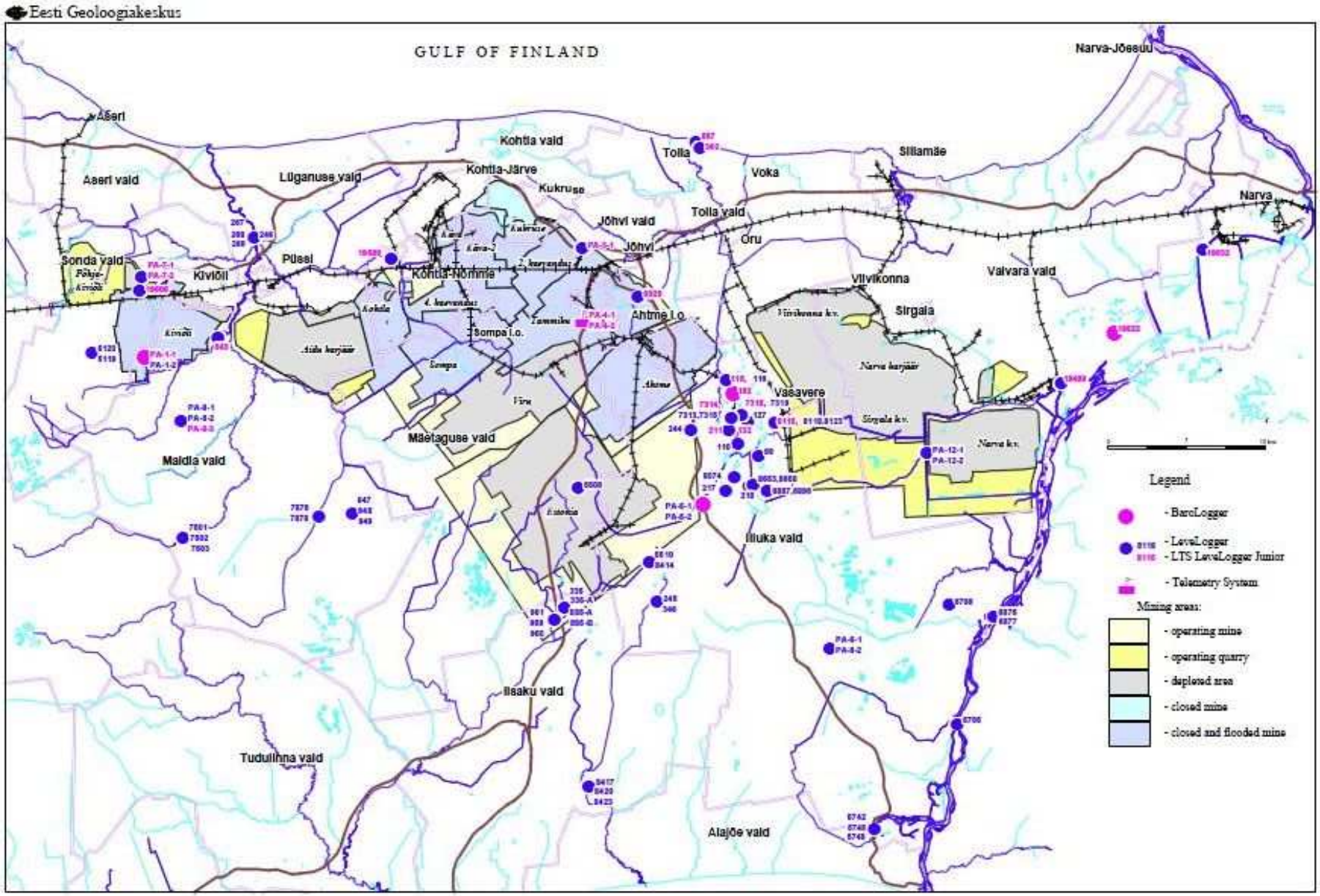
Ida-Virumaa on kompetentside kasutamise seisukohalt üks kõige konstruktiivsemaid piirkondi. Põhjaveega seonduvalt on Ida-Virumaal lahendatud väga keerulisi ülesandeid ning senini on ekspertide poolt koostatud prognoosid olnud korrektsed.

Käesoleva projekti üheks põhiväärtuseks on ka erinevate teadus- ja arendusasutuste ekspertide omavaheline koostöö ning selge tööjaotus, üksteist täiendav ekspertiis.

Loodetavasti õnnestub seda ekspertiisi siirata projekti lõpukoolituse raames ka laiemalt keskkonna- ja veespetsialistidele. Tähtsaim aga on, et spetsialistid teaksid, et ka keerukatele küsimustele on vastused olemas ning teavad ka, kuhu konkreetselt missuguse küsimusega pöörduda.

Lõpuks kaks kokkvõtvat skeemi – esimesel Ida-Virumaa uuendatud põhjaveeseire kaevude võrgustik ning teisel paigaldatud andurite asukohad.


Eesti Geoloogiakeskus
GULF OF FINLAND
Legend
Observation wells and number
aquifer
- Q
- D2
- O3nb-rk
- O3kl-kk
- O2ls-kn
- O-Cm
- Cm-V
observation wells
- of Eesti Energia Kaevandused AS
Mining areas:
- operating mine
- operating quarry
- depleted area
- closed mine
- closed and flooded mine
Narva
Narva-Jõesuu
Sillamäe
Valvara vald
Sirgala
Vilvikonna
Vaivara
Voka
Oru
Tolla
Tolla vald
Jõhvi vald
Kohtla vald
Kohtla-Järve
Kohtla-Nõmme
Lüganuse vald
Püssi
Kiviõli
Aseri vald
Sonda vald
Maidla vald
Mäetaguse vald
Iisaku vald
Alajõe vald
Tudulinna vald
Narva k.v.
Sirgala k.v.
Vivikonna k.v.
Narva kerjäär
Aidu kerjäär
Sompa l.o.
Ojamaa
Tarama
Kõnnu
Ongusaare
Jõuga
Vaikla
Jaama
Agusala
Permishiha
Gorodenka
Kiviõli
Sirmi
Koolma
Nüri
Aseri


Eesti Geoloogiakeskus
GULF OF FINLAND
Narva-Jõesuu
Aseri
Aseri vald
Kohtla vald
Lüganuse vald
Kohtla-Järve
Kukruse
Tolla
Sillamäe
Voka
Jõhvi vald
Tolla vald
Narva
Jõhvi
Oru
Sonda vald
Püssi
Kiviõli
Kohtla-Nõmme
Viivikonna
Valvara vald
Sompa l.o.
Ahtme l.o.
Sirgala
Vasavere
Maidla vald
Mäetaguse vald
Iiluka vald
Illuka vald
Ilisaku vald
Tudulinna vald
Alajõe vald
Legend
- BaroLogger
- LevaLogger
- LTS LevaLogger Junior
- Telemetry System
Mining areas:
- operating mine
- operating quarry
- depleted area
- closed mine
- closed and flooded mine

Küsimused, milllele iga koolituse läbinu peaks oskama vastata

Osa 1

1. Missugused on Ida-Virumaa peamised põhjaveekihid ja –kogumid?
2. Missuguseid neist kasutatakse joogiveevarustuseks?
3. Missugused neist on enim ohustatud ja miks?
4. Kui palju moodustab pindmine äravool ja põhjavee toitumine sademete hulgast?
5. Missugune on eri veekihtide vastavus EL nõuetele?

Osa 2

6. Missugused on põhjavee seisundi peamised muutused töötavate kaevanduste piirkonnas?
7. Missugused on Ida-Virumaa peamised kaevanduste mõju tõttu tekkinud üleujutusohtlikud piirkonnad?
8. Kuidas erinevad teineteisest SEJ tuha ning keemiatehaste tahkete jääkide keemilised mõjud veekeskoonnale?
9. Mis on põhiprobleemid Cm-V vee kvaliteediga?
10. Kuhu rajati projekti raames uued seirekaevud ning missugused andurid paigaldati – kuhu ja kui palju?
11. Kuidas toimub andurite abil informatsiooni saamine?

Osa 3

12. Mis on riikliku seire ja ettevõtteseire ülesanded?
13. Mis on tugivaatluskaevud, kuidas on nende paiknemise tihedus Ida-Virumaal jaotunud? Miks?
14. Mille järgi määratakse põhjaveetasemete mõõtmissagedust? Kuivõrd ja miks on automaatmõõtmine parem käsitsimõõtmisest?
15. Missugused on saasteainete edasiliikumise põhiprobleemid Kiviõli Keemiatehase, VKG, Narva Elektrijaamade puhul?

Osa 4

16. Mis on modelleerimise põhieesmärgid?
17. Missugustest komponentidest koosneb Ida-Virumaa regionaalne mudel?
18. Mida saab prognoosida kaevanduspiirkonna ja Ida-Virumaa mudeli abil?
19. Mida saab prognoosida punkreostusallikate mõju mudeli abil?
20. Mida saab prognoosida Cm-V vee modelleerimise abil?
21. Kuidas täiendab hüdrogeokeemiline modelleerimine regionaalset mudelit?
22. Missugune on Eesti hüdrogeoloogia alane kompetentsivõrgustik?