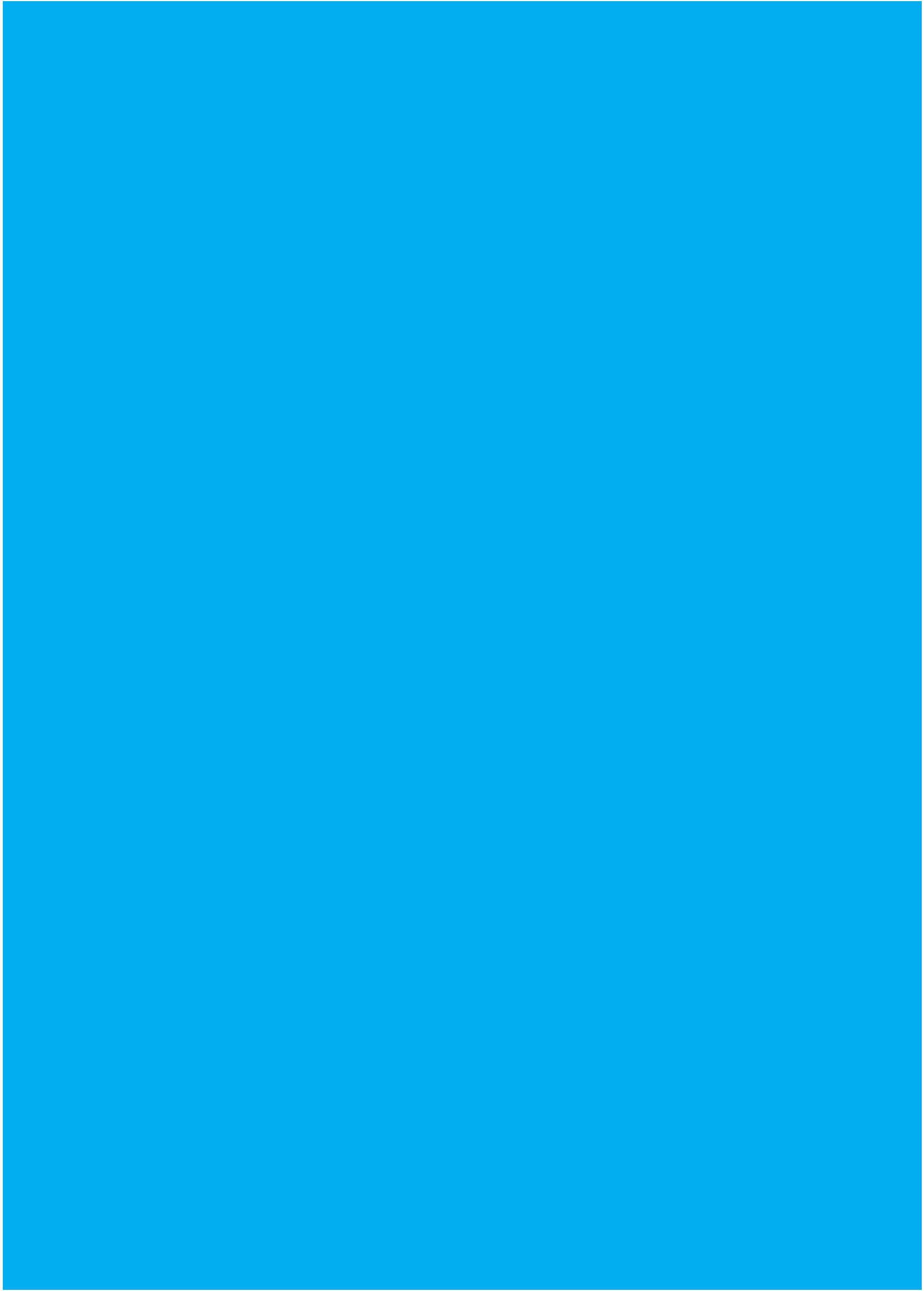


Liite 13

Kolarin Hannukaisen alueen maa- perän kerrostumat ja pohjavesi- geologiset olosuhteet



Tiivistelmä: Kolarin Hannukaisen alueen maaperän kerrostumat ja pohjavesigeologiset olosuhteet

Veli-Pekka Salonen

Johdanto

Ympäristötutkimuksilla on kaivoshankkeissa kasvavan tärkeä merkitys, koska on havaittu, että puutteellisin tiedoin toteutettu kaivostointa voi aiheuttaa pahimmillaan monenlaisia ympäristöongelmia. Ongelmat ovat kuitenkin vältettävissä, mikäli uhkatekijät tunnetaan jo ennakolta niin että niihin voidaan kaivostoiminnan toteutusvaiheessa varautua. Ympäristövaikutukset vaihtelevat kaivoskohteesta toiseen johtuen monesta eri tekijästä. Niitä ovat itse malmin ja sen sivukivien ominaisuudet, hyödynnettävät metallit, kaivostekniikka, rikastustekniikka sekä luonnonolosuhteet ilmastotekijöistä geologisiin taustatekijöihin. Pohjavesiin liittyvät ympäristökysymykset ovat usein keskeisiä, sillä niillä saattaa olla laaja-alaisia vaikutuksia, ja toisaalta niiden tuntemus on usein vähäistä.

Hannukaisen suunniteltu kaivosalue sijoittuu maaperägeologisesti erityisen haastavalle alueelle, jossa tiedettiin jo etukäteen olevan poikkeuksellisen paksuja ja monimutkaisia maaperän kerrostumia, ja joiden pohjavesivarastoista tai pohjaveden yhteyksistä pintavesiin oli varsin niukasti ennakkotietoa. Tämän vuoksi Helsingin yliopiston geologian osasto ja Northland Mines Finland sopivat tutkimusyhteistyöstä, jossa kaivosalueen ympäristögeologisia olosuhteita selvitetäisiin kaivoshankkeen suunnittelua tukevalla tavalla. Raportissa kuvataan kesällä 2011 tehtyjen tutkimusten tulokset neljän eri osaprojektin muodossa. Tämä suomenkielinen tiivistelmä esittää keskeiset tiedot samassa järjestyksessä kuin ne on raportissa esitetty. Tiivistelmässä viitataan myös joihinkin raportin kuviin käyttäen siinä sovellettua kuvanumerointia.

Maaperän kerrostumat

Länsi-Lapin maaperäkerrostumat tiedetään poikkeuksellisen paksuiksi ja monimutkaisiksi johtuen siitä että alue oli jääkausien aikana toistuvasti

ns. jäänjakajavyöhykettä, jossa mannerjäätikön alustansa kohdistama kulutus oli heikkoa ja aikaisemmat kerrostumat säilyivät kulutukselta. Jäätikön vetäytyessä sen sulamisvesien lajittelemat hiekka- ja sorakerrostumat ovat hyvin yleisiä. Kaiken kaikkiaan maaperä on huomattavasti paksumpaa kuin Lapissa keskimäärin. Alueelta on löydetty lukuisia aikaisemmista jääkausista kertovia maaleikkauksia, joista Rautuvaaran entisen avolouhoksen seinämät tunnetaan parhaiten. Myös Kittilässä on löydetty monia kohteita (Naakenavaara, Tepsankumpu, Petäjäselkä), joissa on säilynyt viimeistä jääkausivaihetta vanhempia kerrostumia. Keskisen Lapin maaperän kerrosjärjestys ja jäätikköhistoria on kuitenkin vielä monilta osin selvittämättä, sillä kerrostumien luotettavia ajoituksia ei ole tehty tarpeeksi.

Tämä pitää etenkin paikkansa sora- ja hiekkakerrostumien suhteen. Lapin maaperäkartoituksen perusteella tiedetään, että alueella on ainakin kaksi eri-ikäistä harjusysteemiä ja lisäksi eri-ikäisiä jokikerrostumia, joihin liittyy huomattavia pohjavesivarastoja. Vaikka niillä ei ole vedenhankinnan kannalta merkitystä, ovat ne tärkeä seikka suunniteltaessa kaivostoimintaa ja sen vesijärjestelyjä. Näin ollen nähtiin tärkeäksi tehdä maaperän syntyyn ja ikään liittyvä erillinen tutkimus, jonka kohteena olivat erityisesti jo olemassaolevat mutta aikaisemmin tutkimattomat Laurinajan avolouhoksen irtomaaseinämät. Maaperätutkimuksen tarkoituksena oli myös antaa kiinnekohtia samaan aikaan suoritettujen maatutkaluotausten sekä pohjavesihavaintojen tulkinnoille.

Maaperätutkimuksia varten Laurinajan avolouhoksen seinämästä puhdistettiin neljä leikkausta (Kuva: Fig. 1.3.). Lisäksi alueella tehtiin kahdeksan koekaivantoa ja havainnoitiin maa-ainesten ottopaikoilta maakerrostumien koostumusta ja ominaisuuksia (Fig. 1.2.). Kerrostumien suuntaelementtejä mitattiin, niistä tehtiin rakenne- ja raekoostumismäärityksiä ja niitä ajoitettiin neljällä OSL-näytteellä. Kaikista yksiköistä tutkittiin vedenjohtavuuskertoimia

ja moreenikerrostumista määritettiin niiden kivilajikoostumus. Tulokset on koottu yhteen kuvassa 1.13, jossa on esitetty kaavamaisesti Hannukaisen maaperän kehityksen tärkeimmät vaiheet.

Maaperän paksuus Laurinojan leikkauksella on jopa 16 metriä, ja siinä on erotettavissa neljän eri jäätiköitymisvaiheen kerrostamia moreeneja sekä niiden välissä olevia hiekka- ja sorakerrostumia. Alin moreeniyksikkö (yksikkö 1 kuvassa 1.13) on rapautuneita malmikiviä sisältävä hiekkamoreeni, joka löytyi aivan leikkauksen pohjasta, välittömästi kallion päältä. Sen päällä on hiekkainen, hyvin lohkarainen moreeniyksikkö (2), jota peittävät lustosavet ja -siltit (yksikkö 3), jotka ovat kerrostuneet jään patoamaan järveen. Jääjärviskerostuman päälle on kasautunut jokisoraa ja -hiekkaa (yksiköt 4 ja 5), joille saatiin 35 – 56 000 vuoden ikä. Ne osoittavat tämän jäätikkösyklin B olevan keski-Veikselin jäätiköitymisvaiheen ikäinen. Keskellä kerrossarjaa oleva moreeniyksikkö (6) on hyvin ohut, ja paikoin se on näkyvissä vain voimakkaana pohjoisesta etelään suuntautuneina työntörakenteina alla olevissa hiekoissa. Sen päällä ovat paksut keskikarkeiden hiekkojen kerrostumat, jotka on tulkittu jäätikköjoen suulle syntyneiksi deltakerrostumiksi. Ylimpänä kerrossarjassa on nuorimman jäätikkövaiheen (D) kasvuun ja sulamiseen liittyviä moreeni- (8) ja sorakerrostumia (9). Maaperää peittää yleisesti tuulen kerrostama hiekka (10), jonka paksuus vaihtelee puolen metrin ja metrin välillä.

Havainnot vahvistivat nykykäsitystä, jonka mukaan alueella on vaikuttanut ainakin kolme erillistä jäätiköitymisvaihetta viime jääkauden aikana. Niiden yhteydessä jäätikkö on vuoroin edennyt kerrostaen moreeneja ja vuoroin sulanut, jolloin maaperään on kerrostunut jääjärvisavea, jokihiekkoja ja soraa, deltakerrostumia tai harjukerrostumia. Harjukerrostumat ovat pääasiassa vanhoja, viimeistä jäätiköitymistä edeltäviä (punaisella merkityt kartassa 1.14). Nuori, vihreällä merkitty harjujakso tavattiin vain aivan Laurinojan louhoksen tuntumassa. Kaikki kerrostumat ovat viime jääkauden, eli Veikselin aikaisia ja on merkillepantavaa, että hyvin vettä johtavat sorat ja hiekat ovat maaperän vallitseva kerrostuma. Kallioperä havaittiin koekaivannoissa pinnaltaan voimakkaasti rapautuneeksi.

Maatutkaluotausten tulokset

Maatutka (GPR) on geofysikaalinen tutkimuslaitteisto, jolla lähetetään maahan sähkömagneet-

tisia pulsseja, joiden takaisin heijastuvasta signaalista voidaan tehdä päätelmiä maaperän ominaisuuksista. Hannukaisissa tehdyn tutkimuksen tavoitteena oli hankkia kattava aineisto, jonka perusteella voitaisiin arvioida maapeitteiden paksuutta, maaperän kerrosjärjestystä sekä pohjaveden esiintymistä koko suunnitellun kaivostoiminnan alueella. Maatutkaluotaus ja sen tulosten käsittely on raportissa esitetty kahtena omana kappaleenaan, joiden keskeiset tulokset on tiivistetty seuraavassa.

Tutkimuksessa käytettiin mahdollisimman matalataajuisia (100 ja 50 MHz) antennoja, joiden läpäisevyys kuivilla hiekkaisilla mailla on varsin hyvä (jopa >45 m). Signaalin laatu pyrittiin saamaan mahdollisimman häiriöttömäksi käyttämällä suojaamatonta ns. matoantennia sekä välttämällä aitoja, sähkölinjoja ja maastokulkuvälineiden käyttöä. Käytännössä tutkaus suoritettiin jalkaisin laitteistoa kantaen ja vetäen niin että yhteensä prosessoitua linjastoa kertyi lopulta n. 100 km (taulukko Table 2.1, Fig. 2.3.) jakautuen 83 erilliseen profiiliin. Mittapisteet sidottiin koordinaatistoon GPS-laitteiston avulla ja tulosten prosessoinnissa sekä tulkinnoissa käytettiin ReflexW ja opendTect -ohjelmistoja. Tutkalinjojen maastokorkeudessa saavutettiin suuri tarkkuus, koska mittapisteet voitiin sitoa hyvin tarkkaan LIDAR-korkeusmalliin. Kun signaali oli prosessoitu (häiriöiden poisto, kohinan ja kerrannaiskaikujen eliminointi, signaalin homogenisointi sekä topografiakorjaus) voitiin sen perusteella tehdä tulkintoja maaperän kerrosjärjestyksestä ja pohjavesiolosuhteista. Tulkin-toja vahvisti se, että maatutkauksen prosessituloksia voitiin verrata Laurinojan leikkauksen maaperägeologisiin havaintoihin, kuten on esitetty kuvassa 2.4.

Tutka-aineistoissa voitiin havaita maaperän kolme kerrostumaelementtiä, jotka olivat Alin, Keskimmäinen ja Ylin kerrosekvenssi. Alin sekvenssi on pohjaveden kyllästämä, pohjaveden pinnan ollessa osapuilleen louhoslammen tasolla (190 m. mpy). Keskimmäinen sekvenssi on varsin deformatunut ja siihen samoin kuin ylimpään sekvenssiin liittyi erillisiä pohjaveden kyllästämiä orsivesiosueita. Maapeitteiden paksuus ei korreloi suoraan topografian kanssa, vaan suuria kerrospaksuuksia tavattiin myös ylävimmillä alueilla kuten Kuervaaran rinteillä aina 280 metrin korkeuteen asti (Fig. 2.5.). Maastomuodoilla ei havaittu mitään lineaarisia, jäätikön alueelliseen kulutukseen liittyviä rakenteita, kuten ei myöskään selkeitä jokilaakson elementtejä. Topografialtaan tutkittu alue voidaan jakaa kol-

meen osa-altaaseen, joille annettiin nimet Laurinojan piilolaakso (LBV), Läntinen painauma (WD) ja Koillisallas (NEB). Laurinojan piilolaakso viettää kohti Äkäsjokea, Läntinen painauma on suoraan yhteydessä Valkeaojan laaksoon ja Koillisallas puolestaan Kuerjokeen (Kuva 5.1., s. 91).

Tutkatulkinnassa ilmeni eräitä maaperän rakennepiirteitä, jotka eivät näy maanpinnan topografiassa. Eräs sellainen ovat Kuervaaran rinteillä olevat terassikerrostumat (Fig. 2.8.), jotka ovat ilmeisesti aikaisemman jääkauden sulamisen yhteydessä syntyneitä rantamuodostumia. Korkeimmillaan niitä on 260 metrin korkeudessa ja ne todennäköisesti liittyvät Keski-Veikselin jääjärven tai Eem-meren rantavöimien toimintaan. Toinen merkittävä ilmiö liittyi uomastoihin, joita on etenkin tutkimusalueen pohjoisosissa. Uomat ovat osin topografisesti erotettavissa, mutta toisinaan niissä on paksuja turvekerrostumia. Uomiin liittyy hiekkaisia ja soraisia särkkämäisiä kerrostumia ja ne voidaan tulkita Muonion jääjärven purkautumiskanaviksi, jotka jääkauden lopulla muodostivat tämän tästä kulkuansa vaihtaneen palmikoivan jokiverkoston. Prosessoidussa maatulka-aineistossa ilmeni myös vanhempia kanavarakenteita (esim. Fig. 2.9.), mutta niiden ikää tai syntymekanismia ei voida sen tarkemmin arvioida. Kaikilla kerrostumissa ilmeni toistuvien jäätiköitymistien aiheuttamia siirrosrakenteita, mikä vahvistaa käsitystä alueen monimutkaisesta kerrostumishistoriasta.

Tutka-aineistosta voitiin tulkita, että alueella on viisi erillistä pohjavesivarastoa eli akviferiä: 1) Alimpana kerrossarjassa oleva lohkarikko/rakka. 2) Vanhimmat jokisorat ja -hiekat. 3) Keskimmäiseen jäätikkösystemiin liittyvät deltakerrostumat. 4) Pinnimmainen moreeni ja siihen liittyvät harjukerrostumat. 5) Särkkähiekoilla täyttyneet jääjärven purkaukanavat. Pohjavesivarastoja erottaa kolme erillistä akvitardia, joilla tarkoitetaan huonosti vettä läpäiseviä yhtenäisiä kerrostumia. Ne ovat: 1) Alimpana olevat jäätikköjärven hienosedimentit 2) Keskimoreeni ja 3) Ylin moreeni.

Alin lohkarikko ja rakka yhtyy Kuervaaran terassirakenteisiin (Kuva 2.11) ja se toimii todennäköisesti tärkeänä aluellisena pohjavesiä keräävänä systeiminä. Laajimmat pohjavesivarat liittyvät ilmeisesti vanhoihin jokisoriin ja hiekkoihin, jotka osoittautuivat useimmiten täysin veden kyllästämiksi. Sen sijaan ylempänä olevissa akvifereissä pohjavesi esiintyy usein pienialaisina rikkonaisina orsivesinä. Kaiken

kaikkiaan pohjavesigeologiset olosuhteet ovat hyvin monimuotoiset, ja niiden täydellinen ymmärtäminen edellyttää merkittävästi lisähavaintojen tekemistä etenkin Läntisen painaman ja Koillisaltaan alueelta. Laurinojan piilolaakso on parhaiten tunnettu ja sen pohjavesivarojen hallinta on jo nykytietojen valossa mahdollista.

Raportin 3. osassa maatulka-aineisto yhdistettiin kairausaineistoihin ja maastohavaintoihin tavoitteena määrittää vedellä kyllästyneen aineksen tilavuutta, kallioperän topografiaa sekä muita pohjaveden esiintymiseen ja virtaukseen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimusalueen topografia on esitetty kuvassa 3.1. Aineistoon yhdistettiin noin 800 inventointikairauksen kalliopintatiedot sekä 20 pohjavesiputken sisältämä maaperäinformatio. Topografiamalliin sidottuja maatulkapisteitä oli n. 24 000. Rakennemalli luotiin Gocad-ohjelmalla, jolla voitiin tasoittaa epätasaisen pistejakauman aiheuttamaa vääristymää (Kuva 3.3.) ja saada aikaan todellisuutta mahdollisimman hyvin vastaava kallion pintamalli (kuva 3.4.).

Mallitulokset on esitetty 25 metrin ruutukoossa, koordinaatistona KKJ2. Pintamalli on 10 metrin ruudukossa, ja se perustuu LIDAR-aineistoon (Kuva 3.6.). Kalliopinta-aineisto prosessoitiin tarkistetuista kairaustiedoista, pohjavesiputkista ja paljastumatiedoista, joiden perusteella sähkömagneettisista aallonnopeuksista laskettiin kallionpinnan asema tutka-aineistossa (Kuva 3.11). Lopullinen kalliopinnan 3D geometria saatiin yhdistämällä näiden kaikkien aineistojen tiedot (Fig. 3.12).

Kalliopinnan topografia on hyvin pieni-piirteistä eikä maaperän paksuusvaihteluilla (kuva 3.13) näytä olevan suoraa yhteyttä kalliopinnan muotoihin. Maapeitteiden paksuus vaihtelee välillä 0 – 102 m, mediaanarvon ollessa 17,65 m ja keskiarvon 20,38 m (Kuva 3.14). Maapeitteiden kokonaistilavuus tutkitulla alueella on n. 1,8 km³.

Sähkömagneettisten aaltojen etenemisnopeutta voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa maaperän huokosten vesikyllästyneisyyttä. Sedimenttien keskimääräiseksi aallonnopeudeksi saatiin 0,088 m/ns. Aallonnopeus on hitaampi (0,06) jos sedimentti on täysin veden kyllästämää, ja nopeampaa kuivilla hiekoilla (0,15 m/ns). Saatujen parametrien perusteella voitiin laskea, että Hannukaisten tutkimusalueen akviferien vesikylläisyysaste on 62,6 %. Edelleen arvioimalla sedimenttien alueelliseksi huokoisuudeksi 15 %, voidaan laskea, että tutkimus-

alueen pohjaveden kokonaismäärä on luokkaa 0,1 km³, eli 100 milj. m³. Tästä vesimäärästä noin kaksi kolmasosaa on hyvin vettä johtavissa hieka- ja sorakerrostumissa. Valtaosa pohjavedestä on 15 – 25 metrin syvyydellä maanpinnasta, ja pinnanläheinen pohjavesi esiintyy hajanaisina orsivesialtaina, joilla ei ole alueellista merkitystä (Kuva 3.17). Sähkömagneettisen aallonnopeuden suhde maanpinnan korkeuteen (3.18) osoittaa, että alueellinen pohjaveden pinta asettuu 190 metrin korkeustasolle.

Kuvassa 3.19 on esitetty pinta- (siniset nuolet) ja pohjavesien (punaiset nuolet) todennäköiset virtaussuunnat, jotka perustuvat maanpinnan ja vastaavasti kallionpinnan topografiseen malliin. Kalliokynnykset rajaavat potentiaaliset pohjavesivirtaukset edellä mainittujen kolmen osa-alueen (LBV, WD ja NEB) sisälle. Karttaa voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa mahdollisia haitta-aineiden kulkeutumisreittejä, mutta on muistettava, että tässä tarkastelussa ei ole huomioitu orsivesien, paineellisten pohjavesien tai maaperän todellisen vedenjohtavuuden vaihteluiden vaikutusta. Tulos kuitenkin viittaa vahvasti siihen, että Laurinojan piilolaakson alueella on parhaat edellytykset vesitaseen täydelliseen hallintaa myös kaivoksen ollessa toiminnassa. Sen sijaan Läntisen painauman alueella maanalaisilla vesillä on suora yhteys Valkeajokeen, samoin kuin Koillisaltaan alueella Kuerjokeen. Tässä käytössä olevan tutkimusaineiston perusteella on vaikea arvioida edes alustavasti, mikä tulisi olemaan Kuervitikon suunnitellun louhoksen vaikutus Koillisaltaan erittäin suuriin pohjavesivarastoihin, ja miten niiden yhteydet Laurinojan suuntaan muuttuisivat.

Pohjavesitutkimukset

Pohjavesitutkimusten tavoitteena oli kuvata tarkemmin pohjavesivarastojen eli akviferien ja pohjaveden liikettä hidastavien akvitardien ominaisuuksia, mitata maaperän vedenjohtavuuskertoimia sekä tehdä havaintoja pohjaveden pinnasta ja virtaussuunnista. Lisäksi kartoitettiin pohjavesien ja pintavesien yhteyksiä, määritettiin pohjaveden kemiallista ja isotooppikoostumusta sekä arvioitiin nykyisen pohjaveden seurantaverkon toimivuutta.

Hannukaisten alueella on yli 20 eri konsulttien asentamaa pohjaveden tarkkailuputkea sekä useita syväkairausreikiä, joista on monitoroitu pohjaveden pintaa ja laatua. Näistä 23 putke-

sta kerättiin tässä raportoitavan tutkimuksen havainnot kesällä 2011. Putkikortit täydennettiin niin, että niitä voidaan tarkastella yhteneväisesti (Liite, App. 3, s. 82). Pohjavesiputkista ja pintavesistä otettiin perusvesikemiallisia näytteitä, metallinäytteitä ja stabiilien isotooppien määrittämisnäytteitä sekä mitattiin pH, happi ja sähköjohtavuus kenttämittarilla. Kaikki näytteet on lueteltu taulukossa 4.1. ja niiden tulokset taulukoissa 4.2. – 4.4. Analyysit suoritettiin Helsingin yliopiston Geokemian laboratoriossa, minkä lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin Northland Mines monitoroinnin yhteydessä analysoituja vedenlaatutietoja. Yhteensä 34 maaperänäytteestä tehtiin raekoostumukseen perustuvia vedenjohtavuusmäärittäyksiä, joita täydennettiin kuudella imeytystestillä. Maaperänäytteistä parhaimmat vedenjohtavuusarvot olivat harju- ja jokisorilla jotka edustivat yksikköjä 4 ja 5 (Taulukko 4.6.). Suurimmalla osalla näytteistä mitattiin kohtalainen vedenjohtavuus ($K = 10^{-4} \dots 10^{-6}$ m/s). Moreeneilla ja silteillä oli huono vedenjohtavuus ($10^{-7} - 10^{-8}$ m/s). Nämä yksiköt saattavat muodostaa orsivesiä pidättäviä akvitardikerrostmia.

Pohjaveden purkautumista pintavesistöihin tutkittiin asentamalla minipietsometreja Äkäsjoen pohjaan sekä mittaamalla vesien lämpötilaa ja stabiilien isotooppien suhdetta. Veden happen ja vedyn stabiilien isotooppien suhde muuttuu haihdunnan seurauksena, jolloin keveämmät isotoopit poistuvat ja vesi rikastuu raskaampien isotooppien suhteen. Haihdunnalle altistunut pintavesi voidaan tällä keinolla tunnistaa pohjavedestä.

Vesianalyysien ja pohjavesiputkien mitaukset osoittivat että alueen tarkkailuputkista vain muutama täytti kelvollisen monitorointiputken vaatimukset. Näitä hyviä kaivoja olivat BH101, BH103, BH109 ja SP312. Useimmiten kaivot oli asennettu liian mataliksi, jolloin niissä näkyy vain orsiveden pinta eikä akviferien syvenemistä osista saada mitään tietoa. Lisäksi muutamat pohjavesiputket olivat kuivia (BH402, HAN_OW_02S) tai niihin pääsi pintavettä (LAU11MET07, LAU11MET04, SP311). Kuvissa 4.7 – 4.10 on esitetty eräiden pohjavesiputkien sijainti maatutkaprofiililla. Liitteessä 1 pohjavesiputkien sijainti on esitetty kartalla.

Pohjavesien analyysitulokset olivat ionitasapainon perusteella arvioituna korkealaatuisia ja joissakin (HAN=W 08D, SP305, SP310, SP317) ilmenee kaivosvaikutus jolloin vesi on Ca-Mg-SO₄ -tyyppistä kun tyyppilliset luonnolliset pohjavedet ovat Ca-CHO₃ -tyyppisiä (Fig. 4.14.

ja 4.15). Myös Äkäsjokeen purkautuvassa pohjavedessä on pietsometrinäytteen MP3 perusteella havaittavissa kaivosvaikutusta.

Pohjaveden pinnankorkeus vaihteli 173,1 – 242,3 metrin korkeudella merenpinnasta ja veden pääasialliseksi virtaussuunnaksi havaittiin pohjois-eteläsuunta. On kuitenkin selvää, että enin osa pohjavedenpintahavainnoista liittyy paikallisiin olosuhteisiin eikä tämän aineiston perusteella voida tehdä päätelmiä alueellisen, syvällä olevan varsinaisen pohjaveden tasosta tai virtaussuunnasta.

Isotooppisuhteet osoittavat että tutkitut pohjavedet vastaavat $\delta^{18}\text{O}$ -arvoltaan tyypillisiä Pohjois-Suomen arvoja (-15 ... -14,5). Kuerjoen ja Laurinojan louhoslammikoiden vesi oli voimakkaimmin haihtunutta. Valkeajoen ja Kuerjoen isotooppisuhde osoittaa niiden saavan valtaosan vesistään pohjavesien purkautumisen myötä. Taulukossa 4.5 on esitetty tutkittujen vesien isotooppisuhteet ja kuvassa 4.13 niiden ryhmittäminen puhtaiksi pintavesiksi (vihreät), pohjavesiksi (siniset) tai niiden sekoitukseksi (punaiset symbolit).

Yhteenvedona voidaan todeta, että Hannukaisen alueen pohjavesiolosuhteet ovat varsin mutkikkaat. Alueella on erittäin laajoja pohjavetta varastoivia kerrostumia, jotka liittyvät moreenipeitteisiin hiekka- ja soraesiintymiin. Yleisiä ovat myös pohjavettä pidättävät kerrostumat, joiden ansiosta orsivesiesiintymät ovat tavallisia. Pohjavesi on siis kahdessa tai jopa kolmessa kerroksessa. Alin pohjaveden taso on osittain paineellinen etenkin Laurinojan piilolaakson alueella.

Loppuyhteenvedo

Osassa 5 on koottu yhteen tutkimuksen tärkeimmät havainnot, jotka on kiteytettävissä seuraavasti:

Hannukaisen maaperässä on nähtävissä tietellisesti merkittävä monipuolinen kerrossarja, joka tarkoittaa tietoa etenkin Keski-Veikselin ilmastovaiheen tapahtumista Lapissa. Pääosa Laurinojan leikkauksen kerrostumista on 35 000 – 55 000 vuoden ikäisiä, siis tuntuvasti nuorempia kuin aikaisemmin on oletettu.

Maaperän kerrostumista noin 70 % on soraa ja hiekkaa, jotka liittyvät eri ikäisiin harju- ja jokikerrostumiin. Muonion jääjärven purkautumisen yhteydessä on syntynyt osittain hiekalla täytetty kanavaverkosto, joka näkyy erityisen selvästi Laulukarhakan – Aavahelukan

alueella.

Moreenikerrostumat ovat ohuita ja epä-jatkuvia ja niiden vedenläpäisevyys on vain kohtalainen, joten ne synnyttävät orsivesikerroksia. Pohjavedet esiintyvät kahdessa tai jopa kolmessa kerroksessa, ja niiden alin, alueellinen taso on 190 metrin tuntumassa.

Sedimenttien paksuusvaihtelu on 0 – 102 metriä, mediaanipaksuuden ollessa 17,65 m. Tutkimusalueen koko oli 89,1 km² ja siellä olevien maaperäkerrosten kokonaispaksuus on 1,8 km³. Alueella olevan pohjaveden määräksi arvioitiin 100 milj m³, josta enin osa on hyvin vettä johtavissa hiekka- ja sorakerrostumissa.

Hiekkojen ja sorien vedenjohtokyky on hyvä (luokkaa 10⁻³ ... 10⁻⁵ ms⁻¹). Moreenien vedenjohtavuus on kohtalainen (10⁻⁵ ... 10⁻⁶ ms⁻¹) ja silteille sekä lustosaville saatiin laskennalliseksi K-arvoksi 10⁻⁷ ... 10⁻⁸ ms⁻¹.

Vain osa alueen pohjaveden tarkkailuputkista täyttää niille asetetut laatuvaatimukset. Niitä ovat BH101, BH103, BH109, SP310 ja SP312, jotka osoittavat että alueen luonnollinen pohjavesi on Suomessa tyypillistä elektrolyytiköyhää Ca-HCO₃ -tyypin pohjavettä. Osa tarkkailuputkista edustaa orsivettä (SP304, SP305, SP314 ja SP317) ja osassa tarkkailuputkia (HANOW 08D, SP305, SP310 ja SP317) näkyy aikaisemman kaivostoiminnan vaikutus kohonneena liukoisten aineiden määrinä, jolloin vedet ovat Ca-Mg-SO₄ -tyyppiä.

Vesien stabiilien isotooppien koostumusta voidaan käyttää tunnistettaessa pinta- ja pohjavedet toisistaan sekä määrittämällä niiden sekoitussuhdetta. Tulokset osoittavat, että pohjavettä purkautuu Laurinojan suunnasta Äkäsjokeen ja että Kuerjoen ja erityisesti Valkeajoen vesi on pääasiassa pohjavettä.

Kalliokynnykset ja sedimenttien esiintyminen jakaa pohjavedet kolmeen pääasialliseen altaaseen: Laurinojan piilolaakso (LBV), Läntinen painauma (WD) ja Koillisallas (NEB). Näistä Laurinojan piilolaakson pohjavedet ovat parhaiten hallittavissa suunnitellun kaivostoiminnan yhteydessä. Läntisen painauman pohjavesillä on suora yhteys Valkeajokeen ja Koillisaltaan rajaamalla pohjavesillä Kuerjokeen.

Kuvassa 5.1. on suunniteltu kaivostoiminnat projisoitu karttapohjalle, jossa näkyy myös pohjavesiin ja vettä hyvin johtaviin kerrostumiin liittyviä tekijöitä. Vihreällä on merkitty harjujaksojen kulku, keltaisilla viivoilla kanavaverkosto ja sininen katkoviiva rajaa pohjavesialtaita, joiden sisällä pohjaveden virtaus toteutuu sinisten nuolien osoittamiin suuntiin.

