

Karhu kiertää – tuoreimpia geologian alan väitöstutkimuksia



Kuva: Henrik Kalliomäki

22.10.2021 Susanne Åberg,
Helsingin yliopisto

Hydrogeologinen 3D-virtausmallinnus kaivostoiminnan suunnittelualueella kompleksisen hydrostratigrafian alueella Pohjois-Suomessa (3D hydrogeological modelling at a mining development site with complex hydrostratigraphy in northern Finland)

Kaivosprojektien määrä on lisääntymässä pohjoisilla alueilla, joissa kompleksiset kvartaari-sedimenttikerrostumat peittävät rapakalliota ja joissa alueen pohjavesivarastot tunnetaan usein heikosti. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on lisätä ymmärrystä pohjavesien ja pintavesien liikkeistä ja vuorovaikutuksista ekologisesti herkillä pohjoisilla alueilla, joissa on kaivostoimintaa tai sen suunnittelua, taikka muuta ihmisen toimintaa.

Pinta- ja pohjaveden vuorovaikutus on

tärkeää tunnistaa, sillä jokien ranta-alueilla ja aapasoidilla on usein tärkeitä pohjavesivaikutteisten ekosysteemien esiintymisalueita. Aapasuot ovat yleisiä pohjoisella boreaalisella vyöhykkeellä, mutta niiden yhteys muihin vesistöihin ja pohjavesivarastoihin on usein huonosti tunnettu. Mikäli ravinnerikkaille lettoalueille suunnitellaan kaivostoimintaa, tarvitaan yksityiskohtaista tietoa ja ymmärrystä paikallisesta vesitaseesta sekä pohjaveden muodostumis- ja purkautumiskuvioista, jotka linkittyvät suoraan maaperän rakenteeseen. Pohjoiset alueet ovat jäätiköityneet toistuvasti viimeisten jääkausien aikana synnyttäen monimutkaisen sedimenttisukession. Heikon jäätikön kulutuksen alueella vuorottelevat alhaisen vedenjohtavuuden moreenit ja vaihtelevat lajittuneet sedimentit, joilla on usein moreeneja selvästi korkeampi hydraulinen johtavuus. Glasiaali-interglasiaalisyykliä synnyttämät vaihtelevat ja hajanaiset sedimenttiyksiköt ovat hydrogeologisen mallinnuksen kannalta haastavia ympäristöjä.

Tutkimusalue sijaitsee Natura 2000 -suo-

jellun Viiankiaapa-nimisen aapasuon alueella, jonka alapuolella on rikas Ni-Cu-PGE-esiintymä. Aapasuon vieressä virtaava säännöstely Kitisen joki vaikuttaa hydrologialtaan Viiankiaavan läntiseen osaan, jossa esiintyy oletetusti pohjavesivaikuttajia ekosysteemejä. Vesivoimalaitosten rakentaminen ja jokien säännöstely ovat muuttaneet tutkimusalueen hydrologiaa 1970-luvulta lähtien. Tutkimuksen ensimmäinen tavoite oli 1) karakterisoida pohjaveden muodostuminen/purkautuminen ja virtauskuviot maaperän pohjavesisysteemissä ja kallion ylimmässä osassa, 2) tutkia maa- ja kallioperän hydrostratigrafisen mallin kompleksisuuden lisäämisen vaikutusta mallinnettuihin pohjaveden muodostumis-/purkautumis- ja virtauskuvioihin, ja 3) selvittää, miten joen säännöstely on vaikuttanut Viiankiaavan hydrologiaan ja pohjavesivaikutteisten suokasvilajien esiintymiin. Toinen päätavoite oli kehittää heikon jäätikön kulutuksen alueelle sijoitettaville kaivostoiminnan suunnittelualueille soveltuva pohjaveden 3D-virtausmallinnuksen työnkulku. Pohjaveden 3D-virtausmallinnusta sovellettiin pohjaveden muodostumis-/purkautumis- ja virtauskuvioiden mallintamiseen tutkimusalueella. Tulvamallinnusta käytettiin puolestaan säännöstelyä edeltävän tulvan vaikutusalueen laajuuden selvittämiseen ja sen arvioimiseen, miten tulviminen on vaikuttanut suoalueen pohjavesivaikutteisten kasvien esiintymiin. Veden hapen ja vedyn stabiileja isotooppeja ja lämpökamerakuvausta miehittämättömällä lentoalustalla hyödynnettiin pohjaveden purkautumisalueiden tunnistamiseen sekä pohjaveden virtausmallien verifioimiseen.

Pohjaveden virtausmallinnusten tulosten perusteella pohjavesi virtaa tutkimusalueella pääasiassa suolta kohti Kitistä. Viiankiaavalla osa suovedestä imeytyy pohjavesivyöhykkeeseen ja virtaa kohti Kitistä purkautuen paikoin suolla ja joen rannan lähteissä. Pohjaveden muodostumis-/purkautumis- ja virtauskuvioihin vaikuttaa maaperän kerrosten hydrostra-

tigrafinen rakenne, kallioperän pintaosan rikkonaisuus ja rapauma sekä topografian vähäiset vaihtelut suolla.

Pohjaveden virtausmallien tulosten mukaan maa- ja kallioperän hydraulisen johtavuuden suuri vaihtelu on keskeinen syy siihen, että pohjaveden muodostumis-/purkautumiskuvio on yksityiskohtaisempi ja hajautetumpi hydrostratigrafisesti yksityiskohtaisemmissa malleissa kuin yksinkertaisemmissa malleissa. Rapakallion esiintyminen ja luonne vaikuttavat maaperän pohjaveden ja kallioperän pohjaveden yhteyksiin, sillä rapautuneen kallioperän hydraulinen johtavuus vaihtelee paljon riippuen sen rapautumisasteesta.

Matarakosken ja Kelukosken vesivoimalaitosten rakentaminen on muuttanut tutkimusalueen hydrologiaa vähentäen joen tulvimista ja nostaten joen vedenpinnan tasoa. Joen vedenpinnan tason nousu on loiventanut pohjaveden hydraulista gradienttia kohti jokea. Hydraulisen gradientin muutos on puolestaan nostanut pohjaveden pintaa ja lisännyt pohjaveden purkautumista suon länsilaidalla samalla vähentäen pohjaveden purkautumista Kitiseen. Mallinnustulokset osoittavat lisäksi, että joen säännöstelyn aiheuttamat muutokset ovat muuttaneet pohjaveden pintaa alueilla, joissa tutkittuja pohjavesivaikuttajia esiintyy yleisesti.

Kehitetyn pohjaveden 3D-virtausmallinnuksen työnkulun pääkohtina ovat 1) määrittää maaperän ja kallioperän hydrostratigrafiset yksiköt perustuen jäätikön synnyttämiin moreeniyksiköihin ja niiden välissä esiintyviin lajittuneisiin sedimentteihin sekä kallioperän rikkonaisuusvyöhykkeisiin, 2) käyttää vapaan akviferin mallinnukseen sopivia mallinnuskoodeja kuten MODFLOW-NWT:tä ja 3) muuttaa hydrostratigrafista rakennetta perustuen pohjaveden virtauksen mallinnus-, kalibrointi- ja verifiointituloksiin iteratiivisella tavalla. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että geologinen 3D-mallinnus ja pohjaveden 3D-virtausmallinnus ovat yhdessä käyttökelpo-

poinen työkalu, jota voidaan hyödyntää jo kaivostoiminnan suunnitellun alkuvaiheessa. Pohjaveden ja vesistöjen yhteyksien karakterisoinnilla sekä tutkimalla historiallisen ja nykyisen ihmistoiminnan vaikutusta alueen hydrologiaan ja hydrogeologiaan voidaan saavuttaa arvokasta tietoa jo perustilatutkimusvaiheessa.

Väitöskirja verkossa:

<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/334954>

19.11.2021 Raul Mollehuara
Canales, Oulun yliopisto

**Applied hydrogeophysics for
characterisation of tailings facilities
(Rikastushiekkojen karakterisointi
hydrogeofysikaalisilla menetelmillä)**

This thesis presents the investigation results of interpreting hydrogeological and elastic properties in tailings storage facilities within the framework of hydrogeophysics.

In this research, two geophysical methods were used for data acquisition: Seismic refraction (SR) and Electrical resistivity imaging (ERI). The application of seismic refraction (SR) and multichannel analysis of surface waves (MASW) was to obtain seismic velocity models (i.e., V_p and V_s), whereas electrical resistivity imaging (ERI) was applied

to obtain cross-section models with bulk electrical resistivity data. In this approach, the outputs of the SR method set the geometric constraint for the inversion of the apparent electrical resistivity data in the ERI model.

This research found that geophysical methods such as ERI and SR can retrieve high-resolution data from the subsurface of tailings facilities mapping the structure, the phreatic line, the dynamics of water, and detecting changes associated with the electrical resistivity response of the tailings media.

The thesis also describes the methods and workflow for establishing dependencies between the geophysical signature (i.e., compressional and shear wave velocity models, electrical resistivity models) and the physical and water-related properties of the tailings media. The dependences in the form of empirical equations are key for filling the gap of theoretical deductions.

Furthermore, this thesis contributes to the research field through a unified workflow for integrating petrophysical and 'rock' physics principles in the interpretation of geophysical data in tailings facilities. The interpretation describes and estimates quantitatively the state condition of the tailings subsurface in terms of hydrogeological (i.e., water saturation, water content, porosity) and elastic properties.

Väitöskirja verkossa:

<http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526231051.pdf>