



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jesse-Joonas Hakala

---

## **Kokkokankaan pohjavesialueen esikunnostussuunnitelma**

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma (AMK)



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Jesse-Joonas Hakala

Työn nimi: Kokkokankaan pohjavesialueen esikunnostussuunnitelma

Ohjaaja: Marita Viljanmaa

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 41

Liitteiden lukumäärä: 8

---

Pohjavesien suojeleminen pilaantumiselta on puhtaan juomaveden saannin kannalta ihmiskunnalle elintärkeä asia. Pohjavettä tulee suojella, ja pohjavesialueita kunnostaa pohjaveden laadun heiketessä. Tutkimus käsittelee pääosin pohjavesialueen kunnostusta, mutta sivuaa myös pohjavesien suojeleminen. Kehittyvän tekniikan avulla voidaan saada parempaa tietoa pohjavesistä ja maaperästä, jossa pohjavedet sijaitsevat. Maaperätutkimukset pohjavesialueilla ovatkin tärkeä osa pohjavesiin liittyviä tutkimuksia esimerkiksi pohjaveden virtaussuuntien selvittämiseksi.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kunnostuskohteen nykytilannetta ja kartoittaa kunnostustarvetta sekä miettiä, miten kunnostusta lähdetään suunnittelemaan ja toteuttamaan tulevaisuudessa. Tutkimuksen taustana on Isonkyrön kunnan asettama kunnostustarve tutkimuskohteelle.

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä Isonkyrön kunnan ja Länsi-Suomen ELY-keskuksen kanssa. Tutkimusmenetelmänä käytettiin kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, jolloin tulkittiin pohjavesialueen kunnostusta kokonaisvaltaisesti aikaisempaan tutkimustietoon pohjautuen sekä nykytilanteen huomioiden. Opinnäytetyön tutkimustuloksena on pohjavesialueen esikunnostussuunnitelma, joka ei sisällä massalaskelmia, koska ne on tehty jo aikaisemmin tietyille alueille.

<sup>1</sup> Asiasanat: pohjavesi, pilaantuminen, kunnostus, suojeleminen, maaperä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author/s: Jesse-Joonas Hakala

Title of thesis: Pre renewal plan for the groundwater area of Kokkokangas

Supervisor(s): Marita Viljanmaa

Year: 2022

Number of pages: 41

Number of appendices: 8

---

The groundwater conservation from contamination is a vital part for having sustainable, clean drinking water for humans. Groundwater must be conserved, and groundwater areas must be renewed as the groundwater quality weakens. The thesis studied mainly the renewal of groundwater areas, but it also discussed groundwater conservation. With constantly developing technology, information is more readily available about groundwater and the ground, where the groundwater is located. Soil quality research in the groundwater areas is an important part of groundwater studies, groundwater flow directions, for instance.

The aim of the thesis was to study the current situation of the renewal area and to survey the renewal need of the area and consider how to begin with the renewal planning and executing the plan in the future. The background for the thesis was the need of the municipality of Isonkyrö to set a renewal of the target area.

The thesis was executed as a cooperation with the municipality of Isokyrö and Western-Finlands ELY-keskus. The research method used in the thesis was qualitative when interpreted groundwater area's renewal holistically according to earlier studies and taking into consideration the ongoing situation. As a result of the thesis study, a pre renewal plan of the groundwater area was made. The plan did not include mass calculations because they already existed in certain areas.

<sup>1</sup> Keywords: groundwater, contamination, renewal, protection, ground

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 Johdanto .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoitteet.....	8
1.3 Työn rajaus .....	9
1.4 Työn toimeksiantaja .....	10
2 Pohjavesi.....	11
2.1 Pohjavesien synty .....	11
2.2 Pohjavesien käyttö Suomessa .....	11
2.3 Pohjavesien pinnankorkeudet Suomessa .....	13
2.4 Pohjavesien suojele .....	15
2.4.1 Pohjavesien pilaantumista uhkaavia tekijöitä .....	16
2.4.2 Pohjavesialueiden suojelusuunnitelma .....	16
3 Kokkokankaan esikunnostussuunnitelma .....	17
3.1 Kokkokankaan pohjavesialueen hydrogeologia .....	17
3.1.1 Pohjaveden virtaussuunnat.....	18
3.1.2 Lähi- ja kaukosuojavyöhykkeet .....	19
3.2 Pohjavesilammikot .....	19
3.3 Pohjavesilammikoiden kunnostus .....	20
3.4 Pohjavesialueen pintarakenteet ja kasvillisuus .....	21
3.5 Lisäkunnostustoimenpiteet.....	21
3.6 Kunnostuksen seuranta ja jälkihoito .....	22
3.7 Kunnostuksen riskit .....	23
4 Teknologia pohjavesialueiden kunnostuksen tukena .....	25

4.1	Kallioperän topografia .....	25
4.2	Pohjaveden lämmityspotentiaali geotermisellä energialla Suomessa .....	27
4.3	Laserkeilausaineisto .....	28
4.4	QGIS .....	29
5	Opinnäytetyön tulokset .....	33
5.1	Tuloksien yhteenveto ja jatkotoimenpiteitä .....	33
5.2	Tuloksien analysointi .....	34
5.3	Johtopäätökset .....	34
6	Pohdinta .....	36
	LÄHTEET .....	39
	LIITTEET .....	41

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Tutkimusalueen sijainti.....	10
Kuvio 2. Talousveden laatusuositukset yksityiskaivoille. GTK. Suluissa olevat arvot ovat vedenottamoille annetut enimmäispitoisuudet. ....	13
Kuvio 3. Laihia Kylänpää pohjaveden korkeus. Tulvakeskus/Suomen ympäristökeskus (SYKE) vesistöennusteet 2021–2022. ....	14
Kuvio 4. Pohjaveden pinnan korkeusennuste päivämäärälle 15.2.2022. Vesi.fi karttapalvelu. ....	15
Kuvio 5. Kaaviollinen piirros pitkittäisharjun synnystä mannerjäätikön edustalle syvään veteen. Piirrokset: Harri Kutvonen, GTK. ....	18
Kuvio 6. Kallionpinnantasotaso painovoimalinjoilla. Kuva T. Valjus, GTK. ....	26
Kuvio 7. Suomen maankamaran jatkuvasti uusiutuva lämpöteho. GTK. 13.12.2019.....	28
Kuvio 8. 2D-näkymä lämpövärikoodeilla QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.....	30
Kuvio 9. 2D-näkymä Google Satelliitilla QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.....	31
Kuvio 10. 3D-näkymä pohjavesilammikoista QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022. ....	31
Kuvio 11. 3D QGIS-näkymä lämpövärikoodeilla QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.....	32

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>ELY-keskus</b>	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
<b>Akviferi</b>	Maa- tai kivilajiesiintymä, joka varastoi ja johtaa vettä niin hyvin, että siihen tehdystä kaivosta saadaan vettä.
<b>Tekopohjavesi</b>	Tekopohjavesi on pohjavettä, jota valmistetaan lisäämällä pohjavesiesiintymän luontaista antoisuutta imeyttämällä esiintymään esikäsiteltyä tai käsittelemätöntä pintavettä.
<b>Hydrogeologia</b>	Maanpinnan alaista vettä, sen esiintymistä, geokemiaa ja sen suhdetta geologiseen ympäristöön tutkiva tiede.
<b>Topografia</b>	Topografia tarkoittaa maan pinnanmuotojen yksityiskohtaista kuvaamista.
<b>Geoterminen energia</b>	Geoterminen energia on maan sisältä tulevaa lämpöä, joka on varastoitunut syvälle maankuoreen.
<b>QGIS</b>	QGIS on vapaa paikkatieto-ohjelmisto, joka sisältää mahdollisuuden tiedon selaamiseen, muokkaamiseen ja analysointiin.
<b>Lohkoketjuteknologia</b>	Lohkoketjuteknologia mahdollistaa hajautetusti tuotetut digitaaliset valuutat, älykkäät sopimukset, mikromaksut, sähköiset omaisuusrekisterit, identiteetti- ja maineenhallintarekisterit, äänestysjärjestelmät, laitteiden väliset keskinäiset maksut ja autonomiset organisaatiot (Wikipedia, 2021).

# 1 Johdanto

Pohjavedet ovat uusiutuva luonnonvara, mutta niitä uhkaa jatkuvasti pilaantuminen (Maa- ja metsätalousministeriö, i.a.) Pohjaveden pilaantuminen on usein peruuttamaton, hyvin vaikeasti korjattavissa oleva asia, minkä takia pohjavesien suojeleminen on puhtaan juomaveden saannin säilyttämisen kannalta elintärkeä asia. Pohjavesialueiden kunnostaminen on suojelun lisäksi varmistamisen keino säilyttää pohjaveden laatu tarpeeksi laadukkaana, jolloin siitä voidaan valmistaa juomavettä. Pohjavesivarastot voivat teoriassa myös ehtyä, mikäli ihmisten pohjavesien käyttöaste ylittää niiden uusiutumistasen. Pohjavesiä suunnataan pääosin vesihuoltolaitosten avulla ihmisten käyttöön talousvedeksi. Talousveden lisäksi pohjavedet ovat tärkeitä esimerkiksi elintarviketeollisuuden kannalta. Pohjavedet ovat toiseksi suurin makean veden varasto maapallolla jäätiköiden jälkeen.

Länsi-Suomen ympäristökeskus on tehnyt yhteistyössä Isonkyrön kunnan sekä Ylistaron kunnan kanssa vuonna 2000 Pohjaveden suojelusuunnitelman sekä maa-ainesten oton yleissuunnitelman ja kunnostussuunnitelman. Tässä opinnäytetyössä on hyödynnetty osittain näitä jo ennestään tutkittuja tietoja pohjavesialueelta. Tietolähde on Isonkyrön kunnan sisäinen. Opinnäytetyössä oleviin kohtiin, joissa näitä tietoja on hyödynnetty, on merkitty lähdeviitteeksi (sisäinen tietolähde, 2000.)

## 1.1 Työn tausta

Työn taustana on Isonkyrön kunnan asettama kunnostustarve tutkimuskohteelle sekä huoli pohjavesialueen kunnosta. Kunnostustarpeen myötä on tullut myös tarve kunnostussuunnitelmalle, jollainen on jo olemassa, mutta se kaipaa päivitystä. Ilmeisesti kunnostus ei ole aikaisemmin ollut ajankohtainen tai kunnostukseen tarvittavia resursseja ei ole saatu. Nyt aikaisemmasta pohjavesialueen kunnostamisesta on jo niin kauan aikaa, että kunnostaminen on ajankohtaista.

## 1.2 Työn tavoitteet

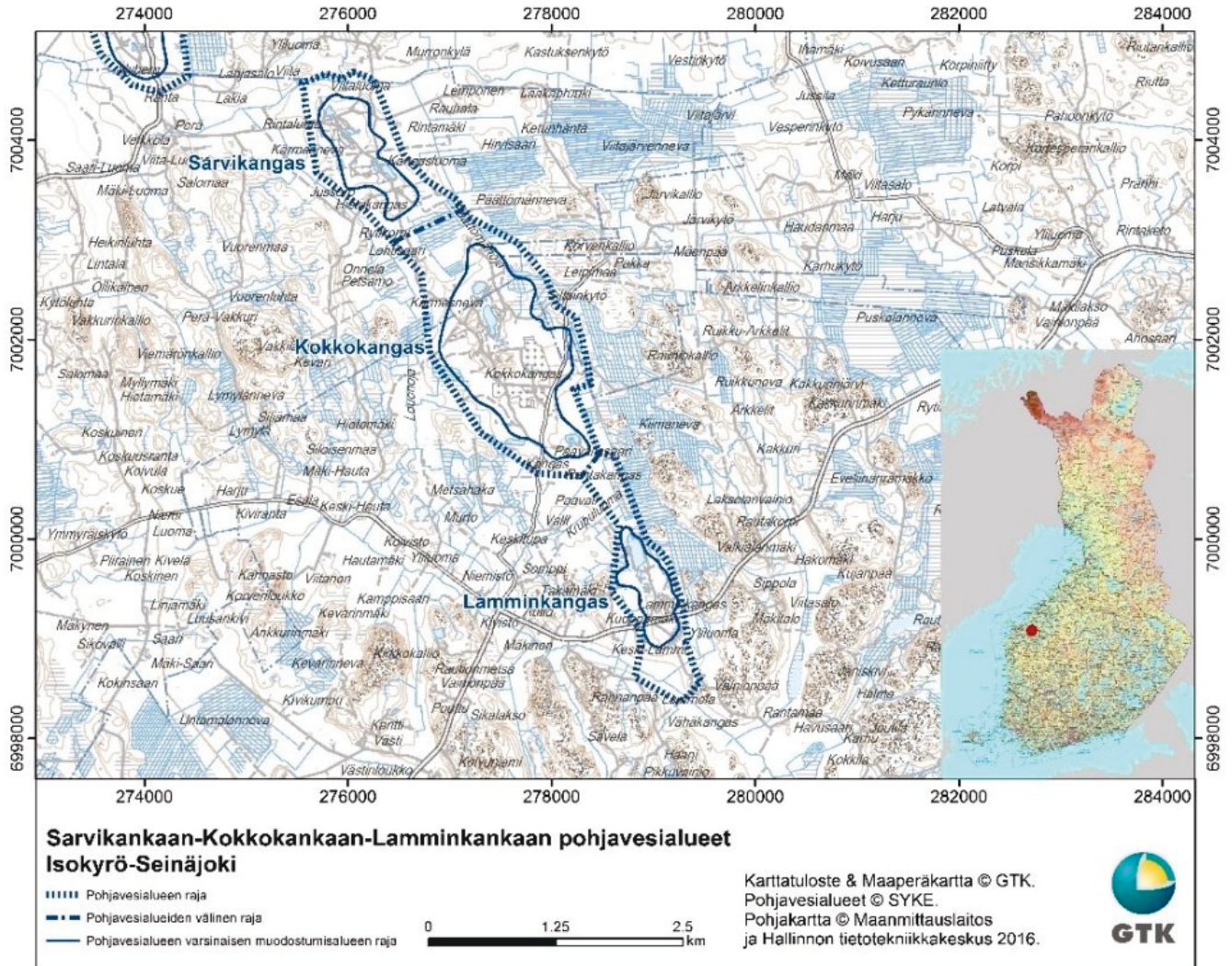
Tutkimuksen tavoitteena on selvittää kunnostettavan kohteen nykytilannetta ja kartoittaa kunnostustarvetta sekä miettiä, miten kunnostusta lähdetään suunnittelemaan ja

toteuttamaan tulevaisuudessa. Tavoitteena esikunnostussuunnitelman teossa on kartoittaa kunnostuksen aikaisia riskejä ja keinoja niiden ennaltaehkäisemiseksi. Työn tavoitteena on tutkia Kokkokankaan pohjavesialueen kunnostusta kokonaisvaltaisesti aikaisempaan Kokkokankaan pohjavesialueen kunnostussuunnitelmaan pohjautuen ja soveltaa samalla uutta tutkimustietoa pohjavesistä. Tavoitteena on päivittää aikaisempi kunnostussuunnitelma nykyaikaisemmaksi. Tavoitteina ovat myös jatkotoimien pohdinta ja pohjaveden sekä maaperän laadun säilyttäminen.

### **1.3 Työn rajaus**

Työ on rajattu tutkimusalueeltaan Kokkokankaan pohjavesialueeseen, ja sisällöltään se on rajattu tutkimuskohteen kannalta olennaisiin pohjaveteen liittyviin tietoihin ja tutkimuksiin. Koko pohjavesialue itsessään on laaja kolmen pohjavesialueen kokonaisuus, joka muodostuu Sarvikankaan, Kokkokankaan ja Lamminkankaan pohjavesialueista (kuvio 1). Tutkimus käsittelee pääosin Kokkokankaan pohjavesialuetta, mutta se käsittelee myös koko pohjavesialuetta osittain kokonaisuutena, sillä pohjavesialueet ovat virtausyhteydessä keskenään, jonka vuoksi niitä tulisi käsitellä yhtenäisenä alueena. Pohdinnassa ei ole käytetty edellä mainittuja rajauksia.

Työtä rajattaessa on otettu huomioon tiukka aikataulu, jonka vuoksi opinnäytetyökin on nimetty esikunnostussuunnitelmaksi. Varsinaisen kunnostussuunnitelman tekeminen alusta alkaen olisi liian työläs aikatauluun nähden, minkä vuoksi kunnostussuunnitelma keskittyy esitietojen keräykseen ja nykyisen tilanteen kartoitukseen. Työ sisältää kuitenkin päivitettyjä kunnostustapoja ja ehdotuksia, joita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa, sekä käy läpi niiden hyötyjä ja riskejä.



Kuvio 1. Tutkimusalueen sijainti.

#### 1.4 Työn toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimii Isonkyrön kunta ja tarkemmin kunnan tekninen osasto. Yhteistyökumppanina projektissa on toiminut myös ELY-keskus. Kunnan tekninen osasto vastaa mm. sen alueen hoidossa olevien teiden ja liikennealueiden kunnossapidosta. Isonkyrön kunnalle kuuluu myös vesihuoltolaitos, joka sijaitsee Kokkokankaalla. Kokkokankaalla sijaitsee myös pohjavesialue, josta vesihuoltolaitos jakaa vettä kunnan asukkaiden käytettäväksi. Pohjavesialuetta, sen maaperän ja pohjaveden laatua, on aikaisemmin jo tutkittu ja sitä seurataan jatkuvasti. Pohjavesialueen aikaisemmista tutkimuksista ja kunnostuksista huolimatta tulisi pohjavesialueelle laatia päivitetty kunnostussuunnitelma.

## 2 Pohjavesi

Tämä luku käsittelee pohjavesien syntyä yleisesti sekä niiden käyttöä Suomessa. Tässä luvussa on esitetty tutkittuja lukuja pohjavesien muodostumisesta vuorokauden aikana Suomessa yleisesti. Lisäksi luvussa on käsitelty Sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asettamia suosituksia ja tavoitteita. Luvussa on myös esitetty pohjavedenpinnankorkeuksien peruseriaatteita sekä kerrottu pohjavesien suojelusta.

### 2.1 Pohjavesien synty

Pohjavesi on maanpinnan alapuolelle vajonnutta vettä, joka syntyy, kun maanpinnan yläpuolella oleva vesi eli pintavesi kulkeutuu kerrostuvien maa-ainesten, kuten kivien ja sedimenttien, ja välissä olevien tyhjien tilojen läpi täyttäen maaperässä olevat ontelot ja kallion halkeamat (MooMooMath and Science, 2019). Näitä pohjaveden täyttämiä tiloja ja maakerroksia kutsutaan akvifereiksi. Akviferit ovat suuria maanalaisia kivikerroksia, jotka ovat täynnä pohjavettä. Akviferejä voidaan myös kutsua pohjavesivarastoiksi. Nämä pohjavesivarastot sijaitsevat eri tasoissa maanpinnan alapuolella. Pohjavesivarastot luokitellaan niiden pinnan mukaan. Yksinkertaistettuna pohjavedeksi kutsutaan pohjavesivarastoissa sijaitsevaa vettä.

Pohjavesialue tarkoittaa maa-aluetta, jolta otetaan tai on mahdollista ottaa vettä yleensä kaivojen avulla yhdestä pohjavesivarastosta erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten talous- ja juomavedeksi (sisäinen tietolähde, 2000). Pohjavesialueet ovat geologisia muodostumia, joissa maaperä muodostuu karkearakeisista ainesosista, usein sorasta tai hiekasta. Tällöin maaperän huokostilavuus on suuri ja hyödynnettävä pohjavesivarastokin on huomattava. Pohjaveden pitää kuitenkin olla myös hyödynnettävissä, jotta sitä voidaan käyttää talousveden tuotantoon. Käytettävyyttä voidaan selvittää esimerkiksi kaivojen täyttymisnopeudella ja pohjaveden virtausnopeuden avulla.

### 2.2 Pohjavesien käyttö Suomessa

Suurin osa pohjavesialueista sijoittuu Lapin ELY-keskuksen alueelle. Tällä alueella on noin kolmannes koko Suomen pohjavesialueista. Vähiten pohjavesialueita on Ahvenanmaalla

sekä Pohjois- ja Etelä-Savon ELY-keskusten alueilla (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu, 2020). Pohjavesialueilla on arvioitu muodostuvan pohjavettä noin 5,4 milj. m<sup>3</sup> vuorokaudessa. Tästä määrästä on arvioitu, että vedenhankintaa varten tärkeillä pohjavesialueilla muodostuu pohjavettä 2,8 milj. m<sup>3</sup>/d, vedenhankintakäyttöön soveltuvilla alueilla 1,4 milj. m<sup>3</sup>/d. Pohjavettä ja tekopohjavettä käytetään noin 0,7 milj. m<sup>3</sup> vuorokaudessa eli noin 240 milj. m<sup>3</sup> vuodessa. Suomessa käytetään siis vain noin kymmenesosa kaikesta muodostuvasta pohjavedestä.

Suomessa yleisten vesilaitosten käyttämästä raakavedestä 59 % on pohjavettä tai tekopohjavettä (Maa- ja metsätalousministeriö). Vettä myös tuodaan Suomeen 26 400 m<sup>3</sup>/vuosi, mutta viedään vain 1300m<sup>3</sup>/vuosi. Suomessa riittää siis vettä, mutta silti sitä tuodaan enemmän kuin viedään. Tämä johtuu suomalaisten yritysten useista epäonnistuneista yrityksistä päästä suurten toimijoiden hallussa olevalle vesitoimialalle. Epäonnistumisen syynä on usein ollut pääoman puute ja liian vähäinen markkinointi.

Suomessa talousveden laatusuositukset ja -tavoitteet on määritellyt sosiaali- ja terveysministeriö (Finlex, 401/2001). Suositukset ja vaatimukset talousveden käyttökelpoisuuteen on esitetty vaikuttavien aineiden ja ominaisuuksien enimmäispitoisuuksista (kuvio 2). Yleisimmät pohjaveden kemialliset haitat ovat suuret rauta- ja mangaanipitoisuudet, jotka usein ylittävät raja-arvosuositukset. Hapan vesi aiheuttaa vesijohtoverkon korroosiota, ja siksi talousveden pH ei saa alittaa arvoa 6,5 eikä myöskään ylittää arvoa 9,5. Terveydelle haitallisia raskasmetalleja ovat mm. arseeni, kadmium, kromi ja lyijy. Näiden raskasmetallien enimmäispitoisuudet ylittyvät vain todella harvoin luonnonvaraisissa pohjavesissä.

Määritys	Suositus enimmäispitoisuudeksi
pH	6,5-9,5
Sähkönjohtavuus mS/m, 25°C	250
Väriluku, Pt mg/l	5
Kaliumpermanganaattiluku, KMnO <sub>4</sub> -luku mg/l	20
Kloridi, Cl mg/l	100 (250)
Fluoridi, F mg/l	1,5
Nitraatti, NO <sub>3</sub> mg/l	25 (50)
Sulfaatti, SO <sub>4</sub> mg/l	250
Alumiini, Al µg/l	200
Arseeni, As µg/l	10
Boori, B µg/l	1000
Kadmium, Cd µg/l	5
Kromi, Cr µg/l	50
Kupari, Cu µg/l	2000
Rauta, Fe mg/l	0,4 (0,2)
Mangaani, Mn µg/l	100 (50)
Nikkeli, Ni µg/l	20
Lyijy, Pb µg/l	10
Antimoni, Sb µg/l	5
Seleen, Se µg/l	10

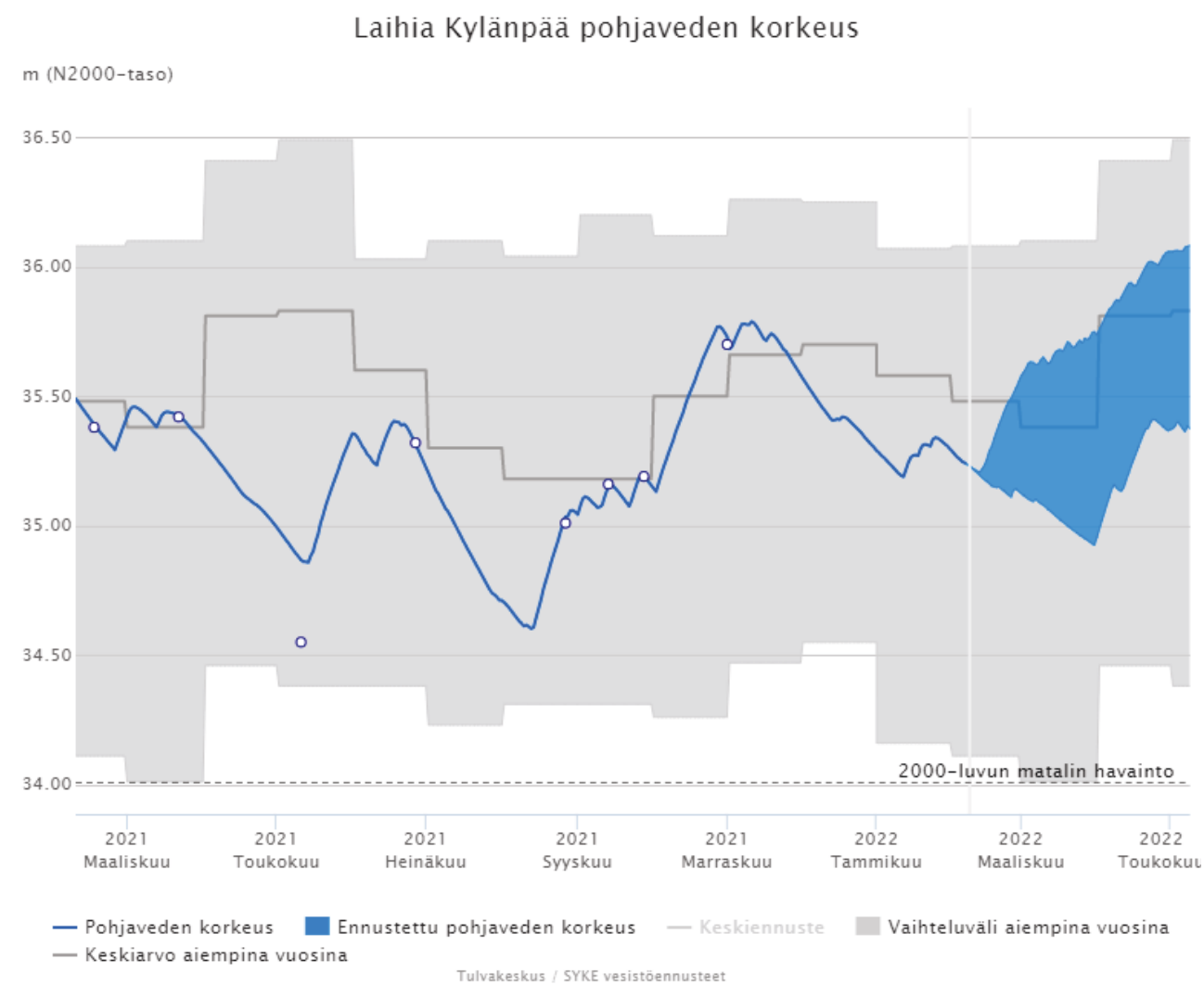
Kuvio 2. Talousveden laatusuositukset yksityiskaivoille. Suluissa olevat arvot ovat vedenottamoille annetut enimmäispitoisuudet. (GTK, i.a.)

### 2.3 Pohjavesien pinnankorkeudet Suomessa

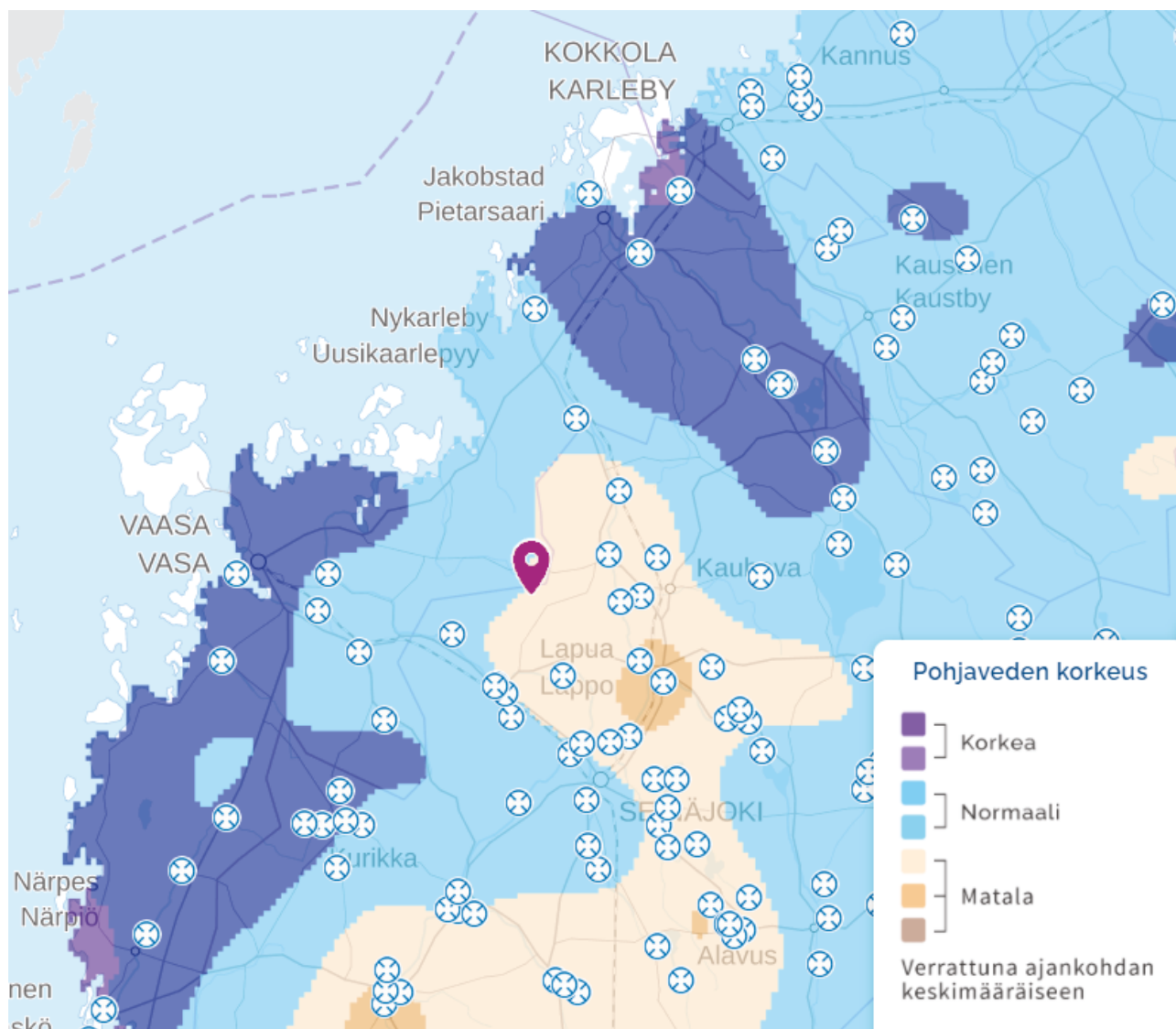
Pohjaveden pinnankorkeuteen vaikuttavat maantieteellinen sijainti, maalajit, vuodenaajat, sääolot ja ihmisen toiminta (Ilmatieteen laitos, 2022). Pohjaveden pinnankorkeudet ovat Suomessa talvisin laskussa, mutta kääntyvät nousuun keväisin roudan ja lumen sulaessa ja täyttäessä pohjavesivarannot. Pohjaveden pinnankorkeuksia seurataan ympäri Suomea sijaitsevilla pohjavesiasemilla jatkuvasti, kaksi kertaa kuukaudessa, maahan asennettujen havaintoputkien avulla. Pohjavesiasemia ei kuitenkaan ole jokaisessa Suomen kunnassa, tai ilmeisesti ainakaan mittauksia ei tehdä kuin osassa Suomen kunnissa ja kaupungeissa. Pohjaveden pinnankorkeudet on ilmoitettu ns. kenttäkeskiarvoina, joka tarkoittaa usean

havaintoputken pinnankorkeuden keskiarvoa, aikaisemmin N60-korkeusjärjelmässä ja nykyään N2000-korkeusjärjestelmässä ilmoitettuna.

Havaintokuviossa pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelu on ollut vuosina 2021–2022 Laihialla Kylänpäässä noin 1,15 metriä (kuvio 3). Pinnankorkeuden vaihteluista huolimatta kyseisen pohjavesialueen pohjaveden pinnan korkeus näyttäisi säilyvän hyvin. Seuraavassa kuviossa on pohjaveden pinnankorkeuden ennuste päivämäärälle 15.2.2022. Merkki on asetettu Kokkokankaan kohdalle, jonka alueelle ennustetaan matalaa pohjaveden korkeutta verrattuna kyseisen ajankohdan keskimääräiseen pinnankorkeuteen (kuvio 4). Pohjaveden pinnantasoa Kokkokankaan pohjavesialueella vuoden 2016 GTK:n tutkimuksessa on esitetty liitteessä neljä (liite 4).



Kuvio 3. Laihia Kylänpää pohjaveden korkeus (Tulvakeskus/Suomen ympäristökeskus (SYKE) vesistöennusteet, 2021–2022).



Kuvio 4. Pohjaveden pinnan korkeusennuste päivämäärälle 15.2.2022. (Ilmatieteen laitos, 15.2.2022).

## 2.4 Pohjavesien suojeleminen

Ympäristöhallinnon artikkelissa Pohjavesien määrällinen ja kemiallinen tila (2019) todetaan seuraavaa: ”Suomessa on noin 3900 vedenhankinnalle tärkeää, siihen soveltuvaa tai pohjavedestä riippuvaista ekosysteemiä ylläpitävää pohjavesialuetta, joista suurin osa on tilaltaan hyviä. Uusimman arvion mukaan kaikista pohjavesialueista yhteensä 380 on riskialueita, eli pohjavedessä on todettu haitallisten aineiden pitoisuuksia ja veden tila voi heikentyä ilman suojelutoimia. Määrä on noussut noin 30 alueella edelliseen riskiarvioon (2013) verrattuna.”

### **2.4.1 Pohjavesien pilaantumista uhkaavia tekijöitä**

Pohjavesiä suojellaan, etteivät ihmiset toimintoillansa kuormittaisi maaperää ja vesistöjä liikaa, ja näiden toimintojen seurauksena heikentäisi pohjaveden laatua (Lahden kaupunki, i.a.) Näitä toimintoja ovat mm. teollisuus, kaatopaikat, jätevesien käsittely, maa-ainesten otto ja maanalaiset öljysäiliöt. Pohjavesialueet voivat hapantua tai rehevöityä ja pohjavesialueita uhkaavat myös ympäristöonnettomuudet. Pienet pohjavesimuodostumat voivat pilaantua herkästi, koska niitä suojaava maakerros on usein ohut sekä hyvin vettä johtava. Pohjaveden pilaantuminen on peruuttamaton tai ainakin hyvin vaikeasti korjattavissa oleva tapahtuma. Pilaantumisen ennaltaehkäisy onkin kaikkein tärkein suojelutoimenpide pohjavesien suojelun kannalta.

### **2.4.2 Pohjavesialueiden suojelusuunnitelma**

Pohjavesialueille on olemassa alueellinen suojelusuunnitelma, jonka avulla suojelutoimenpiteitä yleensä toteutetaan (Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto, 2021). Sitä hyödynnetään lupahakemuksien ja ilmoitusten teossa sekä maankäytön suunnittelussa. Suojelua ohjataan myös erilaisten lakien avulla, kuten ympäristönsuojelu- ja vesilain sekä vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisen lakien avulla. Yksi pohjaveden suojelemiseen liittyvä lupaehto on maa-ainesten oton riittävän suojakerroksen määrittäminen tapauskohtaisesti.

### 3 Kokkokankaan esikunnostussuunnitelma

Tässä luvussa käsitellään tutkimuskohteena olevan Kokkokankaan pohjavesialuetta sen hydrogeologian, maanmuotojen ja muiden pohjavesialueelle tärkeiden ominaisuuksien kannalta. Lisäksi käsitellään eri kunnostustoimenpiteitä ja vaihtoehtoja huomioiden kunnostukseen liittyvät riskit. Luvussa on myös käsitelty kunnostuksen jälkeisiä toimenpiteitä ja seuranta- sekä pintarakenteita ja uutta istutettavaa kasvillisuutta kunnostuksen jälkeen. Luvun tarkoituksena on aikaisemman, nykytilanteen kannalta jo vanhan, tutkitun tiedon pohjalta rakentaa kokonaisuus, jota voidaan hyödyntää mahdollisesti tulevan kunnostussuunnitelman ja kunnostuksen toteutuksessa.

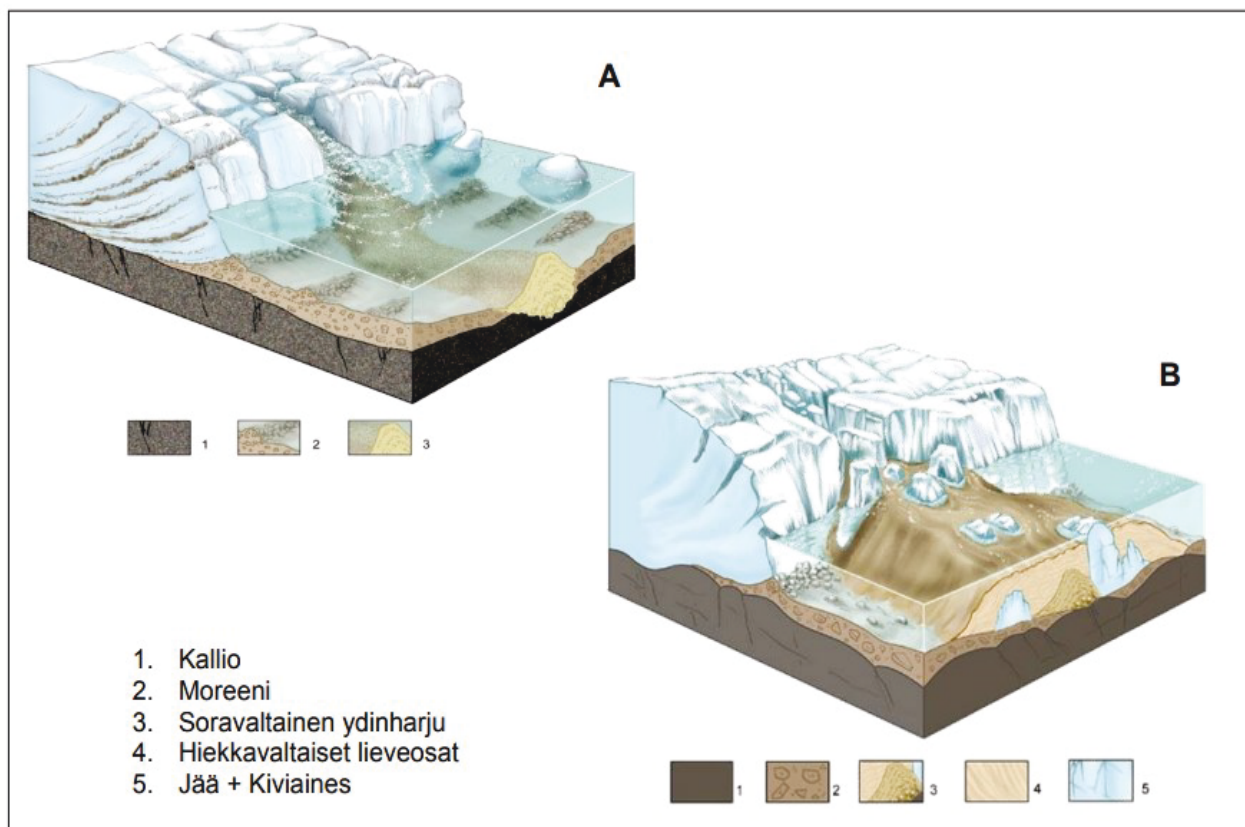
#### 3.1 Kokkokankaan pohjavesialueen hydrogeologia

Yleisesti ottaen pohjanmaalaisessa harjussa, jonka alueelle tutkimuskohteena oleva Kokkokankaan pohjavesialue sijoittuu, pohjavesivaraston pinta on ns. rajoittamaton akviferi, eli yläpinta muodostuu vapaasta pohjaveden pinnasta (Wikipedia, 2020). Tällöin pohjavesivaraston yläpinnan eli pohjavedenpinnan yläpuolinen maaperä koostuu hyvin vettä läpäisevästä maakerroksesta, kuten tutkimuskohteen alueella hiekasta ja siltistä, jolloin alue luokitellaan hietamaaksi.

Kokkokankaan pohjavesialue sijoittuu pitkittäisharjumuodostustumaan (kuvio 5), jonka pituus on 6,5 km (sisäinen tietolähde, 2000). Harjumuodostuma on jaettu kolmeen erilliseen 1-luokan pohjavesialueeseen. 1-luokan pohjavesialue tarkoittaa vedenhankintaa varten tärkeää pohjavesialuetta, jonka pohjavesialueen vettä voidaan käyttää tai käytetään talous- tai juomavetenä enemmän kuin 10 m<sup>3</sup>/vrk (ts. 10 000 litraa vuorokaudessa) tai yli 50 ihmisen tarpeisiin. Kokkokankaan pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 3,03 km<sup>2</sup> ja alueen arveltu kokonaisantoisuus on 2500 m<sup>3</sup>/d.

Kokkokankaan kohdalla harjumuodostuma on laajentunut deltaksi (sisäinen tietolähde, 2000). Harjun ydin sijaitsee syvällä, noin 15–20 metrin etäisyydellä maanpinnasta kapealla vyöhykkeellä. Harjun pintamateriaali on hiekkaa ja silttiä eli hietaa. Harjun alueella syvemällä kapeassa ydinvyöhykkeessä sijaitsee karkeampia maalajeja. Harjumuodostuma kerää vettä ympäristöstään eli se on pääosin synkliininen. Kerrokset, jotka johtavat vettä,

jatkuvat turve- ja silttikerroksien alla pitkittäisharjumuodostuman alueella muodostaen virtausyhteyden kerroksien välille.



Kuvio 5. Kaaviollinen piirros pitkittäisharjun synnystä mannerjäätikön edustalle syvään veteen. Piirrokset: Harri Kutvonen, GTK.

### 3.1.1 Pohjaveden virtaussuunnat

Kokkokankaan alueella pohjaveden päävirtaussuunta on kaakosta luoteeseen (sisäinen tietolähde, 2000). Eteläosissa pohjavesi virtaa kuitenkin Lamminkangasta kohti. Pohjaveden virtaussuuntaan vaikuttaa aina siitä käyttöön otettu vesimäärä, jolloin pohjaveden pinnan korkeudet voivat vaihdella ja virtaussuunta voi muuttua. Aikaisemmissa tutkimuksissa Kokkokankaan pohjavedenpinta on mitattu olevan korkeimmillaan noin + 50,5 metriä. Kokkokankaan pohjoispäässä pohjaveden pinnan korkeus on ollut noin + 45.0 metriä.

### 3.1.2 Lähi- ja kaukosuojavyöhykkeet

Kokkokankaalla sijaitsevalle vedenottamolle on rajattu ohjeelliset lähi- ja kaukosuojavyöhykkeet (sisäinen tietolähde, 2000). Alueet on rajattu hydrogeologisten ominaispiirteiden, kuten pohjaveden virtauskuvan, päävirtausvyöhykkeiden, virtauksen voimakkuuden ja pohjavedenjakajien perusteella. Rajaukseen on vaikuttanut myös toteutuva vedenotto, muodostuva vesimäärä ja lisävedenoton mahdollisuudet, arvio pohjaveden laadun kehitymisestä sekä pohjavedelle riskiä aiheuttava toiminta.

Kaukosuojavyöhyke kattaa koko sen alueen, josta vedenottamo ottaa nykyisin ja tulevaisuudessa pohjavettä käyttöön. Kaukosuojavyöhyke toimii myös pohjavesialueen rajana.

Lähisuojavyöhykkeellä tarkoitetaan aluetta, jossa maankäytön, erityisesti soranoton, aiheuttamia haittavaikutuksia pyritään estämään. Lähisuojavyöhykkeeseen kuuluu harjun ydinvyöhyke, jossa pohjaveden pilaantumisriski on suurin. Lähisuojavyöhykkeellä toimittaessa tulee olla erityisen tarkkana pohjaveden pinnan korkeudesta ja suojakerroksen paikoitaisesta paksuudesta erityisesti alueella kaivettaessa.

## 3.2 Pohjavesilammikot

Pohjavesialueiden ydinvyöhykkeessä on useita lammikoita, joiden syvyydet vaihtelevat nollassa kahteenkymmeneen metriin (sisäinen tietolähde, 2000). Osa lammikoista on havaittavissa vain, kun pohjaveden pinta on korkealla, tai kaivu on ulotettu pohjaveden pinnan tasoon. Osa pohjavesilammikoista on ilmeisesti hyvin vanhoja, koska lammikoiden rannoilla sijaitsevat puut ovat suuria ja lammikot ovat sopeutuneet ympäristöön maisemallisesti.

Vuosina 1985–1988 on tehty Maa-aineksen oton vaikutus pohjaveteen -selvitys (vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 57 ja Nro 329), jossa kaksi Kokkokankaan lammikkoa on ollut mukana. Selvityksen mukaan lammikoiden vesi on tuolloin ollut hapanta, sähkönjohtavuudet pieniä, piihappopitoisuudet ovat olleet lammikkovesiksi korkeita, alkaliniteetti pieni ja  $\text{KMnO}_4$ -kulutus pieni. Lammikosta tapahtunut soranotto oli silloin aiheuttanut sulfaatin, magnesiumin, kalsiumin ja kloridipitoisuuksien nousua sekä bikarbonaattipitoisuuden laskua. Lammikot luokiteltiin tyypiltänsä karuiksi. Lamminkankaan pohjoisosassa

on suuri pohjavesilammikko, jonka koillispuolella on suoalue. Suoveden on arveltu mahdollisesti purkautuvan pohjavesivyöhykkeeseen, jonka seurauksena pohjaveden laatu heikkenisi.

### 3.3 Pohjavesilammikoiden kunnostus

Pohjaveden pinta on noussut Kokkokankaan pohjavesialueella, minkä seurauksena osa pohjavesialueesta on alkanut soistua (sisäinen tietolähde, 2000). Näillä alueilla on melkein kaksikymmentä vuotta vanhoja puita, jotka ovat kuolleet pohjaveden nousun takia. Pohjavesialueella sijaitsevat syvemmät lammikot eivät aiheuta merkittävää riskiä, mutta matalat lammikot voivat muodostaa ns. nilkkavesialueita, jotka ovat haitallisia alueita alueen kasvustolle ja erityisesti pohjaveden laadulle. Matalampia lammikoita on mahdollista syventää, mutta alueella toimiminen on usein vesilain alaisuudessa, jolloin toimiin tarvitaan vesilupa. Tämä korostuu erityisesti alueella kaivettaessa varsinkin, mikäli kaivuu ulottuu pohjaveden pinnan alapuolelle. Pohjavesialueen kokonaisvesimäärää on mahdollista nostaa tasauttamisen avulla, tasaamalla kosteikon muotoja kaivamalla. Näin tehdään esimerkiksi uoma-kunnostuksissa.

Lammikoiden syventämisestä saatavia maa-aineksia voitaisiin kuitenkin hyödyntää muiden matalien lammikoiden täyttöön, jolloin täytettävien lammikoiden pohjista tulisi poistaa liete, vesikasvillisuus ja muu orgaaninen aines (sisäinen tietolähde, 2000). Näiden pienempien lammikoiden täyttäminen tai syventäminen on suositeltavaa, sillä pienemmät pohjavesimuodostumat voivat pilaantua herkästi, koska niitä suojaava maakerros on usein ohut ja hyvin vettä johtava. Pienemmät lammikot voivat siis rehevöityä ja soistua herkemmin verrattuna suurempiin lammikoihin. Pohjaveden suojelun kannalta riittävä suojaavan maakerroksen paksuus on noin 3–4 metriä ylimmän luonnollisen pohjavedenpinnan yläpuolella. Harjumuodostumassa pohjavettä suojaavat maakerrokset ovat usein kuitenkin luontaisesti ohuemmat kuin suositeltu suojamaakerrospaksuus. Pohjaveden yläpuolisen maakerroksen paksuus Kokkokankaan pohjavesialueella vuoden 2016 GTK:n tutkimuksessa on esitetty liitteessä kuusi. (Liite 6.)

### 3.4 Pohjavesialueen pintarakenteet ja kasvillisuus

Pohjaveden laadun kannalta on tärkeää saada biologinen toiminta ja kierto aikaiseksi maan pintaosissa mahdollisimman nopeasti lammikoiden kunnostuksen jälkeen (sisäinen tietolähde, 2000). Puiden istuttaminen auttaa biologisen toiminnan kehittymistä, mutta se on kuitenkin hyvin hidas keino, jolloin se ei yksinään riitä riittävän kierron aikaansaamiseen tarpeeksi nopeasti. Maan pinnasta tulisi kuoria tai jyrsiä noin 30 senttimetrin paksuinen kerros, jolloin pienemmät kannot ja oksat sekoittuisivat humuskerrokseen. Pintamateriaaleja ei saa levittää liian lähelle avonaisia lammikoita, ettei orgaaninen aines pääse kulkeutumaan pohjaveteen. Pintamateriaaleja sijoitettaessa tulee ottaa huomioon niiden hienoainespitoisuudet. Liiallinen hienoainespitoisuus pintamateriaalissa voi vähentää merkittävästi muodostuvan pohjaveden määrää, ja se ei myöskään sovellu vahvaksi kasvualustaksi.

Kasvualustan humuspitoisuuden soveltuvuus havupuille ja karujen alueiden kasveille tulee myös ottaa huomioon istutuksien suunnittelussa (sisäinen tietolähde, 2000). Metsittymisen, kasvillisuuden ja biologisen toiminnan muodostumisen nopeuttamisen kannalta alueelle voidaan istuttaa männyn-, koivun- tai lepäntaimia. Valoisiin paikkoihin kuiville kasvualustoille voidaan istuttaa lehtikuusia tai raitapuita. Puiden lisäksi tulee istuttaa siemenseos, jonka tulee koostua matalakasvuisista hiekka-alueilla menestyvistä lajeista, kuten ruskeasta heinästä, jolloin heinäkasvusto ei tukahduta istutettavia puita. Siemenkylvöt tulee tehdä keväällä tai kesän lopussa ja puiden istutukset keväällä. Lannoitusta pohjavesialueelle ei ole suositeltavaa tehdä, mutta hapanta pintamateriaalia voidaan kalkita. Kalkitseminen edistää ravinteiden liukenemistä maaperään ja nopeuttaa maaperän pieneliötoimintaa.

### 3.5 Lisäkunnostustoimenpiteet

Isojen altaiden ympäristössä olevien reunojen kunnostaminen tulisi toteuttaa osana kunnostusta (sisäinen tietolähde, 2000). Kunnostuksessa tulisi kiinnittää erityisesti huomiota ns. pahoihin paikkoihin, jolloin nämä kriittiset paikat voitaisiin kunnostaa pikimmiten ja myös ottaen huomioon kunnostuksessa eri asioita kuin yleisellä tasolla kunnostuksessa. Tällaisia paikkoja ovat esimerkiksi joidenkin lammikoiden ja altaiden rannat ja reunustat,

jotka tulisi tasata ja puhdistaa niin, etteivät ne lähtisi soistumaan, jota ilmeisesti tapahtuu tällä hetkellä.

Kaivojen ympäristöt tulee ottaa huomioon kunnostuksessa (sisäinen tietolähde, 2000). Kaivojen ympäristöt tulisi pengertää siten, etteivät pintavedet kerääntyisi ja jäisi kaivojen viereen makaamaan. Pintaveden imeytyminen voidaan estää kaivosta pois viettävällä tiiviillä savikerroksella. Kaivojen ympäristöt tulisi nurmeta. Pohjavesialueella olevat havaintoputket tulee merkitä, etteivät ne rikkoudu kunnostuksen aikana. Havaintoputkia voidaan myös jatkaa pidemmiksi, jolloin putken pää ei jää piiloon maakerrosten alle. Havaintoputket tulee myös lukita kunnostuksen ajaksi.

### **3.6 Kunnostuksen seuranta ja jälkihoito**

Kunnostuksen etenemistä on seurattava tarkasti ja jatkuvasti, koska pohjavesialueella on kunnostuksen aikana käytössä työkoneita, jotka toimivat polttoaineilla sekä öljyllä, jolloin näiden varastointiin ja käyttöön tulee myös kiinnittää erityistä huomiota, ettei niitä vahingossakaan pääse imeytymään maastoon (sisäinen tietolähde, 2000). Tämä korostuu erityisesti lähisuojavyöhykkeellä tehtävissä kunnostustöissä.

Työnaikaisten pintamaiden varastointipaikat tulee miettiä ja suunnitella tarkasti, etteivät ne ole tiellä myöhemmässä vaiheessa, mutta ovat kuitenkin tarpeeksi lähellä ja helposti saatavilla niitä tarvittaessa (sisäinen tietolähde, 2000). Luiskaukset, korkeustasot sekä kaltevuudet tulee ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. On myös seurattava suunnitelmien toteutumista työvaiheiden edetessä. Aikaisempien maa-ainesten ottoaikkojen luiskat tulisi loiventaa kaltevuuteen 1:3, jolloin vierivä pintamaa ei estä puiden juurtumista.

Istutuksia ja taimien kasvuun lähtöä tulee seurata erityisesti jälkikäteen (sisäinen tietolähde, 2000). Taimien kasvuun lähdön ensimmäinen seurantakerros tehdään kunnostusta seuraavana kesänä. Tarvittaessa voidaan tehdä lisäistutuksia. Tämän jälkeen taimikon kehittymistä seurataan viiden vuoden välein. Pintamaan levityksessä ja levityksen seurannassa tulee kiinnittää erityistä huomiota, ettei pintamateriaaleja kulkeudu liian lähelle jo valmiiksi kunnostettuja lammikoita tai muita avonaisia lammikoita. Eivätkä pintamateriaalit

näin ollen pääse kulkeutumaan pohjaveteen heikentäen sen laatua. Asiattomien toimintojen estäminen alueella ja erityisesti lähisuojavaovyöhykkeen suojaus on myös suositeltavaa.

Pohjaveden laatua on seurattava koko kunnostuksen ajan ja myös jälkikäteen (sisäinen tietolähde, 2000). Ensimmäiset näytteet tulee ottaa jo ennen kunnostustöiden aloittamista. Vesinäytteet voidaan ottaa alueelle asennettavista uusista havaintoputkista. Näytteet tulee ottaa pumpaamalla veden antoisuuden vuoksi. Vesinäytteistä tulee analysoida pH, sähköjohtavuus, sameus, väri, kokonaiskovuus,  $\text{KMnO}_4$ -luku, nitraatti-, kloridi-, sulfaatti-, rauta-, alumiini- ja happipitoisuudet. Pohjaveden pinnankorkeudet mitataan aina näytteenoton yhteydessä ja sen jälkeen kerran kuukaudessa koko kunnostustyön ajan. Kunnostuksen aikana tulee ottaa vesinäytteitä, kun täyttöjä on aloitettu levittämään tai kun täytettävät lammikot on kuorittu.

### **3.7 Kunnostuksen riskit**

Suurimpina riskeinä pohjavesialueen kunnostuksessa, erityisesti reunavyöhykkeellä, on pintavesien, suovesien tai huonolaatuisen pohjaveden kulkeutuminen ja sekoittuminen hyvälaatuiseseen pohjaveteen (sisäinen tietolähde, 2000). Kunnostuksen aikaisen kaivuun seurauksena riskinä on haitallinen pohjaveden purkautuminen tai pohjaveden pinnan merkittävä lasku. Lammikoiden syventämisessä riskeinä ovat vedenlaadun heikkeneminen entistään sekä pohjaveden rautapitoisuuden nousu.

Riskejä voidaan ehkäistä ottaen riskit huomioon jo suunnitteluvaiheessa ja esimerkiksi rajaamalla kunnostusalueita, jolloin voitaisiin keskittyä tarkemmin pienemmän alueen maanpinnan sekä pohjaveden pinnan alueellisiin korkeusvaihteluihin (sisäinen tietolähde, 2000). Näin toimittaessa voidaan varmistaa riittävän paksu alueellinen suojakerros kunnostuksen aikana. Pintamateriaalin kulkeutumista pohjaveteen lammikoiden välityksellä voitaisiin rajata esimerkiksi näkyvillä värillisillä langoilla, jolloin jo kunnostettujen lammikoiden välittömässä läheisyydessä oltaisiin erityisen tarkkoja pintamateriaalin levityksen kanssa. Lammikoiden syventämisen mukanaan tuomia riskejä voidaan pienentää tekemällä alueellisia koekunnostuksia pienemmille lammikoille ennen laajamittaisen kunnostusurakan käynnistystä. Koekunnostuksien aikana seurataan pohjaveden laatua koko ajan. Koekunnostuksen jälkeen pohjavedestä otetaan vesinäytteitä lähimmästä koeputkesta tasaisin väliajoin.

Vesinäytteistä voidaan havaita, mikäli pohjaveden laatuun tulee näkyviä muutoksia lähiaikoina.

## 4 Teknologia pohjavesialueiden kunnostuksen tukena

Tämä luku käsittelee eri teknologioiden avulla saatavien tietojen ja datan hyödyntämistä pohjavesialueen kunnostamisessa. Luku käsittelee näiden tietojen hyötyjä sekä yrittää visualisoida datapisteitä QGIS-ohjelman avulla. Luvussa on myös käsitelty Kokkokankaan pohjavesialueen kallioperän topografiaa sekä pohjaveden geotermistä energiapotentiaalia.

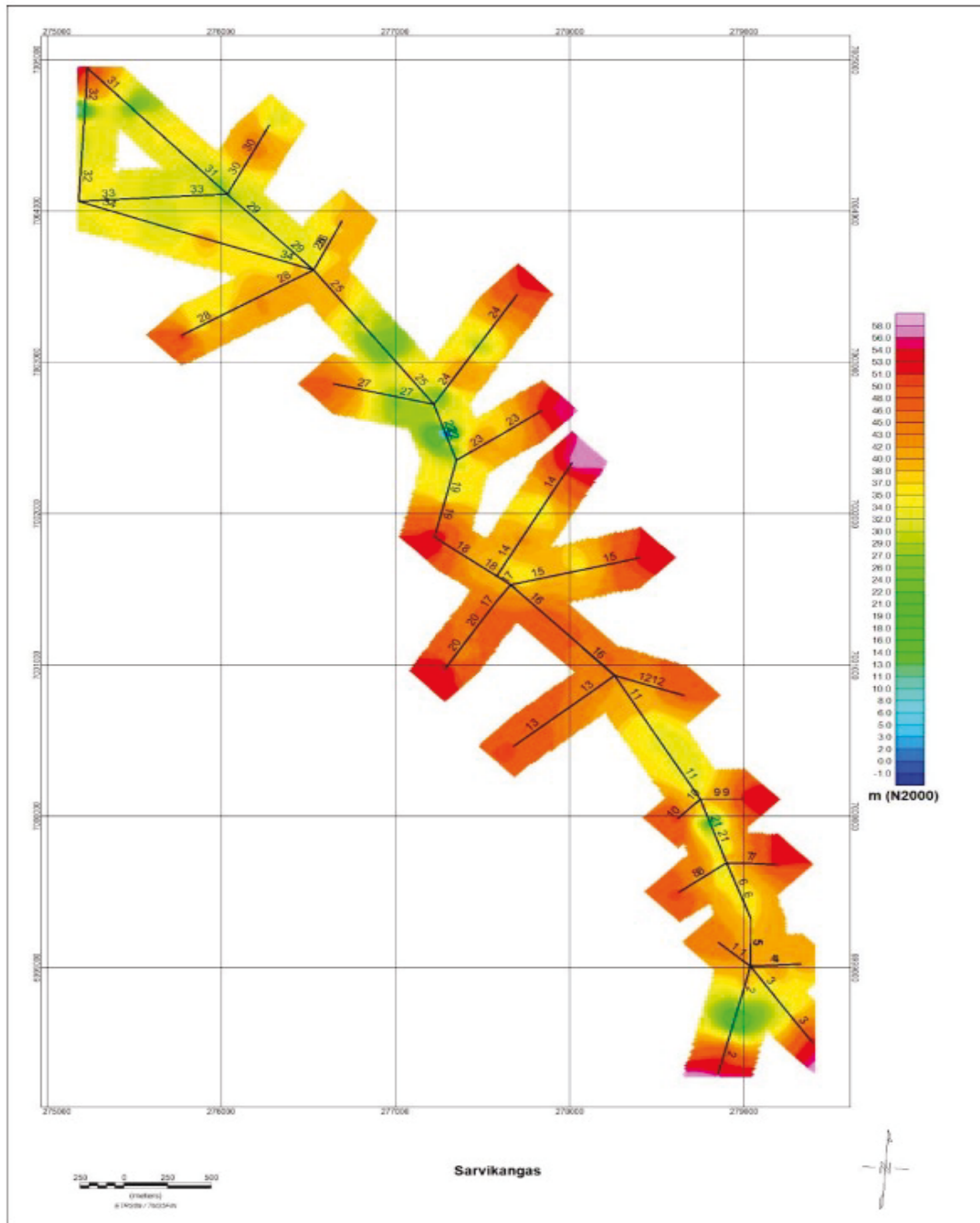
### 4.1 Kallioperän topografia

Vaihteleva kallioperän topografia vaikuttaa moreenikerrostumien pinta-alaan (Geologian tutkimuskeskus, 2005). Moreenikerrostumien pinta-alat taas määrittelevät niiden vedenantoisuuden. Vedenantoisuuteen vaikuttavat myös moreenin rakenne ja maa-aineksen raekoostumus. Moreenin karkea aines, linssit ja kerrokset, lisäävät muodostuvan pohjaveden määrää, kun taas hienoaines vähentää sitä. Suomen moreenikerrostumat ovat usein pinta-alaltaan pieniä kallioperän topografiasta johtuen. Moreenikerrostumat ovat usein myös ohuita.

Kallioperän topografialla on olennainen osuus pohjaveden muodostumisen kannalta, minkä vuoksi sitä tutkitaan pohjavesien yhteydessä. Suomen kallioperä on kiteistä peruskalliota ja kiviainekseltaan vähähuokoista, ja hydraulinen vedenjohtavuus on näin ollen hyvin pieni. Kallioperässä sijaitseva pohjavesi virtaa ruhjeiden, rakojen ja siirrostien muodostamissa tiloissa. Kallioperän rikkonaisuus vaikuttaa merkittävästi pohjaveden määrään. Laadultaan pohjavesi on kuitenkin usein samankaltaista niin kallioperän rikkonaisuissa pintaosissa kuin kallion päällä olevissa maakerrostumissa. Kalliopohjavesi on emäksisempää verrattuna saman alueen maaperän pohjaveteen, sillä siihen on liuennut suuri määrä ioneja.

Geologian tutkimuskeskus on tehnyt vuonna 2016 maaperätutkimuksen, jossa on tehty painovoimamittaus kallioperän topografiasta tutkitulla pohjavesialueella (kuvio 6). Tutkimuksen mukaan kallioperän topografia on pääosin tasainen, ja ainoastaan alueen keski-osassa sekä luoteispäässä esiintyy voimakkaampaa topografiavaihtelua. Mallinnuksen teossa on hyödynnetty Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa, jossa käytetty pistetiheys eli pulssiosumien määrä maastossa on noin yksi piste kahdelle neliömetrille. Mallissa

päästään noin  $\pm 30$  senttimetrin korkeustarkkuuteen. Kallion pinnantasokoikkokankaan pohjavesialueella vuoden 2016 GTK:n tutkimuksessa on esitetty liitteessä kolme. (Liite 3.)

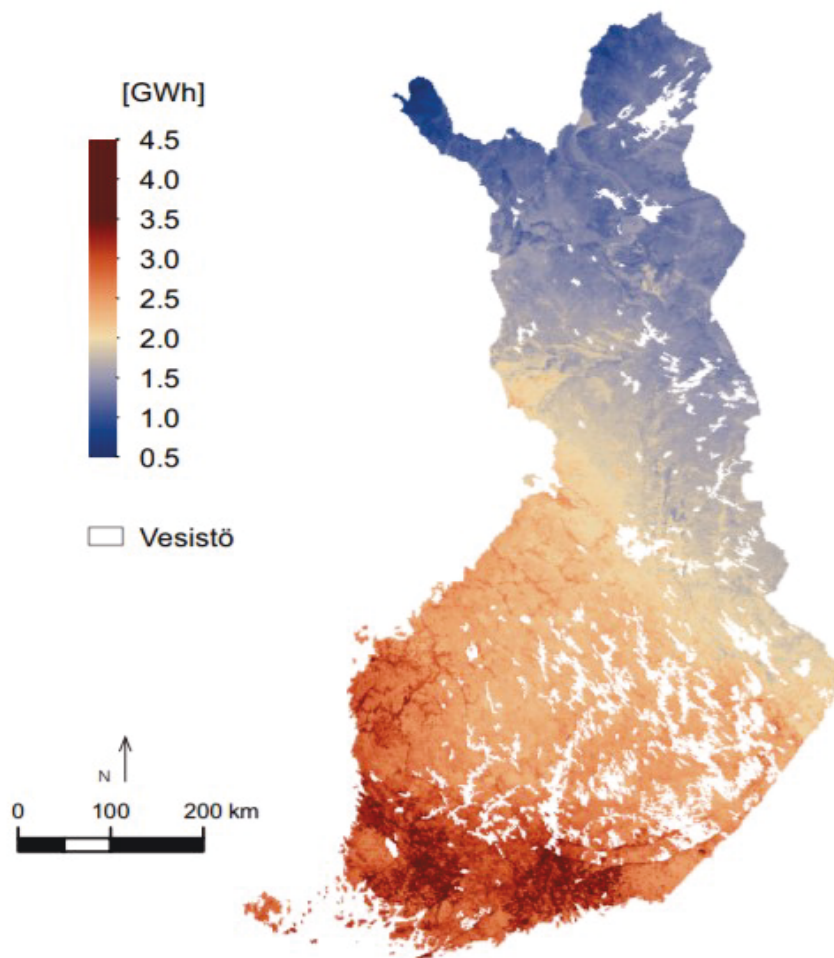


Kuvio 6. Kallionpinnantasopainovoimalinjoilla. Kuva T. Valjus, GTK.

## 4.2 Pohjaveden lämmityspotentiaali geotermisellä energialla Suomessa

Geologian tutkimuskeskus on tutkinut tekoölyn avulla geoenergian ja geotermisen energian potentiaalia Suomessa (Geologian tutkimuskeskus, 2019). Tutkijat käyttivät ensimmäisenä maailmassa tekoölyä maalämpöpotentiaalin tutkimiseen (kuvio 7). Tekoölyn avulla saatiin selville maalämmön potentiaali jopa 300 metrin syvyyteen saakka. Kuviossa 7 olevissa valkoisissa kohdissa, värillisten kohtien välissä, esiintyy syvää geotermistä energiapotentiaalia, joka kuvaa Suomen kallioperään sitoutuneen lämpöenergian teoreettista määrää siitä syvyydestä lähtien, jossa kallioperässä saavutetaan 70 °C lämpötila aina kymmeneen kilometriin saakka. Tulevaisuuden LVI-suunnittelu vaikuttaa siihen, kuinka paljon energiaa saadaan siirrettyä maankamarasta käyttöön.

Tähän ylipäätään 300 metriin varastoitunut energia on tutkimuksien mukaan noin tuhat kertaa koko maan energiatuotannon verran (Geologian tutkimuskeskus, 2019). Tutkimuksessa on laskettu kaikkien pohjavesialueiden kaavoitetulta osalta purkautuvan pohjaveden lämmitysteho. Pohjavedestä hyödynnettävissä oleva jatkuva teho on tutkimuksen mukaan noin 110 MW. Vuoden aikana se on 68,5-kertainen verrattuna vuonna 2016 tuotettuun kaukolämmön erillistuotantoon. Maalämpö ja geotermisen energia ovat pohjaveden tavoin uusiutuvaa ja päästötöntä energiaa. Energiamuotojen hyödyntäminen mahdollistaa myös fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämisen ja pienentää siten myös hiilidioksidipäästöjä. Pohjavesienergian käytön ongelmana on alueellisuus, joka rajaa tuotantopotentiaalia.



Kuvio 7. Suomen maankamaran jatkuvasti uusiutuva lämpöteho. GTK. 13.12.2019.

### 4.3 Laserkeilausaineisto

Laserkeilausaineisto on maanpintaa ja maanpinnalla olevia kohteita kuvaava kolmiulotteinen pistemäinen aineisto (Maanmittauslaitos, 2019). Jokaisella pisteellä on x-, y- ja z-koordinaattitieto.

Laserkeilausaineisto on valtakunnallisesti ladattavissa Maanmittauslaitoksen sivuilta, ja aineistoa on saatavilla koko Suomen alueelta (Maanmittauslaitos, 2019). Sitä kerätään mm. korkeusmallien ajantasaistamista, rakennusten 3D-geometrioiden muodostamista, tulvakartoitusta ja metsävaratiedon keruuta varten. Aineistoa on tuotettu jo ennen kansallista laserkeilausohjelmaa. Alkuperäinen tiheys aineistossa on 0,5 pistettä /m<sup>2</sup>. Vuodesta 2020 alkaen tuotetun laserkeilausaineiston pistetiheys on 5 pistettä/m<sup>2</sup>.

Laserkeilausaineistoa käytetään mm. maastomallien muodostamiseen (Maanmittauslaitos, 2019). Maastomalleilla voidaan esimerkiksi tutkia vesien valuntaa ja maanpinnan muotoja sovelluksien avulla. Laserkeilausaineiston avulla tuotetut mallit soveltuvat käytettäviksi erilaisessa rakennetun ympäristön kuvauksessa, kuten melumallinnuksessa. Aineistoa hyödynnetään myös kaavoituksessa sekä metsävaratiedon keruussa ja muissa luonnonympäristön muutosta seuraavissa analyyseissä ja seurannoissa.

Pisteet jaetaan luokkiin, joita ovat luokittelematon ("unclassified"), peittoalue ("overlap"), yksittäiset pisteet ilmassa ja maanpinnan alla ("isolated"), matalat virhepisteet ("low points"), maanpintapisteet ("ground"), ilmassa olevat kohteet ("air points"), keilainhäiriöstä johtuvat pisteet ("fault points") ja luokittelemattomat ("default") (Maanmittauslaitos, 2019). Lisäksi pisteet jaetaan niiden korkeuden mukaan kolmeen luokkaan. "Low vegetation": laserpisteet korkeudeltaan 0,0–0,5 metriä maanpinnan yläpuolella, "medium vegetation": 0.5–2.0 metriä maanpinnan yläpuolella ja "high vegetation": 2,0–50,0 metriä maanpinnan yläpuolella.

#### 4.4 QGIS

QGIS on vapaa paikkatieto-ohjelmisto, jonka avulla voidaan analysoida laserkeilausaineistoa. Ohjelman avulla voidaan hyödyntää laserkeilausaineistoa ja saada pistedatasta tietoja tutkimuksiin ja maastomallien tekemistä varten.

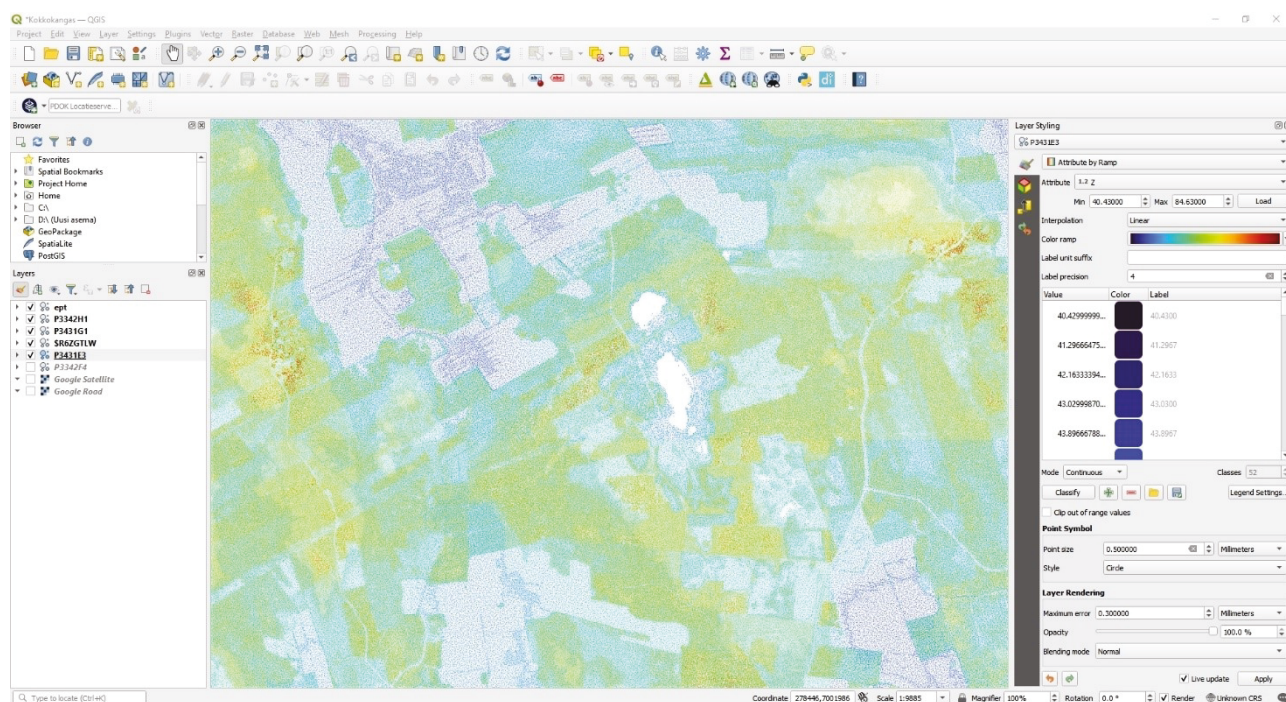
Pistedatan avulla voidaan hahmotella alueen korkeuseroja käyttämällä erilaisia värikoodoja (kuvio 8). Kylmät värit, kuten siniset alueet, ovat korkeudeltaan matalampia alueita, kuten peltoja. Vihreät alueet ovat pääosin metsää. Lämpimät värit, kuten keltaiset sekä punaiset alueet, ovat vielä korkeampia kohtia, kuten puiden latvoja.

Hahmotuksen helpottamiseksi taustalle voi ladata työkalujen avulla esimerkiksi Google Maps -sovelluksesta saatavan satelliittikuvan (kuvio 9). Nyt nähdään selkeästi pohjavesilammikoiden sijainti sekä peltojen ja metsien sijainti.

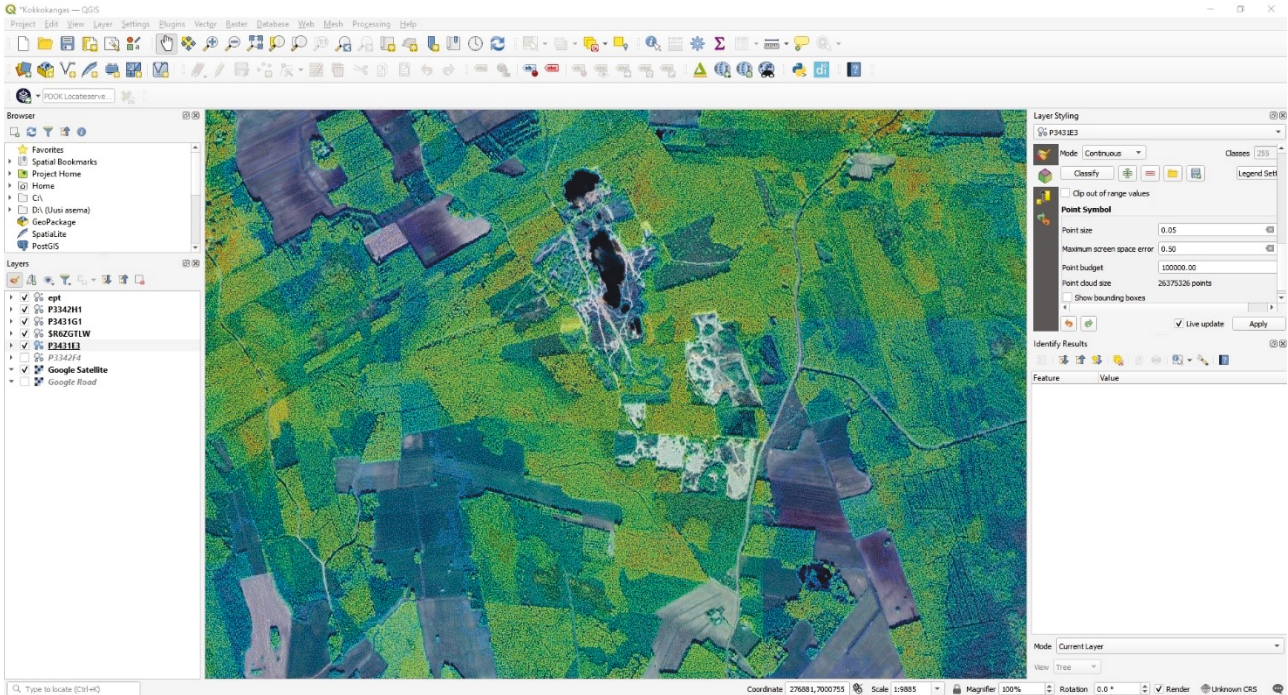
QGIS-ohjelmalla onnistuu myös 3D-näkymien muodostaminen pistedatan avulla (kuvio 10). 3D-näkymät antavat paremman ja realistisemmän kuvan maaston muodoista. 3D-

näkymien avulla saadaan muodostettua digitaalisia maasto- ja korkeusmalleja. Maastomalli sisältää tietoja maan eri kerroksista ja korkeusmalli maan korkeuseroista maaston muotojen esityksenä.

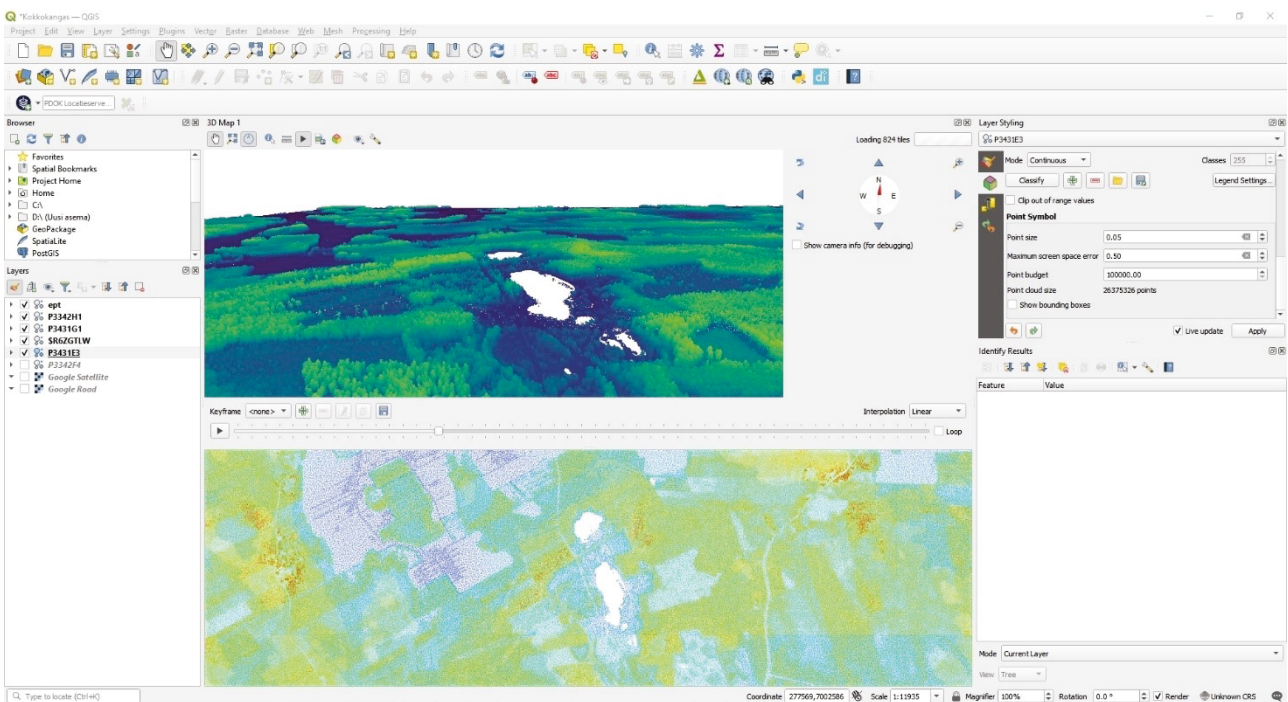
Korkeuserojen hahmotuksen avuksi voidaan käyttää valmiita värikoodeja myös 3D-mallissa, jolloin visualisointi on helpompaa (kuvio 11). Kuvioissa 8–11 on mallinnettu QGIS-sovelluksen avulla Kokkokankaan pohjavesialuetta. Kokkokankaan pohjavesilammikot esiintyvät osissa kuvioista valkoisina aukkoina.



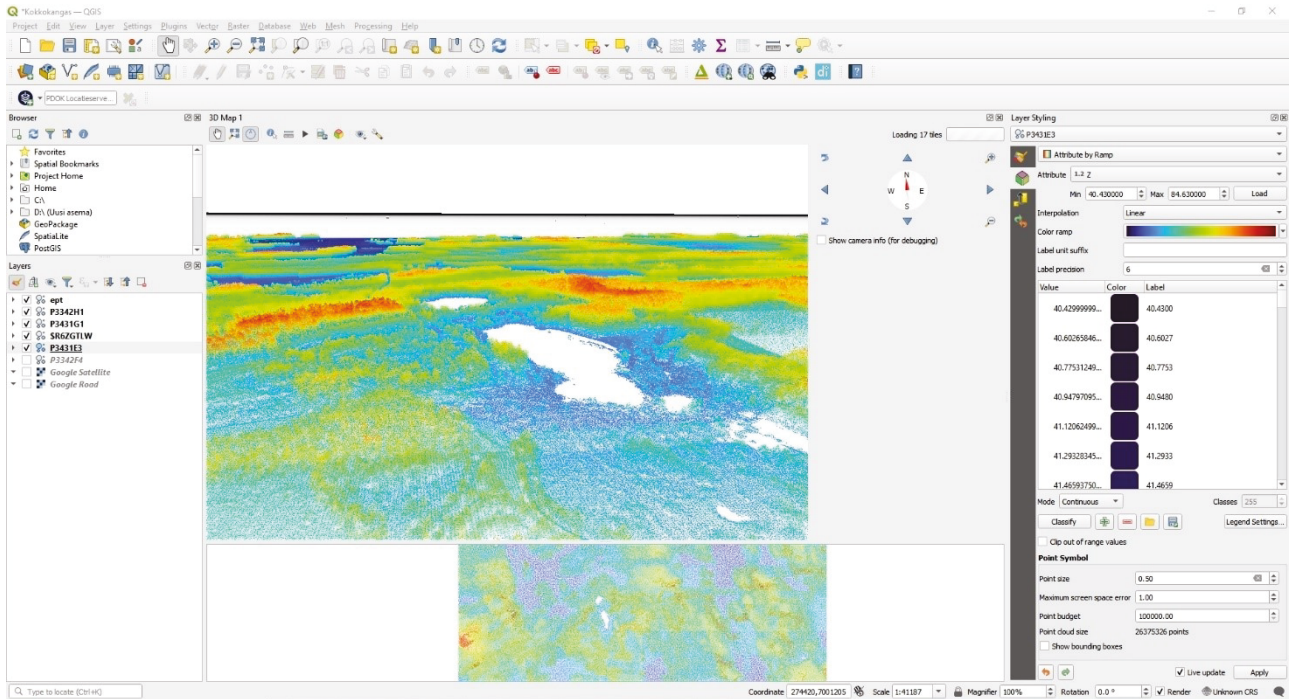
Kuvio 8. 2D-näkymä lämpövärikoodeilla QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.



Kuvio 9. 2D-näkymä Google Satelliitilla QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.



Kuvio 10. 3D-näkymä pohjavesilammikoista QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.



Kuvio 11. 3D QGIS-näkymä lämpövärikoodeilla QGIS-sovelluksessa. 14.3.2022.

## 5 Opinnäytetyön tulokset

Tämän luvun tarkoituksena on opinnäytetyön tuloksien yhteenveto ja analysointi. Tulokset ovat pääosin Kokkokankaan pohjavesialueen kunnostusehdotuksia. Lisäksi luvussa on johtopäätöksiä opinnäytetyössä kehotetuista toimenpiteistä.

### 5.1 Tuloksien yhteenveto ja jatkotoimenpiteitä

Kokkokankaan pohjavesialueen nykyisen kunnan vuoksi alue kaipaa pikaista kunnostamista. Kunnostuksessa tulisi keskittyä erityisesti lähisuojavyöhykkeeseen, johon kuuluu harjun ydinvyöhyke ja jossa pohjaveden pilaantumisriski on suurin. Pohjavesialueen laajan pinta-alan ja tutkimuksen aikana esille tulleiden asioiden vuoksi opinnäytetyö kehottaa tekemään seuraavia toimenpiteitä:

Matalat lammikot syvennetään ja hyödynnetään syvennyksistä saadut maa-ainekset muiden matalien lammikoiden täyttämiseen ja poistetaan samalla täytettävien lammikoiden pohjista liete, vesikasvillisuus ja muu orgaaninen aines. Maan pinnasta kuoritaan tai jyrsitään noin kolmenkymmenen senttimetrin paksuinen kerros, jolloin pienemmät kannot ja oksat sekoittuvat humuskerrokseen. Pintamateriaalit levitetään suojakerroksen saamiseksi ja uuden pohjaveden muodostumisen kannalta oleellisesti huomioiden niiden hienoaines-pitoisuudet. Kunnostettaville alueille istutetaan uusia taimia ja kylvetään siemenseoksia. Hapan pintamateriaali kalkitaan, mikä edistää ravinteiden liukenemistä maaperään.

Isojen pohjavesialtaiden ympäristössä olevat reunat kunnostetaan tasaamalla ja puhdistamalla, jolloin estetään reunojen soistuminen tai rehevöityminen. Kaivojen ympäristöt pengerretään, millä estetään pintavesien kerääntyminen kaivojen viereen. Havaintoputket suojataan kunnostuksen ajaksi. Varmistetaan, että pintamateriaali ja orgaaninen aines ei pääse kulkeutumaan pohjaveteen lammikoiden välityksellä kunnostuksen aikana.

Seurataan kunnostuksen etenemistä, pohjaveden pinnankorkeutta ja laatua, sekä jälkihoitetaan pohjavesialuetta. Kunnostuksen mukana tuomat riskitekijät minimoidaan esimerkiksi koekunnostuksilla. Kunnostettava alue pilkotaan pienempiin kokonaisuuksiin. Keskitytään ensisijaisesti kunnostuksen laatuun ja siitä saatavaan hyötyyn tulevaisuudessa ja

toissijaisesti budjettiin ja aikatauluun. Otetaan mallia aikaisemmista pohjavesialueiden kunnostuskohteista, joita on tehty ympäri Suomea. Hyödynnetään kunnostuksen suunnittelussa kehittynyttä teknologiaa ja ohjelmia, kuten QGIS:iä, ja analysoidaan sekä hyödynnetään teknologian avulla saatua dataa, kuten esimerkiksi laserkeilausaineistoa.

## **5.2 Tuloksien analysointi**

Johdannossa asetetut tavoitteet täyttyivät. Kunnostuksen nykytilanne kartoitettiin, ja kunnostustarve oli jo vuonna 2000 ajankohtainen. Kunnostusta tulisi nyt lähteä suunnittelemaan ja toteuttamaan Länsi-Suomen ELY-keskuksen rahoituksen ja jo olemassa olevien asiakirjojen sekä opinnäytetyön avulla. Kunnostuksen aikaisia riskejä kartoitettiin osittain, samoin myös keinoja näiden riskien ennaltaehkäisemiseksi. Aikaisempia vuoden 2000 tietoja hyödynnettiin ja lisättiin nykyaikaisempia tietoja kunnostustoimenpiteisiin.

Matalien lammikoiden syventäminen on tärkeä tehdä. Pienemmät pohjavesimuodostumat pilaantuvat herkästi, koska niitä suojaava maakerros on ohut ja hyvin vettä johtava. Kunnostuksen aloittamisen painoarvoa lisää se, että osa näistä lammikoista on alkanut jo soistumaan ja rehevöitymään. Pohjaveden pilaantuminen on peruuttamatonta, minkä vuoksi hyötysuhde on suurempi kuin haittasuhde, mutta kuitenkin kunnostukseen liittyvien riskitekijöiden vuoksi vaatii tarkan suunnittelun ja toteutuksen. Pintamateriaalien jyrsiminen muuttaa alueen ekosysteemiä ja muokkaa maaperää, jolloin se vaikuttaa myös syntyvään pohjaveden määrään lisäämällä sitä. Pintavedet imeytyvät helpommin maakerrosten läpi, ja täytettyjen lammikoiden kohdalta muodostuu myös lisää pohjavettä.

## **5.3 Johtopäätökset**

Tutkimustuloksien perusteella hanke ei ole helppo eikä myöskään nopea toteuttaa. Tutkimuksessa ei käsitelty kunnostushankkeen kustannuksia, mutta kustannukset näin laajalle kunnostushankkeelle ovat usein korkeat, varsinkin asukaslukumäärältään pienelle kunnalle. Tutkimuksen aikana selvisi kuitenkin, että ELY-keskus olisi valmis auttamaan hankkeen kustannuksissa, jolloin kunnostushanke olisi toteutettavissa.

Tutkimuksessa esitetyt toimenpiteet on osittain jo valmisteltu vuonna 2000 ja osa jopa vieläkin aikaisemmin. Osa kunnostustoimenpiteistä pohjautuu nykyaikaisiin, vuoden 2016 ja uudempien vastaavien kunnostushankkeiden aikana käytettyihin toimenpiteisiin ja suosituksiin. Kunnostustoimenpiteistä saatava hyöty olisi varsinkin pitkässä juoksussa todennäköisesti suurempi kuin niistä koituvat haittavaikutukset pohjaveteen.

## 6 Pohdinta

Vuodenaikojen vaihtelut ja ilmastonmuutos vaikuttavat pohjaveden pinnan korkeuteen. Ilmastonmuutos lisää pohjaveden pinnan korkeuden vaihteluita, ja suuret vaihtelut vaarantavat pohjaveden laadun. Järvissä happikato eli anoksia on tila, jossa happea on niin vähän, että korkeammat elämänmuodot eivät menesty. Anoksiaa aiheuttaa lähinnä vesien rehevöityminen. Kunnostuksen seurauksena Kokkokankaan pohjavesialueelle istutettavat uudet puut ja kasvit tuottavat happea ympäristöön ja myös pohjaveteen, mikä myös omalta osaltaan vaikuttaa happikadon ja pohjavesialueiden rehevöitymisen ehkäisemiseen. Uusien puiden ja kasvien istutus on osa metsänhoitoa, jonka voisi yhdistää kunnostukseen.

Opinnäytetyön aikana pohdin, miten uutta nykyaikaista lohkoketjuteknologiaa voitaisiin hyödyntää pohjavesissä, ja löysinkin artikkelin, jossa oli jo valmiita ideoita tätä varten. Lohkoketjuteknologiaa tullaan varmasti hyödyntämään rakennusalailla tulevaisuudessa, jolloin se tulee ainakin sivuamaan maanrakennuspuolta ja siten myös pohjavesiä. Tätä kirjoittaessa teknologiaa hyödynnetään pääosin rahoitus- ja logistiikka-aloilla, sillä teknologia on todella uutta ja sitä kehitetään ja tutkitaan koko ajan.

Kehittyvän teknologian avulla voidaan seurata myös pohjavesien kulutusta ja esimerkiksi niiden laatua. Helmikuussa 2019 on tehty artikkeli lohkoketjuteknologian mahdollisuuksista suojella Kalifornian pohjavesivarastoja (Wired, 2019). Artikkelissa käydään läpi, miten Pohjois-Amerikassa Kaliforniassa on käynnissä projekti, jossa tutkitaan pohjaveden kulutusta lohkoketjutekniikan ja kauko-ohjattavien IoT -antureiden avulla pääasiassa maanviljelijöiden keskuudessa. Nämä anturit on asennettu suurimpiin ja suurimmassa vaarassa oleviin akvifereihin (eli maakerroksiin, jotka varastoivat ja johtavat vettä niin hyvin, että siihen tehdystä kaivosta saa vettä). Anturit ovat yhteydessä satelliitteihin, ja ne seuraavat pohjaveden kulutusta reaaliajassa. Anturit lähettävät dataa veden käytöstä maata kiertäviin satelliitteihin ja sitten IBM:n lohkoketjualustalle, joka sijaitsee IBM-pilvipalvelussa. Vuonna 2019 samat anturit ovat olleet jo käytössä Keniassa ja Etiopiassa. Antureilla tarkkaillaan jo yli miljoonan ihmisen pohjavesivarantoja ja vuoden 2019 loppuun mennessä viiden miljoonan ihmisen.

Lohkoketju tallentaa kaikki tiedonvaihdot tai tapahtumat vain liitettävään, muuttumattomaan pääkirjaan eli ”ledgeriin”. Lohkoketju käyttää myös ”älykkäitä sopimuksia”, jolloin tapahtumat suoritetaan automaattisesti, kun ehdot täyttyvät. Ehtona kaupankäynnissä voi olla esimerkiksi pumppaustasot. Web-pohjaisen kojelaudan kautta vedenkuluttajat, mukaan lukien maanviljelijät ja rahoittajat sekä sääntelijät, voivat kaikki valvoa ja jäljittää pohjaveden käyttöä osoittaakseen, kuinka kestävät pumppaustasot voidaan saavuttaa käymällä kauppaa pohjaveden käyttöosuuksilla Kalifornian osavaltiossa. Yksittäiset käyttäjät, jotka tarvitsevat pohjavettä enemmän kuin enimmäismääränsä verran, voivat ”ostaa” pohjavesiosuuksia käyttäjiltä, jotka eivät tarvitse kaikkea tarjontaansa markkinoiden sääntelemällä hinnalla.

Projektin tarkoitusta selventämään artikkelissa on annettu kaksi esimerkkiä: Maanviljelijä pitää kauden vapaata valmistautuakseen seuraavaan sadonkorjuuseen. Maanviljelijä voi käydä kauppaa tai myydä vesiluottonsa lohkoketjussa toiselle viljelijälle. Toisessa esimerkissä erityisen kuivan kauden vuoksi maatila tajuaa, että se tarvitsee lisää pohjavettä välttääkseen sadon menettämisen. Maatilan omistaja voi ostaa lisää vesiosuuksia vaikuttamatta negatiivisesti pohjavesikerrokseen (eli esimerkiksi olemalla laskematta pohjaveden pintaa). Projektin suunnitelmana on antaa vain maanomistajille mahdollisuus nähdä vedenkäyttötietonsa, jolloin kaupankäyntikin voi olla hajautettua.

Projektin tavoitteena on kehittää järjestelmä, joka tekee pohjaveden saamisesta kestävämmän, yhteistyöhön perustuvan, tarkemman ja läpinäkyvämmän prosessin. Projektista vastaava henkilö totesi artikkelissa: ”Perustuen Keniassa, USAID:n, Millennium Water Alliancen ja muiden kumppanien kanssa tehtyyn tutkimusprojektiin, hyödynnämme nyt asiantuntemustamme vesihuollon päätöksenteon tukijärjestelmien rakentamisessa pinta- ja pohjavesitietojen yhdistämiseen, työnkulun optimointiin ja analytiikkaan vastataksemme vastaaviin haasteisiin Kaliforniassa. Lohkoketjun avulla voimme kuroa umpeen kriittisiä luottamus- ja läpinäkyvyyspuutteita, jolloin voimme rakentaa vankan, skaalautuvan ja kustannustehokkaan alustan arvokkaiden pohjavesivarastojen hallintaan kaikkialla maailmassa.”

Etäseuraamalla pohjaveden käyttöä antureiden avulla voidaan auttaa parantamaan ja ylläpitämään kestävästä veden saantia ihmisille, maanviljelijöille ja karjalle. Lohkoketjutekniikan läpimurron seurauksena ja antureiden avulla voidaan seurata pohjaveden laatua ja

kehitystä niin, että ne ovat kestävästi hoidettuja ja kunnostustarvetta ei näin ollen teoriassa enää ikinä tulisi. Pohjavesien kestävä kehityksen virastojen, eli ilmeisesti paikallisten ryhmien Kaliforniassa, tehtävänä on toteuttaa suunnitelma, jonka tarkoituksena on tehdä paikallisesta pohjaveden käytöstä kestävää vuoteen 2040 mennessä.

En tiedä, kuinka tarkasti Suomessa seurataan pohjavesien käyttöä maanviljelijöiden keskuudessa, mutta ainakin pinnantason korkeutta ja pohjaveden kulutusta seurataan. Lohkoketjuteknologian hyödyntäminen pohjavesien käytön seurannassa voi olla lähempänä tulevaisuudessa kuin arvaammekaan. Sen käytöstä saatavat hyödyt kunnostustarpeiden vähentymisessä tulevaisuudessa ja vedenlaadun ja kulutuksen seurannassa sekä tarkemman ja yleisymmärryksen saannista pohjavesistä ovat merkittäviä kehitysaskelia.

## LÄHTEET

Finlex. *Sosiaali- ja terveysministeriön asetus pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista*. 17.5.2001. STMp 401/01. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2001/20010401>

Geologian tutkimuskeskus. GTK. (2005). *Maaperän pohjavesi*. [http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/pohjav\\_maapera.htm](http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/pohjav_maapera.htm)

Geologian tutkimuskeskus. (22.12.2016). *Sarvikankaan, Kokkokankaan ja Lamminkankaan pohjavesialueiden geologinen rakenneselvitys*. [https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/77\\_2016.pdf](https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/77_2016.pdf)

Geologian tutkimuskeskus. (13.12.2019). *Geoenergian ja geotermisen energian potentiaali- ja käyttömahdollisuudet Suomessa: Suomessa on valtava puhtaan energian varasto*. <https://www.geologia.fi/2018/12/13/suomessa-on-valtava-puhtaan-energian-varasto/>

Gregory Barber. (26.4.2019). *How the Blockchain Could Protect California's Aquifer*. <https://www.wired.com/story/how-blockchain-could-protect-californias-aquifer/>

Lahden kaupunki. (l.a.) *Pohjavesi vaarassa*. <http://www4.lahti.fi/vyk/suojelu/projekti/california/fin/pohjavesivaara.htm>

Maa- ja metsätalousministeriö. (l.a.) *Pohjavedet*. <https://mmm.fi/vesi/pohjavedet>

Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto. (4.6.2021). *Pohjavedet*. <https://www.mtk.fi/-/pohjavesi>

Maanmittauslaitos. (2019). *Laserkeilausaineisto 2008–2019*. <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>

MooMooMath and Science. (2019). *What is groundwater?* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=zyHtkDCwQUw>

Ilmatieteen laitos. (3.3.2022). *Pohjaveden korkeustilanne 3.3.2022.*

<https://www.vesi.fi/pohjavesitilanne/>

Rachel Wolfson. (8.2.2019). *IBM Pilots Blockchain and IoT Senesor Solution To Track Sustainable Groundwater Usage In California.* <https://www.forbes.com/sites/rachelwolfson/2019/02/08/ibm-pilots-blockchain-and-iot-sensor-solution-to-track-sustainable-groundwater-usage-in-california/?sh=60438e133edb>

Vesi- ja ympäristöhallitus. (l.a.) *Monistesarja Nro 57 ja Nro 329. 1985–1988.*

<https://docplayer.fi/52330561-Vesi-ja-ymparisto-haliitu-ksfn-mon-1.html>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. (12.1.2022). *Pohjavesialueet.* [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesiensuojelu/pohjaveden\\_suojelu/pohjavesialueet](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesiensuojelu/pohjaveden_suojelu/pohjavesialueet)

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. (19.12.2019). *Pohjavesien määrällinen ja kemiallinen tila.* [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/pohjavesien\\_tila](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/pohjavesien_tila)

Wikipedia. (6.11.2020). *Pohjavesi.* <https://fi.wikipedia.org/wiki/Pohjavesi>

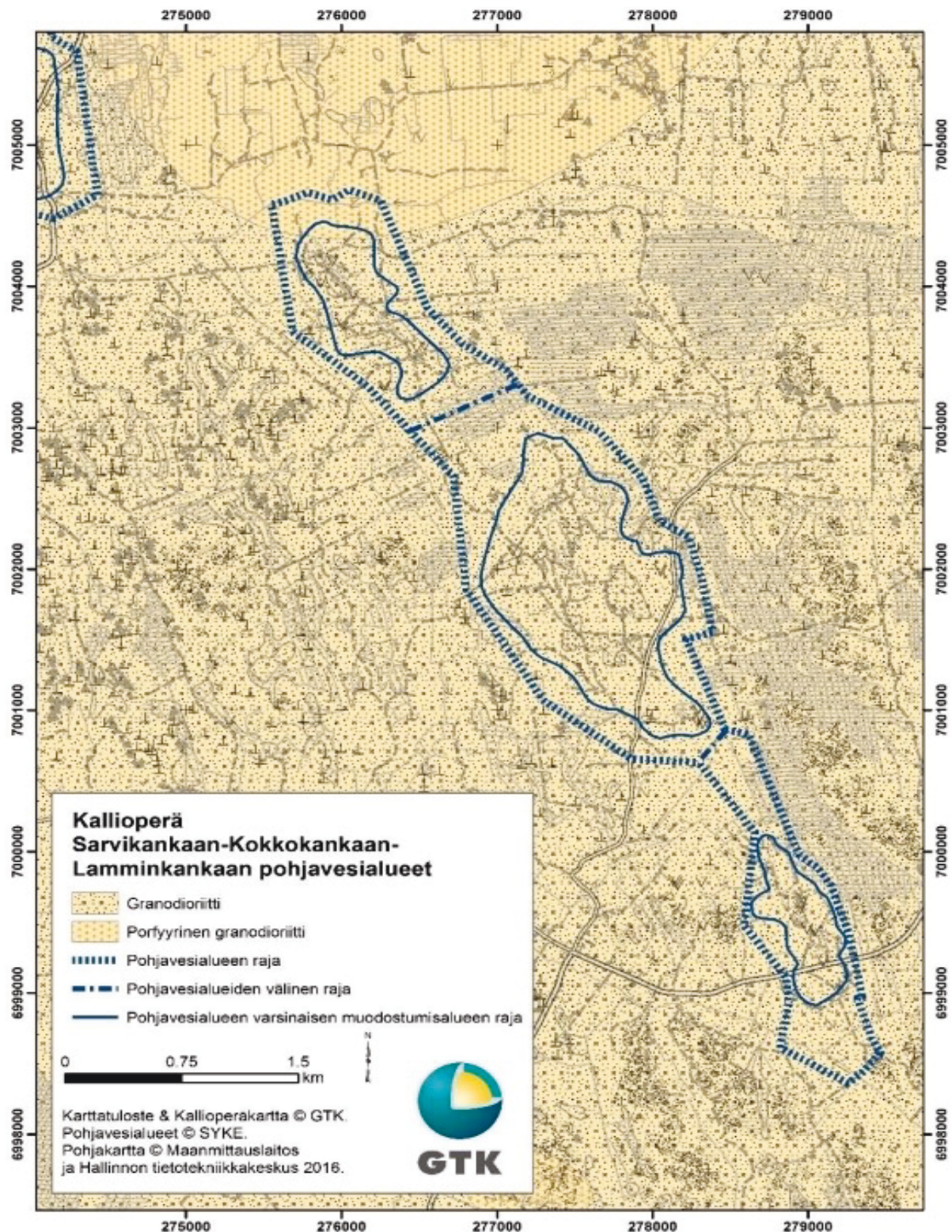
Wikipedia. (30.12.2021). *Lohkoketju.* <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lohkoketju>

## LIITTEET

Liitteet 1 – 7 poistettu toimeksiantajan pyynnöstä 5.9.2024.

Liite 8. Tutkimusalueen kallioperäkartta

Liite 8. Tutkimusalueen kallioperäkartta.



Suomen kallioperä -DikiKp. Digitaalinen karttatietokanta [Elektroninen aineisto]. Espoo. Geologian tutkimuskeskus.