

# Metsätalouden pohjavesivaikutukset

Ritva Britschgi, Sirpa Piirainen, Samuli Joensuu, Janne Juvonen,  
Pertti Ala-aho, Tuomo Karvonen, Maija Kauppila, Jussi Keränen,  
Hannu Marttila, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Jari Rintala,  
Tiina Ronkainen, Anna-Kaisa Ronkanen, Pekka Rossi, Timo Räsänen,  
Sirkku Tuominen

VALTIONEUVOSTON SELVITYS- JA  
TUTKIMUSTOIMINNAN JULKAISUSARJA 2022:4

[tietokayttoon.fi](https://tietokayttoon.fi)

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:4

# Metsätalouden pohjavesivaikutukset

## MEPO-hankkeen loppuraportti 2021

Ritva Britschgi, Sirpa Piirainen, Samuli Joensuu, Janne Juvonen, Pertti Ala-aho, Tuomo Karvonen, Maija Kauppila, Jussi Keränen, Hannu Marttila, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Jari Rintala, Tiina Ronkainen, Anna-Kaisa Ronkanen, Pekka Rossi, Timo Räsänen, Sirkku Tuominen

Valtioneuvoston kanslia Helsinki 2022

**Julkaisujen jakelu**

Distribution av publikationer

**Valtioneuvoston  
julkaisuarkisto Valto**

Publikations-  
arkivet Valto

[julkaisut.valtioneuvosto.fi](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi)

**Julkaisumyynti**

Beställningar av publikationer

**Valtioneuvoston  
verkkokirjakauppa**

Statsrådets  
nätbokhandel

[vnjulkaisumyynti.fi](http://vnjulkaisumyynti.fi)

Valtioneuvoston kanslia

This publication is copyrighted. You may download, display and print it for Your own personal use. Commercial use is prohibited.

ISBN pdf: 978-952-383-484-2

ISSN pdf: 2342-6799

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2022

## Metsätalouden pohjavesivaikutukset MEPO-hankkeen loppuraportti 2021

### Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2022:4

<b>Julkaisija</b>	Valtioneuvoston kanslia		
<b>Tekijä/t</b>	Ritva Britschgi, Sirpa Piirainen, Samuli Joensuu, Janne Juvonen, Pertti Ala-aho, Tuomo Karvonen, Maija Kauppila, Jussi Keränen, Hannu Marttila, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Jari Rintala, Tiina Ronkainen, Anna-Kaisa Ronkanen, Pekka Rossi, Timo Räsänen, Sirkku Tuominen		
<b>Kieli</b>	Suomi	<b>Sivumäärä</b>	183
<b>Tiivistelmä</b>	<p>Metsätalouden pohjavesivaikutukset (MEPO) hankkeen tavoite oli antaa tutkimustietoon perustuvia suosituksia pohjavesialueiden metsänhoitotoimenpiteisiin.</p> <p>Luokiteltuja pohjavesialueita on Suomen pinta-alasta 4 % ja metsätalous on alueiden merkittävin maankäyttömuoto. Metsätalouden toimia, joilla voi olla vaikutusta pohjaveteen, ovat hakkuut, maanmuokkaus, ojaston kunnossapito, kasvinsuojeluaineet, metsälannoitus sekä kulutus. Omana erityispiirteensä tarkasteltiin myös happamia sulfaattimaita.</p> <p>Tutkimustieto koottiin kirjallisuudesta sekä pohjavesiseurannoista. Pohjavesialueiden turvemaiden määrää, ojitusta, luontoarvoja ja metsänkättöä arvioitiin paikkatietomenetelmin. Lisäksi viimeisteltiin metsätalouden ojien kunnostuksen vaikutusten arviointiin kehitetty KUNNOS-työkalu.</p> <p>Hakkuut voivat nostaa pohjavedenpintaa ja lisätä purkautumista reuna-alueilla ja lähteissä. Hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet kohottavat tyypillisesti pohjaveden NO<sub>3</sub>-N-pitoisuutta. Myös pohjaveden lämpötilan on joissakin tutkimuksissa havaittu kohoavan. Muiden toimenpiteiden vaikutusten osalta Suomesta ei ole tutkimus- ja seurantatietoja ja arvioissa on tukeuduttu kansainvälisiin tutkimustietoihin. Tärkeä jatkotoimenpide on seurannan kehittäminen.</p> <p>Hanke toteutettiin v. 2020–2021 yhteistyössä Suomen ympäristökeskuksen, Luonnonvarakeskuksen, Tapio Oy:n ja Oulun yliopiston tutkijoiden kanssa. Tärkeässä roolissa työkalujen kehittämisessä olivat WaterHope ja Gain Oy.</p>		
<b>Klausuuli</b>	Tämä julkaisu on toteutettu osana valtioneuvoston selvitys- ja tutkimussuunnitelman toimeenpanoa.(tietokayttoon.fi) Julkaisun sisällöstä vastaavat tiedon tuottajat, eikä tekstisisältö välttämättä edusta valtioneuvoston näkemystä.		
<b>Asiasanat</b>	pohjavesi, metsätalous, metsänhoito, vesiensuojelu, seuranta, mallit (mallintaminen), tutkimus, tutkimustoiminta		
<b>ISBN PDF</b>	978-952-383-484-2	<b>ISSN PDF</b>	2342-6799
<b>Julkaisun osoite</b>	<a href="https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-484-2">https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-484-2</a>		



## Skogsbrukets inverkan på grundvatten Slutrapport från MEPO-projektet 2021

---

### Publikationsserie för statsrådets utrednings- och forskningsverksamhet 2022:4

<b>Utgivare</b>	Statsrådets kansli		
<b>Författare</b>	Ritva Britschgi, Sirpa Piirainen, Samuli Joensuu, Janne Juvonen, Pertti Ala-aho, Tuomo Karvonen, Majja Kauppila, Jussi Keränen, Hannu Marttila, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Jari Rintala, Tiina Ronkainen, Anna-Kaisa Ronkanen, Pekka Rossi, Timo Räsänen, Sirkku Tuominen		
<b>Språk</b>	Finska	<b>Sidantal</b>	183
<b>Referat</b>	<p>Målet med projektet Skogsbrukets inverkan på grundvatten (MEPO) var att ge rekommendationer, som grundar sig på forskningsinformation, för skogsvårdsåtgärder inom grundvattenområden.</p> <p>De klassificerade grundvattenområdena täcker 4 % av Finlands areal och skogsbruk är den mest betydande markanvändningsformen inom områdena. Skogsbrukets åtgärder, som kan ha inverkan på grundvatten, är skogsavverkningar, markberedning, iståndsättningsdikning, användning av växtskyddsmedel, skogsgödsling samt hyggesbränning. Som ett eget särdrag granskades även sura sulfatjordar.</p> <p>Forskningsinformationen samlades från litteratur och grundvattenobservationer. Mängden av torvmark, utdikning, naturvärden och skogsutnyttjande inom grundvattenområden utvärderades med geodatametoder. Dessutom slutfördes KUNNOS-verktyget, som är utvecklat för att utvärdera inverkan av skogsbrukets iståndsättning av diken.</p> <p>Skogsavverkningarna kan höja grundvattennivån och öka dräneringen i randområden och i källor. Näringsämnen som löser sig av avverkningsavfallen höjer vanligen NO<sub>3</sub>-N-halten i grundvattnet. Även temperaturen hos grundvattnet har i några undersökningar observerats öka. Utvärderingarna är baserade på internationell forskningsinformation då det inte finns nationell forskningsinformation om inverkan av andra skogsbruks åtgärder eller annan uppföljning. Det är viktigt att i framtiden utveckla monitorering.</p> <p>Projektet genomfördes under åren 2020–2021 i samarbete med forskare från Finlands miljöcentral, Naturresursinstitutet, Tapio Oy och Uleåborgs universitet. WaterHope och Gain Oy hade en betydande roll i utvecklandet av verktyget.</p>		
<b>Klausul</b>	Den här publikation är en del i genomförandet av statsrådets utrednings- och forskningsplan.(tietokayttoon.fi) De som producerar informationen ansvarar för innehållet i publikationen. Textinnehållet återspeglar inte nödvändigtvis statsrådets ståndpunkt.		
<b>Nyckelord</b>	grundvatten, grundvattenområden, skogsbruk, skogsskötsel, vattenskydd, monitorering, matematiska modeller, forskning, forskningsverksamhet		
<b>ISBN PDF</b>	978-952-383-484-2	<b>ISSN PDF</b>	2342-6799
<b>URN-adress</b>	<a href="https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-484-2">https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-484-2</a>		

---

## The Forestry Impacts on Groundwater Final report of the MEPO project 2021

---

### Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2022:4

**Publisher** Prime Minister's Office

---

**Author(s)** Ritva Britschgi, Sirpa Piirainen, Samuli Joensuu, Janne Juvonen, Pertti Ala-aho, Tuomo Karvonen, Maija Kauppila, Jussi Keränen, Hannu Marttila, Mika Nieminen, Tiina M. Nieminen, Jari Rintala, Tiina Ronkainen, Anna-Kaisa Ronkanen, Pekka Rossi, Timo Räsänen, Sirkku Tuominen

**Language** Finnish **Pages** 183

---

**Abstract** The objective of the Forestry Impacts on Groundwater (Metsätalouden pohjavesivaikutukset, MEPO) project was to, on the basis of research data, make recommendations for silvicultural measures in groundwater areas.

Classified groundwater areas cover 4 % of Finland's surface area, and forestry is the most significant form of land use in these areas. Silvicultural measures that may impact groundwater include forest cutting, tillage, maintenance of ditch networks, use of plant protectants, forest fertilisation, and prescribed burning. Acidic sulphate areas were also studied as a separate special characteristic.

The research data consisted of research literature and groundwater monitoring data. The number of peatlands, ditch networks, natural values, and forest use in groundwater areas were assessed using geographic information. In addition, the KUNNOS tool developed for assessing the impact of ditch maintenance in forestry was finalised as part of the project.

Forest cutting can raise the groundwater level and increase discharge in peripheral areas and springs. Nutrients released by logging leftovers tend to increase the NO<sub>3</sub>-N level of groundwater. Some studies have also observed a rise in the temperature of groundwater. In terms of the impact of other silvicultural measures, no research or follow-up data have been prepared in Finland and the estimates rely on international research data. The development of monitoring would be an important action to take in the future.

The project was carried out in 2020 and 2021 in cooperation with the Finnish Environment Institute, Natural Resources Institute Finland, Tapio Oy and University of Oulu. WaterHope and Gain Oy played a key role in the development of management tools. The project utilised water quality data provided by numerous operators.

**Provision** This publication is part of the implementation of the Government Plan for Analysis, Assessment and Research. (tietokayttoon.fi) The content is the responsibility of the producers of the information and does not necessarily represent the view of the Government.

**Keywords** groundwater, groundwater provinces, forestry, silviculture, water protection, monitoring, research, research activities

---

**ISBN PDF** 978-952-383-484-2 **ISSN PDF** 2342-6799

---

**URN-address** <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-484-2>

---

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Hankkeen tavoitteet.....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Hankkeen taustaa .....</b>	<b>12</b>
3.1	Metsätalous.....	12
3.1.1	Metsälaki säätelee metsätalouden harjoittamista.....	12
3.1.2	Metsätalouden toimenpiteet .....	13
3.2	Pohjavesi.....	14
3.2.1	Pohjaveden muodostuminen.....	14
3.2.2	Pohjavettä koskeva keskeinen lainsäädäntö metsätaloudessa.....	16
3.3	Pohjavedestä riippuvaliset ekosysteemit .....	16
3.4	Suosituksia ja kriteereitä metsätalouden toimenpiteisiin pohjavesialueilla.....	18
<b>4</b>	<b>Käytetyt tutkimusmenetelmät.....</b>	<b>20</b>
4.1	Kirjallisuusselvitys .....	20
4.2	Alueittaiset tarkastelut .....	20
4.3	Paikkatietoanalyysi.....	21
<b>5</b>	<b>Paikkatietoanalyysi metsätalous ja pohjavesialueet.....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Happamat sulfaattimaat .....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Ojitetun turvemaan vaikutus pohjaveteen.....</b>	<b>27</b>
7.1	Aiemmat tutkimukset ja vertailu muihin maihin .....	27
7.1.1	Hydrologiset vaikutukset.....	28
7.1.2	Vaikutukset pohjaveden laatuun.....	28
7.2	Seuranta- ja tutkimusaineistojen tarkastelu.....	29
7.2.1	Patamäki, pohjaveden laatu ja määrä .....	29
7.2.2	Patamäki, ojiin purkautuvien vesien laatu .....	35
7.2.3	Rokuan tutkimukset.....	37
7.2.4	Veden laadun vertailu Rokuan pohjavesialueen ja ojitettujen valuma-alueiden välillä .....	39
7.2.5	Ojituksen vaikutus pohjaveden laatuun ja määrään Rokualla .....	42

7.3	Ojituksen vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin.....	45
7.4	Ojien kunnostuksen vaikutukset hiilensidontaan ja kasvihuonekaasuihin.....	46
<b>8</b>	<b>Muiden metsätalouden toimintojen vaikutus pohjaveteen .....</b>	<b>48</b>
8.1	Hakkuu ja energiapuun korjuu.....	48
8.2	Maanmuokkaus metsänuudistamisessa .....	51
8.3	Metsitys .....	52
8.4	Lannoitteet ja kasvinsuojeluaineet .....	53
8.5	Metsäkoneiden ja metsäautoteiden aiheuttamat riskit .....	56
8.6	Kulutus .....	57
8.7	Pohjavesialueiden metsänhoidon vaikutukset hiilensidontaan ja kasvihuonekaasuihin.....	58
<b>9</b>	<b>Pohjavesivaikutusten hallinnan työkalut kestävässä metsätaloudessa .....</b>	<b>60</b>
9.1	KUNNOS-työkalu .....	60
9.1.1	Tausta ja tavoitteet.....	60
9.1.2	Avoimet aineistot ja käyttäjän omat lähtötiedot .....	61
9.1.3	Pohjavesimallien muodostaminen ja kalibrointi .....	62
9.1.4	Ojien kunnostuksen vaikutus pinta- ja pohjavesien veden laadun muutoksiin.....	64
9.1.5	Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi altistumisalueiden avulla.....	65
9.1.6	Soveltuvuus erityyppisille pohjavesimuodostumille .....	65
9.1.7	Lähtötietojen vaikutus työkalun tarkkuuteen.....	66
9.1.8	KUNNOS-mallin käyttö pilvipalvelun kautta.....	66
9.2	Tarkistuslista toimintaan pohjavesialueilla .....	68
<b>10</b>	<b>Metsätalouden pohjavesivaikutusten seuranta .....</b>	<b>69</b>
10.1	Metsätaloustoimenpiteiden vaikutusten tarkkailuun liittyvät velvoitteet ja lainsäädäntö.....	69
10.2	Seurannan nykytila.....	69
10.3	Ojien kunnostuksen vaikutusten seuranta.....	70
10.4	Kulotuksen vaikutusten seuranta .....	70
10.5	Hakkuiden vaikutusten seuranta .....	75
10.6	Suosituksien seurannan järjestämisestä.....	77
10.6.1	Ojien kunnostuksen vaikutusten seurannan järjestäminen.....	78
10.6.1.1	Seurattavat parametrit.....	78

10.6.2	Kulotuksen vaikutusten seurannan järjestäminen .....	79
10.6.2.1	Seurattavat parametrit.....	79
10.6.3	Hakkuiden vaikutusten seurannan järjestäminen .....	80
10.7	Seurannan toteuttaminen ja rahoitus .....	81
10.7.1	MaaMet-seuranta .....	82
10.7.2	Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkosto.....	82
10.7.3	Toiminnanharjoittajien toteuttama vapaaehtoinen tarkkailu ja yhteistarkkailu.....	83
10.7.4	Valtakunnallisten seuranta-asemien seurantaverkko .....	83
10.7.5	Ekosysteemien seuranta .....	84
<b>11</b>	<b>Tulokset ja johtopäätökset .....</b>	<b>85</b>
11.1	Pohjavesivaikutukset.....	85
11.2	Pohjavesivaikutusten hallinnan työkalut.....	88
11.3	Pohjavesivaikutusten seuranta.....	89
11.4	Käytössä olevat ohjeistukset pohjavesialueiden osalta.....	90
11.5	Johtopäätökset.....	91
<b>12</b>	<b>MEPO-hankkeen suositukset .....</b>	<b>93</b>
12.1	Keskeisiin tuloksiin liittyvät suositukset .....	93
12.2	Jatkotutkimus ja seuratarpeet .....	93
	<b>Liite 1. Metsätalous, taustaa ja käsitteitä .....</b>	<b>96</b>
	<b>Liite 2. Pohjavesi, taustaa ja käsitteitä .....</b>	<b>105</b>
	<b>Liite 3. Pohjavedestä riippuvaliset ekosysteemit, taustaa ja käsitteitä.....</b>	<b>110</b>
	<b>Liite 4. Eri tahojen pohjavesisuositukset metsätalouteen.....</b>	<b>122</b>
	<b>Liite 5. Paikkatietoanalyysit .....</b>	<b>134</b>
	<b>Liite 6. Esimerkkejä KUNNOS-mallin soveltamisesta eri pohjavesimuodostumiin .....</b>	<b>150</b>
	<b>Lähteet.....</b>	<b>167</b>

## ALKUSANAT

Metsätalouden pohjavesivaikutukset (MEPO) hanke käynnistyi ensimmäisenä koronakeväänä 2020. Hankkeen tavoitteena oli koota tietopaketti vesienhoidon ja meren hoidon järjestämisestä annetun lain (1299/2004, VMJL) tarkoittamiin luokiteltuihin pohjavesialueisiin sovellettavissa olevasta tutkimustiedosta, joka käsittelee metsätalouden vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään.

Hanke toteutettiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Tapio Oy:n (Tapio) konsortiohankkeena. Tärkeissä rooleissa olivat myös ali-hankkijoina toimineet Oulun yliopisto, WaterHope ja Gain Oy tutkijoineen ja asiantuntijoineen. Hankkeen ohjausryhmä kokoontui yhdeksän kertaa ja siinä toimivat:

- ympäristöneuvos Juhani Gustafsson, ympäristöministeriö (pj)
- johtava hydrogeologi Ritva Britschgi, Suomen ympäristökeskus (siht.)
- metsäneuvos Marja Hilska-Aaltonen, maa- ja metsätalousministeriö (1.5.–31.8.2020)
- vesiensuojelun johtava asiantuntija Samuli Joensuu, Tapio Oy
- ylitarkastaja Janne Juvonen, Suomen ympäristökeskus
- neuvotteleva virkamies Ville Keskisarja, maa- ja metsätalousministeriö (1.5.–30.11.2020)
- ympäristöneuvos Maarit Loiskekoski, ympäristöministeriö
- erityisasiantuntija Jaakko Nippala, maa- ja metsätalousministeriö (1.5.2021 alkaen)
- erikoistutkija Sirpa Piirainen, Luonnonvarakeskus
- metsäneuvos Niina Rissanen, maa- ja metsätalousministeriö (1.9.2020–30.4.2021)

Hankkeen sidosryhmätilaisuus järjestettiin 29.9.2021 ja loppuseminaari 18.1.2022. Haluamme kiittää sekä aktiivista ohjausryhmää että hankkeen tilaisuuksiin osallistuneita asiantuntijoita hanketta edistävästä kommentista ja saamastamme tuesta. Eri-tyiskiihtokset raportin ulkoasun viimeistelleelle erikoistutkija Sirkku Tuomiselle.

Tammikuussa 2022

Ritva Britschgi Suomen ympäristökeskus  
 Sirpa Piirainen Luonnonvarakeskus  
 Samuli Joensuu Tapio Oy  
 Janne Juvonen Suomen ympäristökeskus

# 1 Johdanto

Metsätalouden pohjavesivaikutukset (MEPO) hankkeessa metsätaloutta tarkastellaan puuston kasvatuksena ja korjuuna. Suomen luokitelluilla pohjavesialueilla pääasiallinen maankäyttömuoto on metsätalous.

Tietoa ja arvioita metsätalouden vaikutuksesta pohjaveteen tarvitaan, jotta arvokkaat pohjavesivarannot säilyvät hyvälaatuisina ja hyvässä määrällisessä tilassa. Pohjavesi on yhteydessä pintavesiin ja sen hyvä laatu sekä riittävä määrä turvaavat myös pohjavesimuodostumiin liittyvien pintavesien sekä pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien hyvää tilaa.

Metsätaloustoimenpiteiden mahdollisten rajoitusten ja suositusten tulee perustua tutkittuun tietoon ja lainsäädäntöön. Pohjavesialueilla toiminta voi tarvittaessa olla erilaista kuin muilla alueilla, siksi pohjavesialueita koskevaa koottua tietoa metsänhoitotoimien vaikutuksista ja suosituksista tarvitaan. Toimijoiden tulee löytää tieto helposti ja heille tulee tarjota työkaluja vaikutusten hallintaan ja toimenpiteiden suunnitteluun. Viranomaispuolella koottu tieto helpottaa asioiden käsittelyä ja toimijoiden kanssa yhteiset työkalut selkeyttävät työtä ja vuoropuhelua.

Hankkeessa tarkasteltiin metsätaloutta, pohjavettä ja pohjavedestä riippuvaisia ekosysteemejä sekä näihin liittyvää ohjeistusta. Yhteensovittavan näkökulman taustaksi nähtiin perusteltuna kuvata eri aihealueiden termistöä, käsitteitä ja ohjeistusta varsin laajasti. Laajat, eri osa-alueiden taustaa ja käsitteitä koskevat osuudet löytyvät loppuraportin liitteistä.

## 2 Hankkeen tavoitteet

MEPO -hankkeen päätavoitteena oli koota vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain (1299/2004, VMJL) tarkoittamiin luokiteltuihin pohjavesialueisiin, käytännössä hiekka- ja soramaihin, sovellettavissa olevaa tutkimustietoa metsätalouden vaikutuksista pohjaveden laatuun ja määrään.

Metsätalouden pohjavesivaikutusten seurannan osalta hankkeessa selvitettiin, voitaisiinko muissa yhteyksissä luokitelluilta pohjavesialueilta kerättyä pohjaveden seurantatietoa hyödyntää metsänhoitotoimenpiteiden pohjavesivaikutusten arvioinnissa esimerkiksi yhdistämällä eri tahoilla olevia paikkatietoja. Tarkastelussa arvioitiin nykyisen seurannan riittävyttä ja tehtiin ehdotus metsänhoidon pohjavesivaikutusten seurannan järjestämisen vastuista.

Tutkimustiedon pohjalta pyrittiin tuottamaan eri tahojen ohjeistusta tukevaa aineistoa ja työkaluja metsätalouden toimenpiteiden hallintaan pohjavesialueilla. Koottujen tietojen pohjalta oli tavoitteena antaa arviot siitä, millaisia metsänkäsittelytoimia voidaan tehdä pohjavesialueilla ilman haitallisia vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään. Arviointi tukeutui tutkimustiedon ohella ympäristönsuojelulain (527/2014, YSL) ja vesilain (587/2011, VL) säädöksiin sekä vesienhoidon pohjavesille asettamiin tavoitteisiin (1299/2004, VMJL). Lisäksi tarkasteltiin Valtioneuvoston toimeksiannon mukaisesti myös toimenpiteiden ilmastovaikutuksia ja tuotettiin ehdotuksia jatkotutkimustarpeista.

Tavoitteena oli antaa tutkimustietoon perustuen suositukset siitä, mitkä metsänhoitotoimet soveltuvat pohjavesialueille ja millaisia mahdollisia rajoitteita hiekka- ja sora-  
mailla metsänhoitotoimille on. Suosituksia ja rajoitteita ehdotettaessa huomioitiin jo olemassa olevat metsänhoidon suositukset ja niihin ehdotettiin tarpeelliseksi katsottavia muutoksia.



## 3 Hankkeen taustaa

### 3.1 Metsätalous

Metsätalous on taloudellista toimintaa, jolla tuotetaan uusiutuvaa raaka-ainetta metsäteollisuuden ja energiateollisuuden käyttöön. Metsätalous on Suomessa pääasiassa yksityismetsätaloutta. Yksityiset metsänomistajat, tavalliset kansalaiset ja perheet, omistavat metsämaasta 60 ja puuston kasvusta 70 prosenttia. Vähintään kaksi hehtaaria metsämaata omistavia perhemetsätiloja on noin 350 000. Omistajia näillä tiloilla on kaksinkertainen määrä, yli 600 000.

Metsähallituksen hallinnoimat valtion metsät kattavat metsämaasta neljäsosan, mutta valtion osuus kaikista hakkuista on vain kymmenesosa. Metsäyhtiöt omistavat metsämaasta vajaan kymmenen prosenttia, ja niiden osuus hakkuista on likimain saman verran. Kunnat, seurakunnat, säätiöt ja yhteismetsät omistavat loput noin viisi prosenttia Suomen metsämaasta.

Kansallisen metsästrategian 2025 tavoitteena on aktiivisen ja yritysmäisen metsätalouden lisääntyminen, tilakokojen kasvu ja metsien aktiivista käyttöä tukeva omistaja- ja kiinteistö rakenne. Suomen metsäkeskuksen asiakasrekisterin tietojen (31.10.2021) perusteella metsänomistuksen mediaaniala on 10 hehtaaria ja keskipinta-ala 32 hehtaaria. Tilarakenne on muutoksessa: tällä hetkellä syntyy lisää sekä pieniä, alle 10 hehtaarin tiloja, sekä suuria, yli 100 hehtaarin tiloja. Pirstoutumisen syynä ovat tavallisesti perinnönjaot. Tilakoon kasvu johtuu tilakaupoista.

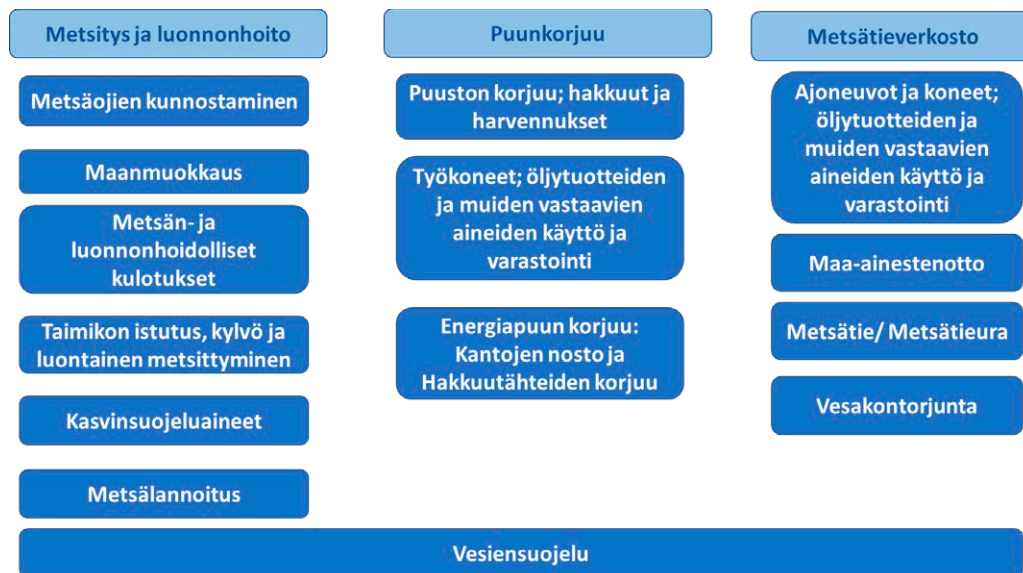
#### 3.1.1 Metsälaki säätelee metsätalouden harjoittamista

Metsälain (1093/1996) tarkoituksena on ”edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä siten, että metsät antavat kestävästi hyvän tuoton samalla, kun niiden biologinen monimuotoisuus säilytetään”. Metsänhoidon suositukset tarjoavat perusteltuja vaihtoehtoja sekä parhaita käytäntöjä metsien käsittelyyn. Metsänhoidon suositukset on tarkoitettu metsänomistajien ja heitä palvelevien ammattilaisten käyttöön ja niiden ylläpidosta vastaa Tapio Oy. Metsänhoitosuosituksia päivitetään aina vastaamaan uusinta tutkimustietoa. Metsänhoitosuositusten päivitystä varten on koottu useita kymmeniä tahoja koskeva yhteistyöryhmä, joka päättää kulloinkin tarvittavista muutoksista metsänhoitosuosituksissa. Valtio ja metsäyhtiöt ovat myös laatineet omia täydentäviä suosituksiaan.

Metsäsertifiointi on markkinaehtoinen järjestelmä, joka osaltaan ohjaa metsänhoitoa. Sertifioiduissa metsissä metsätaloutta ohjaa kansainvälinen sertifiointikriteeristö ja niihin perustuvat kansalliset indikaattorit eli ns. kansallinen standardi. Kansainvälinen vertailtavuus on oleellista kestävyyttä tarkasteltaessa. Kansallinen standardi laaditaan sertifiointijärjestelmän kansainvälisten vaatimusten ohjaamana siten, että työhön kotimaassa osallistuvien tahojen erilaiset näkemykset pyritään sovittamaan yhteen neuvottelemalla. Tulos on yleensä kompromissi, jotta päästään lopputulokseen, jossa kestävyyden eri osa-alueet ovat tasapainossa. Suomessa on kaksi metsäsertifiointijärjestelmää; Forest Stewardship Council (FSC) ja Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC). Metsäsertifiointi perustuu jatkuvaan metsätalouden kehittämiseen ja esimerkiksi metsäsertifiointin kriteerit päivitetään määräväleihin.

### 3.1.2 Metsätalouden toimenpiteet

Metsätalouteen liittyviä toimia, joilla voi olla vaikutusta pohjaveteen, ovat muun muassa erilaiset hakkuut, metsänuudistamiseen liittyvä maanmuokkaus, vesitalouden säätelyyn liittyvä ojitustoiminta, ojaston kunnossapito, metsätieverkosto sekä ravinnetalouden ylläpitoa varten tehtävä metsälannoitus (kuva 1). Metsätalouteen liittyviä käsitteitä ja toimenpiteitä on kuvattu laajemmin liitteessä 1.



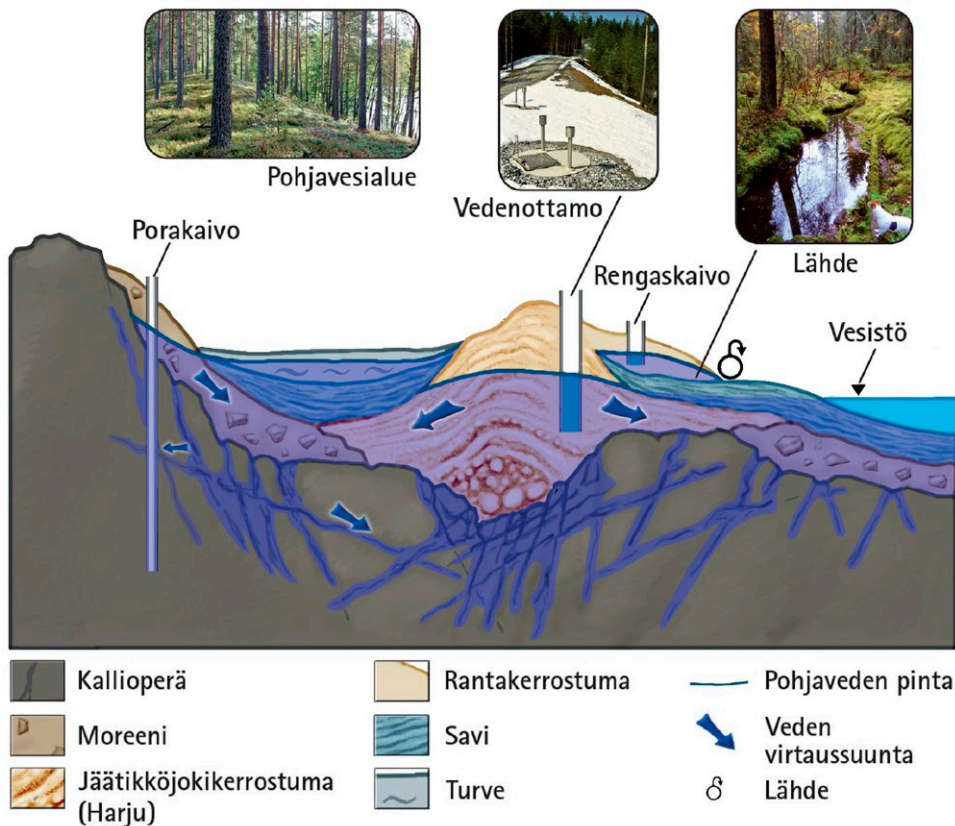
**Kuva 1.** Hankkeessa tarkastellut metsätalouteen liittyvät toimenpiteet, joiden osata tarkasteltiin niiden mahdollisia vaikutuksia pohjaveteen tai pohjavesiriippuvaisiin ekosysteemeihin.

## 3.2 Pohjavesi

Pohjavedeksi katsotaan kuuluvan kaikki maa- tai kallioperässä oleva vesi (YSL). Kyllästyneessä pohjavesivyöhykkeessä se täyttää kokonaan maa- ja kallioperän avoimet huokostilat. Tämän vyöhykkeen yläpuolisessa kyllästymättömässä vyöhykkeessä osittain sitoutuneena ja osittain vapaana olevaa vettä kutsutaan maavedeksi (Paasonen-Kivekäs ym. 2016). Sen määrä vaihtelee runsaasti ajallisesti ja paikallisesti. Painovoiman ansiosta kyllästymättömässä vyöhykkeessä laskeutuvaa vettä kutsutaan myös vajovedeksi (Tieteen termipankki 2021).

### 3.2.1 Pohjaveden muodostuminen

Pohjavettä syntyy, kun sade- tai pintavesi imeytyy maakerrosten läpi tai virtaa kallioperän rakoihin. Pohjavettä on käytännössä lähes kaikkialla (kuva 2), mutta runsaimmin sitä muodostuu hyvin vettä johtavilla sora- ja hiekkamuodostumilla kuten harjuilla ja lajittuneilla reunamuodostumilla.

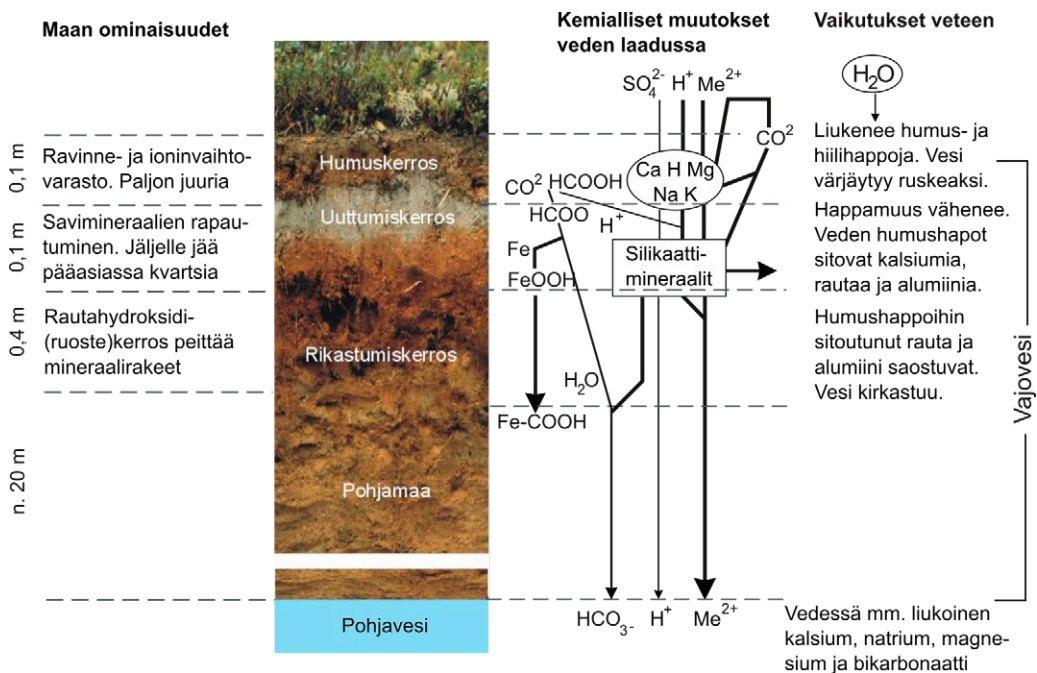


**Kuva 2.** Pohjavettä on maa- ja kallioperässä lähes kaikkialla. Sitä virtaa maaperän huokostilassa ja kallioperän raissa. Piirros Harri Kutvonen, piirroksen muokkaus ja valokuvat Anne Petäjä-Ronkainen, Tarkkana siellä pohjavesialueella -esitteet.

Sade- tai sulamisveden koostumus muuttuu merkittävästi luonnontilaisessa maa- tai kallioperässä. Eniten veden laatu muuttuu maan pinnan ylimmässä osassa eli maannoskerroksessa (kuva 3). Maannoskerros sisältää sekä orgaanista että mineraalista ainesta ja eroaa alapuolisesta pohjamaasta niin fysikaalisilta, kemiallisilta kuin biologisilta ominaisuuksiltaan.

Maannoskerroksen alapuolella vajoveden koostumuksen vaihtelut vähenevät ja se alkaa laadultaan muistuttaa pohjavettä, jolle on ominaista tasalaatuisuus. Maannoskerros sitoo tehokkaasti maan pinnalle kertyvän karikkeen ja muun orgaanisen aineksen hajotuksessa vapautuvia ravinteita ja ilmakehästä kulkeutuvia haitallisia aineita kuten raskasmetalleja.

Äkilliset muutokset kasvillisuudessa, kuten päätehakkuut ja maakerrosten häiriöt, kuten maanmuokkaus lisäävät pohjaveden likaantumisriskiä, pohjaveden pinnan korkeuden vaihteluita ja altistavat maaperän eroosiolle. Kasvillisuuden väheneminen hakkuissa ja maanmuokkauksessa voi myös lisätä pohjaveden muodostumista kun kasvillisuuden haihdunta pienenee.



**Kuva 3.** Sade- ja sulamisvesien koostumus ja kemialliset ominaisuudet muuttuvat maannoskerroksen läpi suotautuessaan (Alapassi ym. 2001).

### 3.2.2 Pohjavettä koskeva keskeinen lainsäädäntö metsätaloudessa

Pohjaveden suojelusta ja pohjavesialueiden määrittämisestä säädetään ensisijassa vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetulla lailla (1299/2004, VMJL), ympäristönsuojelulailla (527/2014 YSL) sekä vesiläilla (587/2011 VL). Pohjavettä koskevia säännöksiä sisältyy myös useisiin muihin lakeihin kuten maa-aines- (555/1981), kemikaali- (599/2013) ja lannoitevalmistelakeihin (539/2006) sekä lakiin kasvinsuojeluaineista (1563/2011).

Pohjavesialueet ovat ympäristönsuojelulaissa määritelty geologisin perustein rajattavissa oleviksi maaperän muodostumiksi tai kallioperän vyöhykkeiksi, jotka mahdollistavat merkittävän pohjaveden virtauksen tai vedenoton. Tällaista pohjavesivarastoa voidaan kutsua akviferiksi. Pohjaveteen liittyviä käsitteitä on kuvattu laajemmin liitteessä 2.

Pohjavesialueiden kartoitusta ja luokittelua on tehty jo pitkään perustuen pohjaveden merkitykseen vesihuollolle. VMJL:n mukaisessa pohjavesialueiden määrittämisessä ja luokittelussa pohjavesialueet luokitellaan kolmeen luokkaan:

- 1 vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue
- 2 muu vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
- E pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen

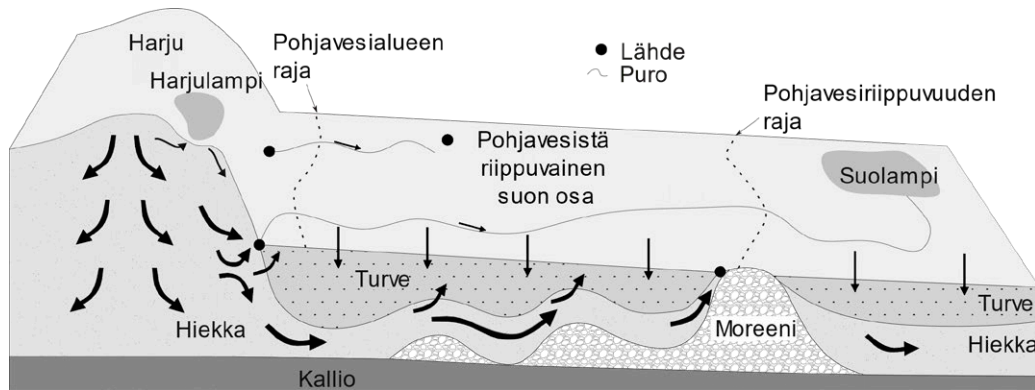
Mikäli alueeseen liittyy pohjavedestä suoraan riippuvainen pintavesi- tai maaekosysteemi, käytetään luokissa 1 ja 2 lisäksi E-merkintää (1E tai 2E).

### 3.3 Pohjavedestä riippuvaliset ekosysteemit

Pohjaveden olemassaolo ja purkautuminen ovat keskeisiä tekijöitä määrittelemään minkälaiset elinolot alueelle muodostuvat ja millaisia kasvi- ja eläinlajeja alueella esiintyy. Valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006, jatkossa vesienhoitoasetus) määritellään pintavesiekosysteemin olevan pohjavedestä suoraan riippuvainen, kun siihen purkautuu pohjavettä siten, että pohjaveden purkautumisella on merkitystä kyseisen ekosysteemin suojelulle ja säilymiselle. Vastaavasti maaekosysteemi on pohjavedestä suoraan riippuvainen, kun pohjavesi ylläpitää luontotyyppin ominaispiirteitä sekä vaikuttaa sen suojeluun ja säilymiseen.

Luontaisesti pohjavesiesiintymä on tasapainotilassa, jossa kaikki muodostuva pohjavesi purkautuu ympäristöön. Purkautumisalue voi olla osa akviferia kuten tyypillisesti on pohjavesivaikutteisten lampien ja purojen latvaosien tapauksessa. Toisaalta purkautumisalue voi sijaita akviferin välittömässä läheisyydessä, josta esimerkkinä ovat lähteet ja pohjavesialuetta ympäröivät suot. Purkautumisalue voi olla myös huomattavan kaukana varsinaisesta pohjaveden muodostumisalueesta esim. joet, järvet, meret.

Purkautumisalueiden ja pohjaveden rajapinnoilta tavataan pohjavedestä riippuvaisia ekosysteemejä (kuva 4). Näitä ovat mm. lähdesuot ja muut pohjavesivaikutteiset suot (Ilmonen ym. 2008). Olosuhteet rajapinnoilla ovat erityislaatuiset veden määrän, laadun tai lämpötilan osalta (Isokangas ym. 2017). Olosuhteet suosivat hyvin näihin olosuhteisiin erikoistuneita eliölajeja ja ekosysteemejä. Esimerkiksi lähteissä ns. lähdelajit ovat sellaisia, joiden esiintyminen ja runsaus on jossain elinkierron vaiheessa riippuvaisista riittävästä pohjaveden tulosta (Ilmonen ym. 2012). Usein myös luhtaiset ja lähteiset rimpipintajuotit soiden keskiosissa voivat olla merkittäviä uhanalaisten ja silmälläpidettävien lajien elinympäristöjä (Heikkilä ym. 2001). Syyt eri lajien pohjavesiriippuvaisuudelle ovat moninaiset, mutta usein pohjaveden tarjoamat vakaat lämpötila- ja ravinneolot sekä mikroilmasto ovat keskeisiä tekijöitä lähdelajien esiintymisen säätelyssä. Yksityiskohtaisempaa tietoa pohjavedestä riippuvaisista ekosysteemeistä on liitteessä 3.



**Kuva 4.** Tyypillisiä pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien sijainteja akviferissa. (Kuva muokattu Isokangas ym. 2017).



## 3.4 Suosituksia ja kriteereitä metsätalouden toimenpiteisiin pohjavesialueilla

Pohjavesialueiden metsät kuuluvat normaalin metsätalouden piiriin ellei käyttöä ole rajoitettu esimerkiksi vedenottamon vesilain mukaisen suoja-alueen määräyksiin. Metsänhoidon suositukset tarjoavat perusteltuja vaihtoehtoja sekä parhaita käytäntöjä metsien käsittelyyn ja niihin sisältyy myös pohjaveden suojelua koskevia suosituksia. Ylläpidosta vastaa Tapio Oy ja käyttäjiä ovat sekä metsänomistajat että heitä palvelevat ammattilaiset (Äijälä ym. 2019, Joensuu ym. 2019).

Metsähallitus on laatinut valtion metsien hoitoon oman ympäristöoppaansa, joka on tarkoitettu sekä toimenpiteiden suunnittelijoille että toteuttajille (Kaukonen ym. 2018). Lisäksi PEFC (PEFC FI 2014) ja Suomen FSC (Suomen FSC-standardi 2011) -metsäsertifiointijärjestelmien standardien kriteeristöihin ja periaatteisiin sisältyy joitakin pohjaveden suojelua koskevia indikaattoreita (taulukko 1), jotka ovat velvoittavia sille metsänomistajalle, jonka metsät ovat ko. sertifiointijärjestelmässä.

Metsälain mukaisen metsänkäyttöilmoituksen kohdealueen sijaitessa pohjavesialueella, lähettää Metsäkeskus ilmoituksen tehneelle taholle pohjaveden suojelua koskevan ohjeen, johon on koottu ajantasainen tieto.

Kestävän metsätalouden rahoituslain (KEMERA-tuki) mukaisista valtion varoista rahoitetaan sekä puuntuotantoa turvaavia metsänhoito- ja metsänparannustöitä että biologista monimuotoisuutta ylläpitävää luonnonhoitoa ja -suojelua. Nykyinen tukijärjestelmä on näillä näkymin voimassa vuoden 2023 loppuun ja uuden tukijärjestelmän on tarkoitus tulla voimaan vuonna 2023 tai 2024.

Metsätalouden kannustejärjestelmää pohtinut METKA-työryhmä esitti kannustejärjestelmään muutoksia, joilla on mahdollisia heijastevaikutuksia myös pohjaveteen. Pohjavesiin vaikuttavia toimenpiteitä ovat ojien kunnostuksen toteuttamisen tuesta luopuminen, terveyslannoitus, osaamisen varmistaminen erityisesti suometsän hoidon suunnittelussa, metsäteiden kunnossapidon korostaminen, kulotuksen lisäämisen tavoitteet sekä digitalisaation mahdollisuuksien hyödyntäminen. Metsien biologisen monimuotoisuuden turvaamiseen sisältyvät keinot (järeeän puuston ja lahoppuuston säästö, sekapuustoisuuden suosiminen, monimuotoisuudelle arvokkaiden pienalueiden ja vaihettumisvyöhykkeiden säästäminen) tukevat erityisesti pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien elinvoimaisuutta. Metsäteiden kunnossapidolla varmistetaan myös paremmat mahdollisuudet metsäpalojen torjuntatoimille. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021)

**Taulukko 1.** Pohjavesialueella sallitut (vihreä väkänen) ja kielletyt/suositteluaan vältettäväksi (punainen rasti) metsätaloustoimenpiteet eri metsänkäsitelyohjeiden mukaan. Jos ruudussa on sekä punainen rasti että vihreä väkänen, toimenpide on sallittu/kielletty erityisperusteella. (Piirainen 2019a).

	Metsänhoito-suositukset	PEFC-kriteeristö	FSC-kriteeristö	Metsähallituksen ympäristöopas
Päätehakkuu	✓	✓	✓	✓
Harvennushakkuu	✓	✓	✓	✓
Lannoitus	✗	✓	✗	✗
Tuhkalannoitus		✓	✗	✗
Terveyslannoitus	✓	✓	✗	✓✗
Kasvinsuojeluaineiden käyttö	✗	✗	✗	✗
Maanmuokkaus	✓	✓	✓	✓✗
Kannon nosto	✗	✓	✗	✗
Metsäteiden teko	✓	✓	✓	✓✗
Kulotus	✗	✓	✓✗	✓✗
Kunnostusojitus	✓	✓	✗	✓✗

Ympäristöministeriö asetti vuonna 2019 vesienhoidon kolmannen kauden 2022–2027 toimenpiteiden suunnittelun opastusta varten viisi toimialakohtaista työryhmää, joista yksi käsitteli metsätaloutta ja turvetuotantoa. Metsätalouden sektorille esitetyistä vesienhoidon toimenpiteistä osa liittyy suoraan tai välillisesti pohjavesiin. Ohjauskeinojen määrittelyssä on pyritty kiinnittämään aiempaa enemmän huomiota konkreettisuuden sekä toteutumisen seurantamahdollisuuksiin. Toimenpiteet on jaettu perustoimenpiteisiin, muihin perustoimenpiteisiin ja täydentäviin toimenpiteisiin. Täydentäviin toimenpiteisiin kuuluu ojitusten haittojen ehkäisy pohjavesialueilla. Tämän osalta suunnitelmat tehdään pohjavesialuekohtaisesti. Toimenpiteitä voivat olla matalamman ojasyvyyden käyttäminen, ojien täyttö, vesien johtamisen muuttaminen tai humuspitoisen pintaveden pääsyn estäminen pohjaveteen. Konkreettisena ehdotuksena on myös, että pohjavesialueilla toimijoilla ja suunnittelijoilla on käytössään riskinarviointityökalu ojien kunnostamisen vaikutusten arviointiin.

Eri toimijoiden suositukset on kuvattu tarkemmin liitteessä 4.



## 4 Käytetyt tutkimusmenetelmät

### 4.1 Kirjallisuusselvitys

MEPO-hankkeessa tehdyssä kirjallisuusselvityksessä koottiin olemassa oleva tutkimustieto metsätalouden vaikutuksista pohjaveden määrään ja laatuun. Tutkimustietoa etsittiin julkisista netissä olevista tiedonhaku sivustoista, jotka pitivät sisällä tutkimusraportteja ja tieteellisiä julkaisuja. Metsätaloustoimenpiteet, joiden osalta tietoa haettiin olivat hakkuut, metsitys, kulotus ja ojitus. Kirjallisuuskatsauksella saatiin muodostettua käsitys saatavilla olevan tutkimustiedon nykytilasta. Kirjallisuuskatsauksen kokosi Oulun yliopiston ympäristötekniikan koulutusohjelman diplomityönä Jussi Keränen. Työtä ohjasivat Oulun yliopistossa TkT Pertti Ala-aho ja TkT Anna-Kaisa Ronkanen. Luonnonvarakeskus oli mukana työn arvioinnissa ja tuloksia on hyödynnetty osana metsätalouden pohjavesivaikutusten kuvauksia.

### 4.2 Alueittaiset tarkastelut

Alueittaisia tutkimusaineistoja tarkasteltiin Kokkolan Patamäen sekä Muhoksen ja Vaalan kuntiin sijoittuvan Rokuan alueiden osalta. Patamäen seuranta-alueella tarkailua tehtiin vuosina 2016–2020 kahdesta pohjaveden havaintoputkesta seuraamalla pohjaveden pintaa 3–6 kertaa vuodessa. Samalla havainnointikerralla pohjavesiputkien vedestä mitattiin lämpötila ja otettiin vesinäytteet, joista analysoitiin ravinteita, metalleja, orgaanisen aineksen määrää, pH sekä happipitoisuus. Pohjavesiputkien läheisyydessä olevista kunnostetuista metsäojista pyrittiin ottamaan vesinäytteet samalla näytteenotokerralla. Pohjavesinäytteet saatiin kaikilla 19 näytteenotokierroksella, mutta ojanäytteitä vain 13 kertaa, koska ojat olivat 6 ajankohtana kuivia. Vuosina 2016 ja 2017 sekä havaintoputkista että ojista mitattiin hapen ja vedyn isotoopit. Isootooppimittausten tavoitteena oli varmistaa, purkautuuko ojiin pohjavettä.

Rokuan alueen aineistona olivat Oulun yliopiston vuosina 2009–2016 tekemät pohjaveden määrään ja laatuun liittyvät tutkimustulokset, jotka oli tuotettu sekä kansallisissa että kansainvälisissä tutkimushankkeissa. MEPO-hankkeessa näiden tietojen pohjalta arvioitiin alueen pohjaveden määrällistä tilannetta pohjavesimallinnuksella. Sekä Patamäen että Rokuan alueiden osalta tehtiin mallinnus myös KUNNOS-mallilla (liite 6).

## 4.3 Paikkatietoanalyysi

Pohjavesialueilla sijaitsevien turvemaiden määrää, ojitustilannetta, luontoarvoja ja metsänkäytön intensiteettiä arvioitiin paikkatietomenetelmin. Analyysit perustuivat SY-KE:n pohjavesialue- ja suojelualueaineistoihin, Maanmittauslaitoksen (MML) suo- ja oja-aineistoon, sekä Luken monilähteiseen valtakunnan metsien inventointiaineistoon. Analyseissä turvemaat määriteltiin MML:n suoaineiston mukaisesti, jossa suoksi on määritelty turvemaat, joissa turvetta on vähintään 30 cm. Analyysit tehtiin koko Suomelle sekä aluehallintovirastojen alueiden mukaan (kuva 5).



**Kuva 5.** Suomen pohjavesialueet (sininen) ja aluehallintovirastojen alueet (keltaoranssi).

## 5 Paikkatietoanalyysi metsätalous ja pohjavesialueet

Paikkatietoanalyysin mukaan luokiteltuja pohjavesialueita on Suomen pinta-alasta 4 % ja niiden kokonaisala on 12 740 km<sup>2</sup>. Pohjavesialueista metsämaata on 8 599 km<sup>2</sup> (67 %), josta turvemetsämaata 927 km<sup>2</sup> (7 % pohjavesialueiden pinta-alasta). Kaikkiaan turvemaata (metsä-, kitu- ja joutomaa) on 1 563 km<sup>2</sup> (12 %). Pohjavesialueiden turvemetsämaita on eniten Pohjois- (251 km<sup>2</sup>) sekä Länsi- ja Sisä-Suomessa (213 km<sup>2</sup>) ja vähiten Lapissa (104 km<sup>2</sup>) ja Lounais-Suomessa (63 km<sup>2</sup>) (Liite 5, taulukko 5).

Pohjavesialueiden turvemetsämaista on ojitettu 663 km<sup>2</sup> (72 %), joka vastaa 5 % pohjavesialueiden kokonaispinta-alasta. Eniten ojitettuja turvemetsämaita sijaitsee Pohjois- (180 km<sup>2</sup>) sekä Länsi- ja Sisä-Suomessa (176 km<sup>2</sup>) ja vähiten Lapissa (52 km<sup>2</sup>) ja Lounais-Suomessa (46 km<sup>2</sup>). Pohjavesialueita reunustavilla alueilla (etäisyys < 40 m pohjavesialueen rajasta) turvemetsämaiden ojitusprosentti on hieman alhaisempi (58 %) kuin pohjavesialueilla (Liite 5, taulukko 4).

Happamia sulfaattimaita on pohjavesialueilla nykyisen tiedon mukaan 165 km<sup>2</sup> (luku 6, taulukko 2). Tästä noin 7 km<sup>2</sup> on ojitettuja turvemetsämaita. Yleisesti sulfaattimaiden ja ojitettujen sulfaattimaiden esiintyvyys pohjavesialueita reunustavilla aluilla (<40 m pohjavesialueen rajasta) on samaa suuruusluokkaa kuin pohjavesialueilla. Vaikka ojitettujen sulfaattimaiden pinta-ala koko Suomen pohjavesialueisiin suhteutuna on pieni, näiden esiintymistä on kuitenkin syytä tarkastella pohjavesialuekohtaisesti rannikon happamien sulfaattimaiden esiintymisalueella (ns. Litorina-alueella) merkittävien paikallisten vaikutuksien vuoksi. Rannikkovyöhykkeellä esiintyvien happamien sulfaattimaiden (sulfidisedimenttien) ohella happamoitumishaittoja voi aiheutua myös mustaliuskekallioperän vaikutusalueella toteutettavan maankäytön seurauksena. Mustaliuskekejaksoja esiintyy kautta koko maan, niin rannikoilla kuin sisämaassa, mutta niiden sijaintia suhteessa pohjavesialueisiin ei tarkasteltu tässä paikkatietoanalyysissä.

VMJL:n mukaisessa määrittämistyössä on pohjavedestä suoraan riippuvaisia, luonnontilaisia tai luonnontilaisen kaltaisia, muun lainsäädännön nojalla suojeltuja, merkittäviä pintavesi- tai maaekosysteemejä tunnistettu 13 %:lla pohjavesialueista. Määrittämistyö on kuitenkin kesken ja määrä tulee todennäköisesti olemaan suurempi. Pohjavesialueilla on myös suojelualueita 991,6 km<sup>2</sup> (8 %), Natura-alueita 1 572,8 km<sup>2</sup> (13 %) ja erittäin tärkeitä elinympäristöjä 42,6 km<sup>2</sup> (0,3 %). Pohjavesialueita reunustavilla alueilla (<100 m pohjavesialueen rajasta) suojeltujen ympäristöjen esiintyminen on samaa suuruusluokkaa kuin pohjavesialueilla (Liite 5, taulukko 4).

Pohjavesialueiden metsämaalla sijaitsevan puuston tilavuus oli vuosina 2009 ja 2017 5 % pienempi kuin muilla metsämailla, mutta puuston määrän kasvu vuosien 2009 ja 2017 välillä oli pohjavesialueilla samaa luokkaa (10 %) kuin pohjavesialueiden ulkopuolella (Liite 5, taulukot 6,7 ja 8). Suurin pohjavesialueiden puuston määrän kasvu tapahtui Länsi- ja Sisä-Suomessa (16 %) ja Lapissa (12 %) ja pienin kasvu Etelä-Suomessa (6 %) ja Pohjois-Suomessa (8 %).

Avohakkuita indikoivan puuston yli 90 %:n tilavuuspoistuman perusteella metsänkäytön intensiteetti oli vuosien 2009 ja 2017 välillä samansuuruista pohjavesialueilla kuin niiden ulkopuolella, lukuun ottamatta Pohjois-Suomea, jossa metsänkäytön intensiteetti oli suurempaa pohjavesialueilla kuin niiden ulkopuolella. Puuston yli 90 % tilavuuspoistuma oli pohjavesialueilla suurinta Etelä-Suomessa (4,5 % metsämaa-alasta) ja pienintä Lapissa (1,5 %).

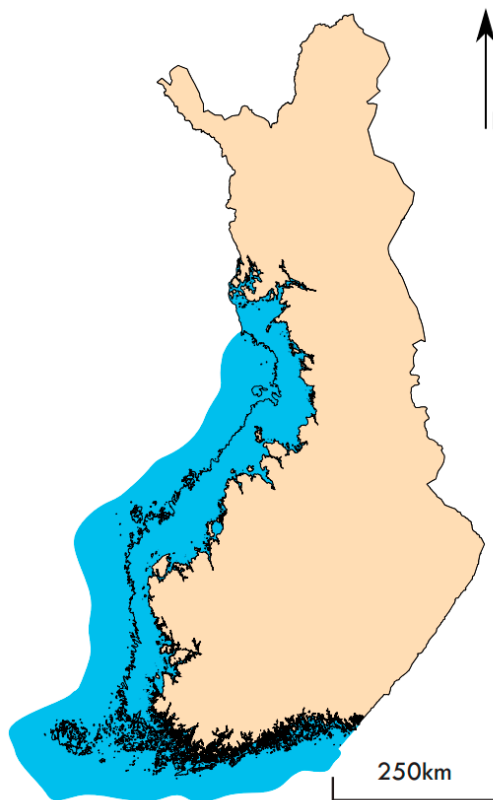
Paikkatietoanalyysin tulokset on kuvattu laajemmin liitteessä 5.

## 6 Happamat sulfaattimaat

Happamissa sulfaattimaissa muodostuvan happamuuden aiheuttavat maaperän rautasulfidipitoiset kerrostumat. Suomen ja Ruotsin rannikkoalueiden sulfidisedimentit alkoivat kerrostua noin 8000 vuotta sitten nykyistä Itämeren suolaisemmassa ja lämpimämmässä Litorinameressä (Eronen 1974; Hyvärinen ym. 1988; Sohlenius ym. 1996; Sohlenius & Öborn 2004; Widerlund & Andersson 2011). Maankohoaminen on paljastanut muinaista meren pohjaa, joka muodostaa nykyisen noin 48 000 km<sup>2</sup> laajuisen niin kutsutun Litorina-alueen rannikollamme (kuva 6). Happaman sulfaattimaan osuus Litorina-alasta on noin 10 %. Geologian tutkimuskeskuksen kartoituksen happaman sulfaattimaan suuren ja kohtalaisen esiintymisen todennäköisyyksien luokkien yhteenlasketun pinta-alan perusteella. Arvio happamien sulfaattimaiden turvemetsämaan alasta on 840 km<sup>2</sup> ja vastaava kangasmetsämaan ala on 960 km<sup>2</sup> (Nieminen ym. 2016).

Aineisto:  
© Geologian tutkimuskeskus  
Muinaisrantojen havainnot 2013  
© Maanmittauslaitos  
Yleiskartta 2019

Kartta:  
© Data Map Helsinki



**Kuva 6.** Happamia sulfaattimaita esiintyy muinaista merenpohjaa olevilla rannikkoalueella. Kuvassa Litorinameren laajin vaihe. Nykyinen rantaviiva kuvattu mereen piirrettyä rajauksena.

Luvussa 5 esitetyn paikkatietoanalyysin mukaan pohjavesialueilla olevia happamia sulfaattimaita on 165 km<sup>2</sup>. Paikkatietoanalyysin perusteella pohjavesialueilla olevaa happaman sulfaattimaan ojitettua turvemetsämaata on vain 6,5 km<sup>2</sup> (taulukko 2). Ojitetun kangasmetsämaan osalta pohjavesialueilla olevaa osuutta ei paikkatietoanalyysissä pystytty laskemaan.

Pohjavedenpinnan alapuolissa kerrostumissa pelkistyneessä tilassa olevat sulfidit eivät aiheuta happamuushaittoja vesistöille. Ojitus, maanmuokkaus tai muut pohjavedenpinnan tasoa laskevat toimenpiteet käynnistävät sulfidien hapettumisen, mistä voi aiheutua voimakasta maaperän happamoitumista ja vesieliöstölle haitallisia happo- ja metallipäästöjä vesistöihin. Haittojen välttämiseksi happamien sulfaattimaiden kaivutyöt tulisi aina rajata sulfidipitoisten kerrosten yläpuolelle.

Viime jääkauden jälkeen muodostuneiden sulfidikerrostumien ohella myös kallioperän prekambriiset grafiitti- ja sulfidipitoiset liuskeet eli mustaliuskeet, jotka ovat alun perin olleet merenpohjaan kerrostuneita mätäliejuisia savisedimenttejä, voivat aiheuttaa hyvin samankaltaisia happamuus- ja metallikuormitushaittoja vesistöille. Suomen kallioperässä ovat parhaiten edustettuina noin 1960–2100 miljoonaa vuotta sitten kerrostuneet mustaliuskeet (Loukola-Ruskeeniemi 1992), joita löytyy sekä sisämaasta että rannikkoalueilta.

Pohjanlahteen laskevien jokien Cd-, Ni- ja Zn-pitoisuuksien on todettu olevan Pohjanmaan alueella selvästi suurempia kuin Västerbottenin alueella Ruotsissa (Roos & Åström 2006). On myös esitetty arvioita, joiden mukaan Suomen happamista sulfaattimaista huuhtoutuu vesistöihin metalleja, kuten alumiinia (Al), kadmiumia (Cd), koboltia (Co), mangaania (Mn), nikkeliä (Ni) ja sinkkiä (Zn) 10–100 kertaa enemmän kuin Suomen teollisuudesta (Sundström ym. 2002). Happamat sulfaattimaat aiheuttavat myös pohjaveden pilaantumista (GTK, SYKE\_Catermass). Metsätaloustoimenpiteiden merkityksestä happamista sulfaattimaista aiheutuvien pohjavesihaittojen muodostumiselle ei kuitenkaan ole tutkimustietoa.

**Taulukko 2.** Happamien sulfaattimaiden suuren ja kohtalaisen esiintymistodennäköisyyden alat luokitelluilla pohjavesialueilla. Koska luokitustyö on vielä osin kesken, on taulukossa käytetty VMJL:n mukaista (1, 2 ja E) että vanhaa (I, II ja III) luokitusta.

Sulfaattimaat pohjavesialueilla	1+2 ja I+II luokat	III luokka	1E+2E+E luokat	Kaikki
Sulfaattimaa-ala, km <sup>2</sup>	156,4	0,0	8,8	165,2
Ojitetut sulfaattimaat turve-metsämaalla, km <sup>2</sup>	5,7	0,0	0,8	6,5

Mattbäck ym. (2017) totesivat Kokkolan läheisyydessä olevien alluviaalisten hiekkamuodostumien ja gasiofluviaalisen harjun alueille maa-aineksen noston seurauksena muodostuneissa hiekkakuopissa olevan veden hyvin happamaksi sekä rikki- ja metallipitoiseksi. Tutkimuksessa analysoitiin myös Patamäen pohjavesialueen pohjavesinäytteitä, jotka osoittautuivat hyvin happamiksi ja metallipitoisiksi. Juomaveden hankintaan käytetyn pohjavesialueen veden Al, As, Cr, Co, Fe, Mn ja Ni mediaanipitoisuudet olivat vähintään kymmenen kertaa taustapitoisuuksien mediaania suuremmat. Läheisten hiekkakuoppien veden pienimmät pH -arvot olivat tasolla 3,4 ja SO<sub>4</sub>, Al, Mn, Ni, Se ja Zn mediaanipitoisuudet olivat yli kymmenkertaiset taustapitoisuuksiin verrattuna.

Tutkimuksessa oletetaan alueen karkealajitteisen maa-aineksen sisältämien sulfidien hapettumisen aiheuttaneen pohjaveden ja hiekkakuoppien veden happamoitumisen ja korkeat metallipitoisuudet. Maa-aineksen sulfidien arvellaan muodostuneen joko merivaiheen aikana tai pohjavedessä tapahtuneen sulfaatin pelkistykseen seurauksena muodostuneen rikkivedyn reaktiosta ferroraudan kanssa. Alueen muun maankäytön, lähinnä maa- ja metsätalouden merkitystä happamoitumiselle ei tutkimuksessa käsitellä.

## 7 Ojitetun turvemaan vaikutus pohjaveteen

### 7.1 Aiemmat tutkimukset ja vertailu muihin maihin

Soiden uudisojitukset metsätaloukseen loppuivat 1990-luvun loppupuolella, kun niiden tukeminen valtion varoin loppui, ja jo 1980-luvun puolessavälissä vallitsevaksi vesitalouden hoidon toimenpiteeksi nousi vanhojen ojien kunnostus. Ojien kunnostus oli vilkasta 2000-luvun alkuvuosiin saakka, jonka jälkeen määrät ovat melko tasaisesti vähentyneet (<https://stat.luke.fi/metsa>). Ojitettuja alueita pidettiin aiemmin melko vähäisenä kuormittajana niin pinta- kuin pohjavesien laadun näkökulmista. Tämä perustui käsitykseen, että metsäojituksen ja muiden metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset vesistökuormitukseen ovat suhteellisen lyhytaikaisia. Käsitykset ovat viime vuosina muuttuneet merkittävästi, kun havaittiin vanhojen ojien muodostavan valtaosan metsätalouden aiheuttamasta kuormituksesta (Nieminen ym. 2017 ja 2018, Finér ym. 2021). Nykykäsityksen mukaan ojitetuilta soilta tulee nk. ojituslisän muodossa jatkuvasti suurempaa kuormitusta kuin luonnontilaisilta soilta. Nk. ojituslisän vaikutuksesta pohjaveden laatuun ei ole tutkimustuloksia.

Nieminen ym. (2020) ottivat ojituslisän huomioon arvioissaan vesistökuormituksesta ja esittivät uusiksi arvioiksi suometsätalouden vuosittaisesta typen kokonaiskuormituksesta Suomessa n. 8 500 tonnia ja fosforin kuormituksesta vastaavasti n. 590 tonnia. Ojituslisän osuus oli typen osalta n. 8 000 tonnia ja fosforin osalta 500 tonnia. Ojituslisän huomioon ottaminen kasvatti suometsien typpikuormituksen noin 18-kertaiseksi ja fosforikuormituksen 6–7-kertaiseksi aiempiin arvioihin nähden (Finér ym. 2010).

Ojitettujen turvemaiden vaikutuksesta pohjavesien määrään tai laatuun on esitetty hyvin vähän arvioita niin muualla maailmassa kuin myös Suomessa. Avoimien alueiden, kuten soiden, metsittämisen osalta huolena on esimerkiksi Brittein saarilla esitetty, että pohjaveden muodostuminen voisi merkittävästi vähentyä puuston käyttämän ja latvuksiinsa pidättämän veden takia (Allen ja Chapman 2001, Zhang ja Hiscock 2010). Samoin uhkakuvana on esitetty, että pohjaveden laatu voisi metsitetyillä soilla merkittävästi heikentyä, koska mm. lisääntyvä kariketuotto ja sen hajotus lisää hiili- ja ravainvirtoja. Lehtipuukarikeri voi toisaalta nostaa maan pintaosien pH:ta ja muuttaa hajoitusprosesseja ja kiihdyttää mm. nitrifikaatiota puuttomiin alueisiin verrattuna (Allen ja Chapman 2001).



## 7.1.1 Hydrologiset vaikutukset

Ojittamattomalla metsäisellä turvemaalla vedellä kyllästynyt kerros eli pohjavesi yltää lähelle maanpintaa ja ojituksen tarkoitus on pysyvästi laskea pohjavedenpintaa ja kasvattaa hapellisen turvekerroksen paksuutta. Kun pohjavedenpinta on laskenut, ojasto toimii pääasiassa pintaveden kulkureittinä. Jo pitkään on tiedetty, että ojitus ei pelkästään vaikuta pintavesien kulkuun, vaan se voi muuttaa myös pohjaveden purkautumisreittejä. Ojituksen on havaittu esimerkiksi lisäävän talvi- ja kesäalivalumia, minkä on tulkittu olevan seurausta lisääntyneestä pohjaveden purkautumisesta ojiin (Mustonen ja Seuna 1971). Pohjavesien purkautumisesta ojiin saatiin viitteitä myös, kun vesien suolapitoisuuksien havaittiin olevan koholla ojitetulla suolla, jonka akviferi oli vuorovaikutuksessa meren kanssa (Simpson ym. 2011).

Myös harjumuodostumien reunoilla olevien ojitetujen turvemaiden tutkimuksissa on havaittu metsäojien toimivan purkautumisreittinä pohjavedelle (Rossi ym. 2012, 2014a). Tätä purkautumista voi tapahtua turvekerroksen läpi, sen paksuudesta riippumatta, mutta purkautumisen on todettu olevan voimakkainta ojan yltäessä turvekerroksen alapuoliseen mineraalimaahan (Kupiainen 2010). Mallintamalla harjun ja turvemaan vuorovaikutusta, on voitu todeta ojituksen laskevan harjun pohjaveden pintaa (Rossi ym. 2014a).

## 7.1.2 Vaikutukset pohjaveden laatuun

Pohjavesialueen luonne vaikuttaa pohjaveden herkkyyteen muutoksille. Antikliinisia, pohjavettä ympäristöönsä purkavia pohjavesialueita ympäröivät ojitukset eivät yleensä ole suuri riski pohjaveden laadulle, koska pohjaveden virtaussuunta on tyypillisesti akviferistä kohti ojitetua turvekerrosta ja poispäin pohjaveden muodostumisalueelta. Molempien näiden tekijöiden voidaan katsoa vähentävän pohjaveden pilaantumisriskiä.

Jos pohjavesiesiintymä on synkliininen, eli pohjavettä keräävä, pohjavesialueella tehdyt ojitukset kasvattavat pohjaveden pilaantumisriskiä. Nk. ravinnehuuhtoumien ojituslisä voi myös muodostaa pysyvän haitan ja laadun heikkenemisen. Ojaston kunnostuksen aiheuttama hetkellinen kohoava kuormitus voi suotautua pohjaveteen, ja kohoittaa ravinnepitoisuuksia, mikä voi heijastua ekosysteemitasolle (Lehosmaa ym. 2018). Useissa akvifereissä on sekä purkavia että kerääviä alueita, jolloin tarkempi tietotarve pohjaveden paikallisista virtausolosuhteista korostuu.

Pitkällä aikavälillä soiden pitäminen metsätaloussikäytössä voi pinta- ja pohjavesien laadun kannalta olla haitallista samasta syystä kuin ilmastopäästöjen näkökulmasta

eli siksi, että metsätalous ylläpitää ja voimistaa turpeen hajotusta. Viime vuosina havaittu ojituksen aiemmin arvioitua selvästi pidempiaikainen ja pysyväluonteinen kuoritusvaikutus voi selittyä juuri sillä, että turpeen hajotus on lisääntynyt (Nieminen ym. 2017, 2018a, Finér ym. 2020). Ojien kunnostamisen ja syventämisen sekä kasvavien suojuustojen haihdunnan vaikutuksesta suon vedenpinta ojitusalueilla laskee ja syviinkin turvekerroksiin pääsee yhä enemmän happea. Tämä lisää turpeen hajotusta ja hajoamistuotteiden kuten hiilen ja typen vapautumista sekä mahdollisesti huuhtoutumista pinta- ja pohjavesiin. Tämä voi hyvinkin selittää sen, miksi typpi- ja hiilihuuhtoutumat ovat kasvussa juuri siellä, missä ojitettuja soita on eniten eli Perämereen laskevissa jokivesistöissä (Räike ym. 2019, Asmala ym. 2020).

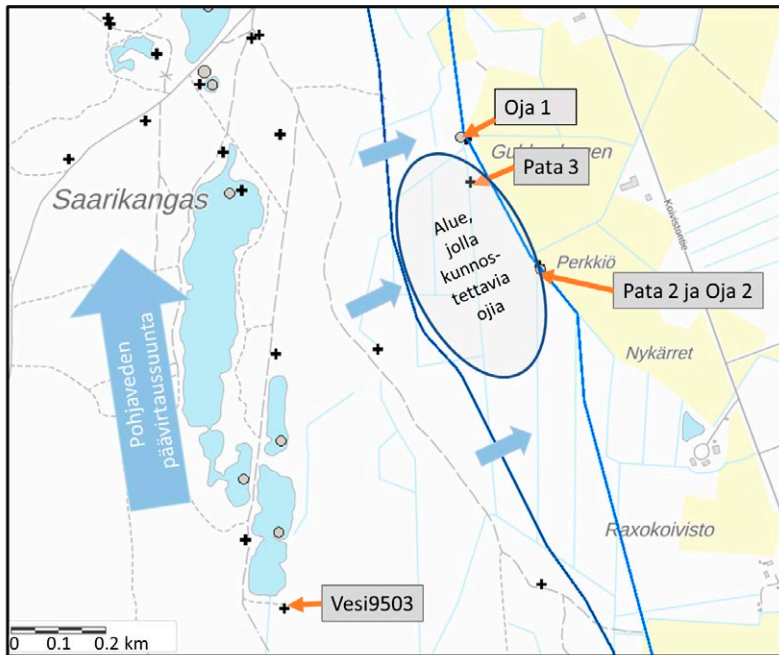
## 7.2 Seuranta- ja tutkimusaineistojen tarkastelu

Ojituksen kunnostuksen vaikutuksista pohjaveteen on käytettävissä hyvin vähän seurantatietoa. Tämän selvityksen tapaustarkasteluina ovat Kokkolan Patamäen sekä Muhoksen ja Vaalan kunnissa sijaitsevan Rokuan tapaukset, joissa on tutkittu pohjaveden laatua ja määrää sekä ojavesien laatua ojitetuilla alueilla.

### 7.2.1 Patamäki, pohjaveden laatu ja määrä

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus on yhteistyössä SYKE:n kanssa seurannut vuosina 2016–2020 Kokkolan kaakkoispuolella sijaitsevan Patamäen alueen pohjaveden tilannetta päätehakkuun ja ojien kunnostuksen jälkeen. Hydrogeologiselta virtauskuvaltaan Galgåsenin eteläpuolinen osa, jossa Patamäen seuranta-alue sijaitsee, on Patamäen rakenneselvityksen (Paalijärvi & Valjus 2016) mukaan antikliininen. Pohjaveden purkautumista ympäröiville alueille tukevat myös seuranta-alueelta ja sen läheisyydestä mitatut pohjavedenpinnantason tiedot. Päävirtaussuunta harjussa on alueella luode-pohjoiseen (Paalijärvi & Valjus 2016).

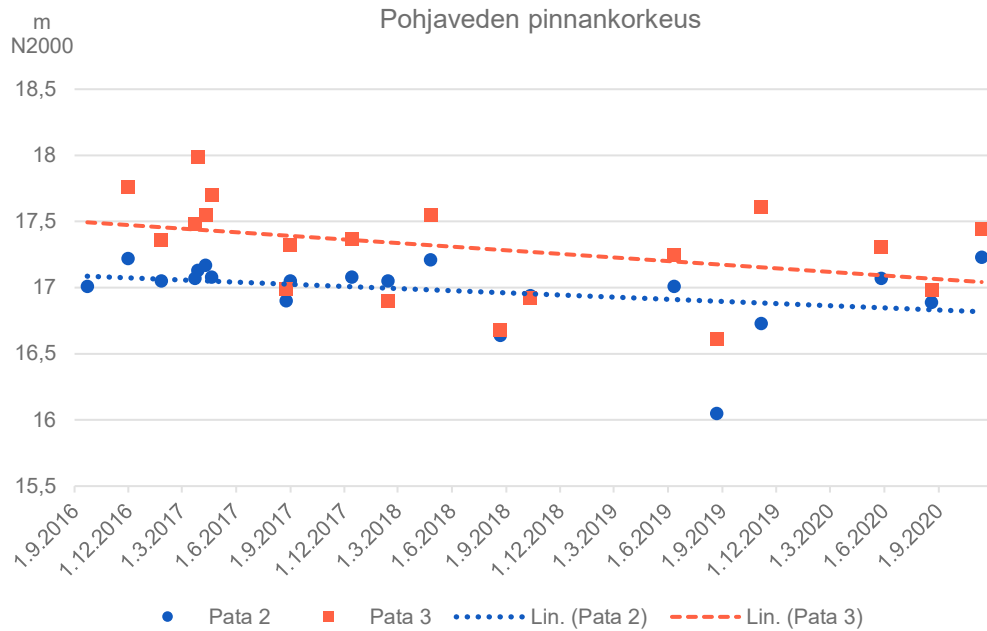
Patamäen seuranta-alueen (kuva 7) päätehakkuu toteutettiin alkuvuodesta 2015. Ojitusilmoituksen mukaan ojien kunnostus tehtiin syys-lokakuussa 2015. Alueelle asennettiin pohjavesiputket Pata 1 ja Pata 2 toimenpiteiden jälkeen huhtikuussa 2016. Pata 1 putki jouduttiin syksyllä 2016 korvaamaan uudella havaintoputkella Pata 3. Pohjaveden seuranta alueella käynnistyi ojien ja havaintoputken Pata 2 osalta toukuussa 2016 ja havaintoputken Pata 3 osalta marraskuussa 2016.



**Kuva 7.** Patamäen seuranta-alue (Oja 1, Oja 2, Pata 2 ja Pata 3) sekä Patamäen yhteistarkkailuun kuuluva havaintoputki Vesi9503. Pata 2 ja Pata 3 etäisyys 230 m ja Vesi9503 etäisyys seuranta-alueesta n. 1 km. Pohjaveden päävirtaussuunta on alueella etelästä pohjoiseen ja pohjavettä purkautuu muodostumasta myös alueen reunoja kohden.

Havaintoputkessa Pata 2 siiviläosuus, 1,90 m, on putken yläosassa, jossa maa-aines on silttinen hiekka - hiekkainen siltti (SiHk-HkSi). Putken pohjavesi kuvastaa siten tutkimusalueen pohjaveden lähellä maanpintaa olevaa vesimassaa. Havaintoputkessa Pata 3 on 5 m pitkä siiviläosuus, joka ulottuu havaintoputken pohjalta 1,22 m etäisyydelle maanpinnasta. Pata 3 osalta materiaali vaihtelee siiviläosuudella hiekkaisesta siltistä hiekkaan (HkSi-Hk). Putken Pata 3 pohjaveden voidaan olettaa kuvastavan laajemmalla alueella tutkimusalueelle kertyvää pohjavettä. Seuranta-alueen pohjaveden määrän ja laadun tilanteesta ennen hakkuuta ja ojien kunnostusta ei ole tutkimustietoa.

Pohjaveden määrän osalta voidaan havaita pohjaveden pinnan alenevan tarkkailujakson aikana trendinomaisesti molemmissa havaintoputkissa (Pata 2 ja Pata 3) noin 40–50 cm (kuva 8). Vuodet 2018 ja 2019 olivat vähäsateisia ja alensivat laajalti pohjaveden pintoja. Patamäen alueen yhteistarkkailussa (Vesisenaho ja Jutila 2019) mukana olevassa pohjavesiputkessa Vesi9503 alenema on kuitenkin pieni, lineaarisesti alle 10 cm. Metsäojituksella tavoitellaan yleisesti noin 50 cm alenemaa, jotta taimettuminen pääsisi hyvin alkuun.

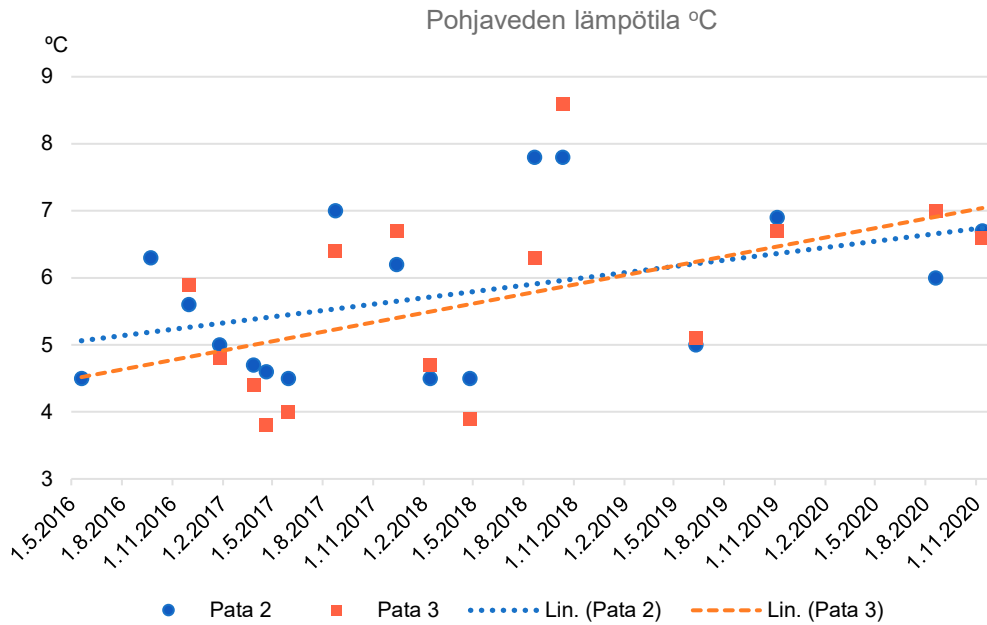


**Kuva 8.** Havaintoputkessa Pata 2 pohjavesipinnan vaihtelu oli 1,18 m (16,05–17,23) ja Pata 3 havaintoputkessa 1,38 m (16,61–17,99).

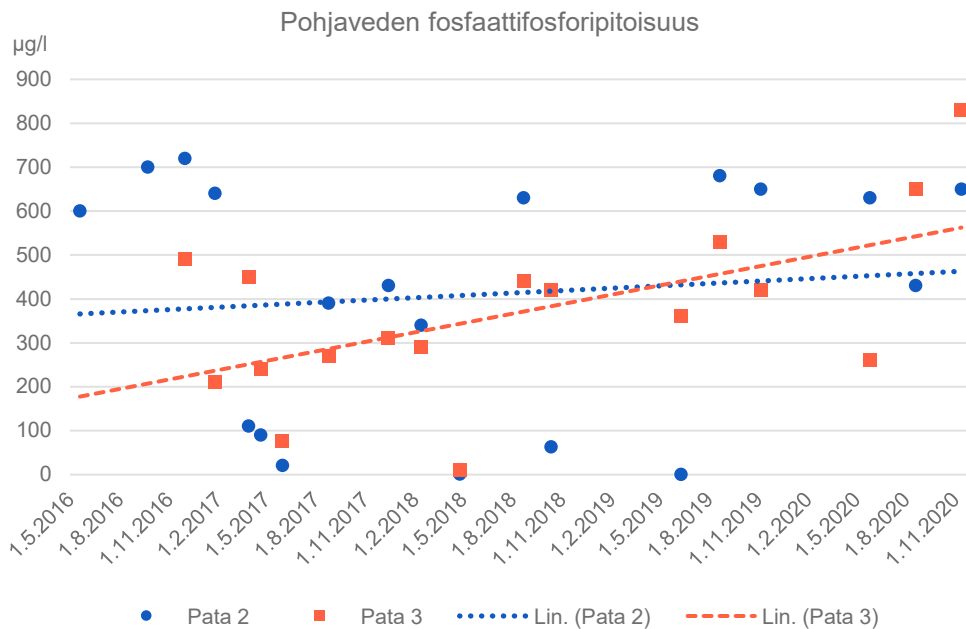
Vuosina 2016 ja 2017 sekä pohjavesiputkista että ojista tehdyt isotooppitutkimukset varmistivat, että tutkittuihin ojiin purkautuvat vedet ovat pääosin pohjavettä (tarkemmin luvussa 7.2.2).

Pohjaveden lämpötilassa havaittiin Patamäen alueella nousevaa trendiä (kuva 9). Pohjaveden lämpötila kohosi seuranta-alueella noin 2 °C. Pata 3 havaintoputken pohjavedessä havaittiin seurannan aikana nousevia pitoisuuksia fosfaattifosforissa, PO<sub>4</sub>-P (kuva 10). Arvot eivät merkittävästi poikenneet Patamäen alueen yhteistarkkailussa (Vesisenaho ja Jutila 2019) olevien kaivojen pitoisuuksista, joissa ei kuitenkaan havaittu nousevaa trendiä. Fosfaattifosforipitoisuuden nousu voi johtua hakkutähtien hajoamisesta (Piirainen ym. 2007).

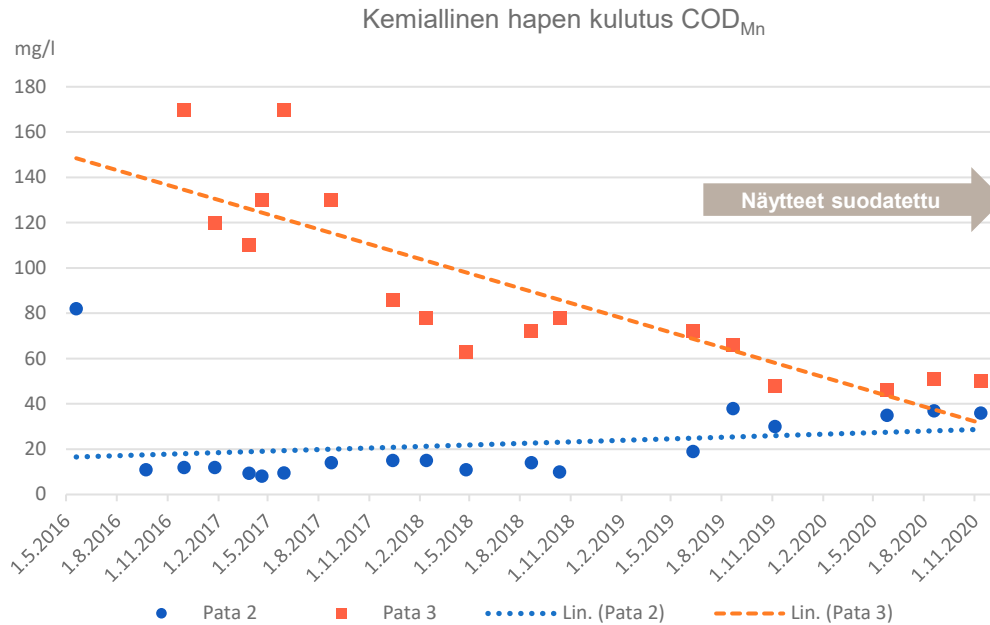
Orgaanisen aineksen määrästä kertova kemiallinen hapenkulutus COD<sub>Mn</sub> on erityisesti havaintoputkessa Pata 3 huomattavan paljon korkeammalla tasolla (ka. 90,6 mg/l, md. 78 mg/l) kuin alueella yleensä (kuva 11). Patamäen yhteistarkkailussa 2009–2018 on COD<sub>Mn</sub> ollut (4,3–15,7 mg/l) ka. 10 mg/l (Vesisenaho ja Jutila 2019). Pata 2 ja Pata 3 putkien COD<sub>Mn</sub> -pitoisuudet (ka. 54 mg/l, md. 38 mg/l) ovat seurannan aikana laskeneet, mutta ylittävät kuitenkin esimerkiksi STM:n talousveden laatusuosituksen 5 mg/l (1352/2015, STM 2015). Kemialliselle hapenkulutukselle ei ole valtioneuvoston asetuksessa (1040/2006) asetettu pohjaveden ympäristölaatuunormia.



**Kuva 9.** Pohjaveden lämpötila Patamäen seuranta-alueen pohjavesiputkissa Pata 2 ja Pata 3 vuosina 2016–2020. Luonnontilaisen pohjaveden lämpötilojen osalta viitataan julkaisun Soveri et al 2001 tietoihin



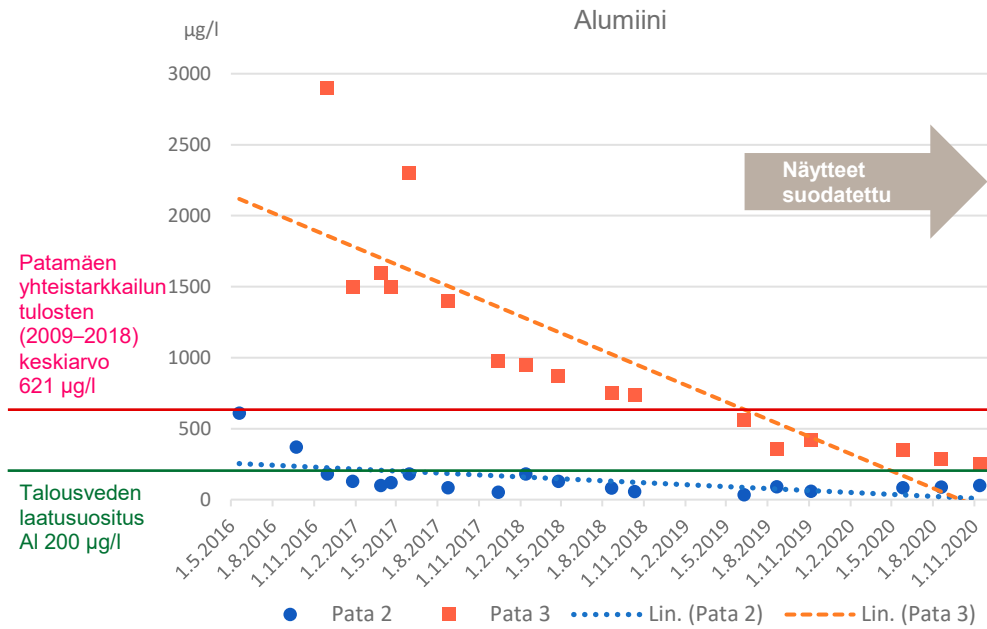
**Kuva 10.** Pohjaveden fosfaattifosforin (PO<sub>4</sub>-P) pitoisuudet Patamäen seuranta-alueen pohjavesiputkissa Pata 2 ja Pata 3 vuosina 2016–2020. Fosfaattifosforin osalta vesinäytteet on suodatettu vuodesta 2017 alkaen.



**Kuva 11.** Pohjaveden kemiallinen hapenkulutus COD<sub>Mn</sub> Patamäen seuranta-alueen pohjavesiputkissa Pata 2 ja Pata 3 vuosina 2016–2020. Patamäen yhteistarkkailussa 2009–2018 on COD<sub>Mn</sub> ollut keskimäärin 10 mg/l (Vesisenaho ja Jutila 2019).

Koska kemiallisen hapenkulutuksen COD<sub>Mn</sub> lähtötilanteesta ei ollut tietoja, ei tulosten pohjalta voida päätellä, ovatko hakkuu ja alueen ojien kunnostus toimenpiteiden jälkeen nostaneet näitä pitoisuuksia vai onko lähtötaso ennen toimenpiteitä ollut korkeampi. Neljän ja puolen vuoden seurannan (05/2016–11/2020) aikana pitoisuudet ovat kuitenkin laskeneet ja tasaantuneet. Julkaisemattoman vedenlaatuaineiston perusteella happipitoisuus oli jo seurannan alkaessa alhainen ja on edelleen vähentynyt ollen pitkiä aikoja alle määritysrajan.

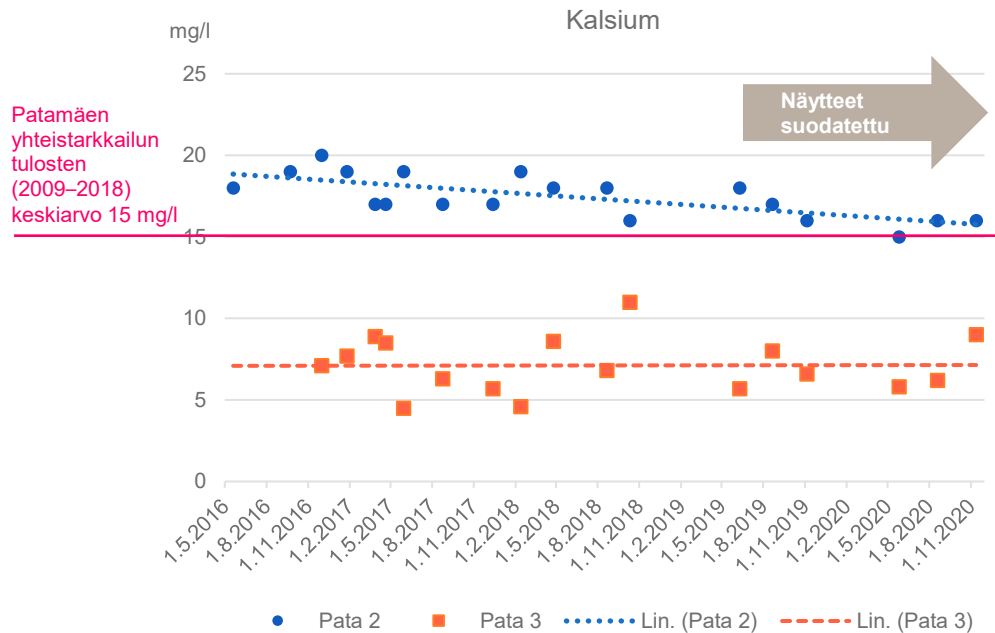
Patamäen yhteistarkkailussa saatujen tulosten pohjalta Patamäen rauta ja mangaani (Fe ja Mn) pitoisuudet ovat yleisesti hyvin korkeita (Vesisenaho ja Jutila 2019) ja ylittävät STM:n laatusuosituksen. Julkaisemattoman vedenlaatuaineiston perusteella Fe- ja Mn-pitoisuudet ovat korkeita myös seuranta-alueella. Raudalle ja mangaanille ei ole asetettu pohjaveden ympäristölaatuunormeja, kuten ei myöskään alumiinille (Al) (1040/2006). Seuranta-alueella pohjaveden alumiinipitoisuus (ka. 568 µg/l, md. 94 µg/l) ylittää STM:n laatusuosituksen 200 µg/l (kuva 12). Myös alumiinin osalta alueen pitoisuudet ovat yhteistarkkailun tulosten pohjalta yleisestikin tavanomaista korkeammalla tasolla. Vuosien 2009–2018 keskiarvo on yhteistarkkailussa (Vesisenaho ja Jutila 2019) ollut 621 µg/l.



**Kuva 12.** Pohjaveden alumiinipitoisuudet havaintoputkissa Pata 2 ja Pata 3. Alueen tulosten tarkastelun osalta on valitettavaa, että vasta vuonna 2019 metallinäytteille saatiin esikäsittelyksi suodatus.

Pohjaveden laadun osalta huomattavia muutoksia ei havaittu seurantajakson aikana kalsiumin (Ca) pitoisuuksissa (kuva 13). Julkaisemattoman vedenlaatuaineiston pohjalta muutoksia ei seurannan aikana ollut myöskään seuraavien parametrien osalta:

- pH
- Metallit (Hg, K, Mg, Zn)
- Epämetallit (Cl-, Se)
- Sähkönjohtavuus
- Sameus



**Kuva 13.** Kalsiumin pitoisuus Pata 2 ja Pata 3 havaintoputkien pohjavedessä vuosina 2016–2020.

## 7.2.2 Patamäki, ojiin purkautuvien vesien laatu

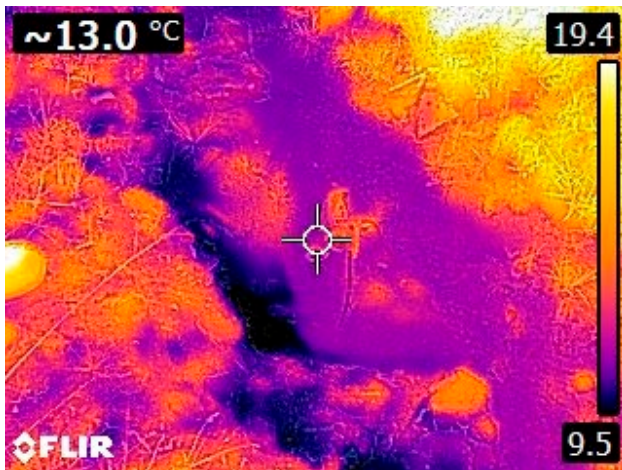
Pohjavesiseurannan lisäksi Patamäen alueella havainnoitiin myös ojavesien laatua, seuranta alueella käynnistyi isotooppimäärityksistä toukokuussa 2016. Laajemmat analysoinnit käynnistyivät marraskuussa 2016. Hapen ja vedyn stabiilien isotooppien analyysin perusteella saatiin varmuus siitä, että alueen ojiin purkautuva vesi on vahvasti pohjavesivaikutteista ja noin 57–69 % ojavedestä on pohjavettä. Myös lämpökameralla vahvistettiin pohjavesivaikutteisuudesta kertova ojiin purkautuvien vesien kylmyys (kuva 14).

Patamäen ojavesien seurannan 2016–2020 aikana havaittiin kohoavia pitoisuuksia sulfaatin ja lämpötilan osalta. Lämpötilan kohoaminen todettiin myös pohjavedessä (kuva 9). Oja- ja pohjavesien lämpötilan nousun syynä on todennäköisesti puuston varjostavan vaikutuksen häviäminen, jonka seurauksena maa lämpenee enemmän.

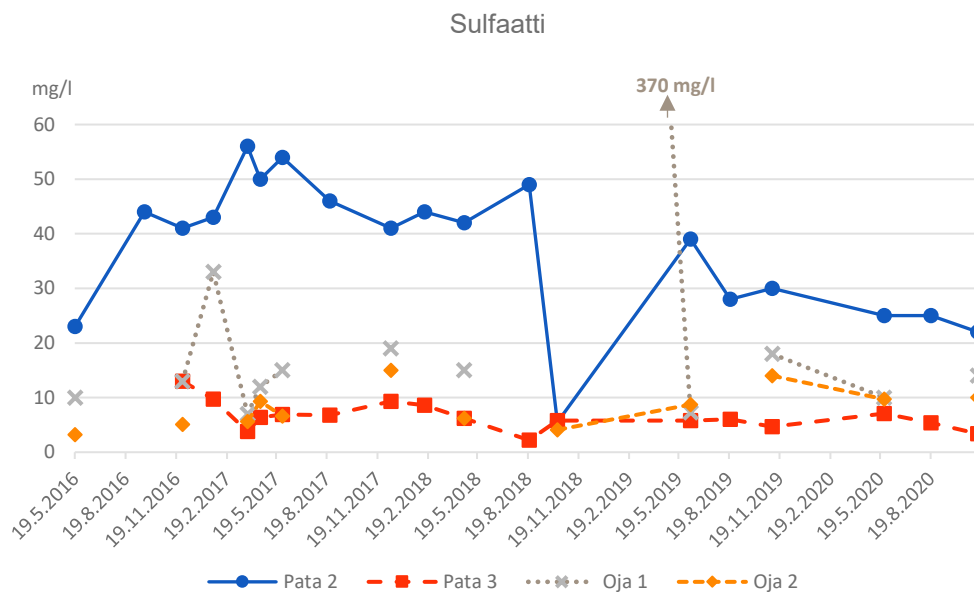
Pohjaveden sulfaattipitoisuudet laskivat seurantajakson aikana jonkin verran, mutta eivät merkittävästi eronneet Patamäen yhteistarkkailussa mitatuista pitoisuuksista. Lokakuussa 2018 ojassa 1 havaittiin muista, yleensä alle 35 mg/l tasolla olleista, näytteistä poikkeava 370 mg/l pitoisuus. Todettu pitoisuus oli hälytysrajan ylittävänä var-



mistettu laboratoriossa. Samaan aikaan läheisestä havaintoputkesta Pata 3 pohjavedestä mitattu pitoisuus oli 5,8 mg/l. Alueen toisessa havaintoputkessa Pata 2 mitattiin tuolloin havaintopaikan koko seurantajakson alhaisin pitoisuus 5,5 mg/l. Pata 2 havaintoputken läheisessä Oja 2 sulfaattipitoisuus oli myös alhaisimmalla tasollaan 4,1 mg/l (kuva 15). Ojaveden korkealle sulfattipitoisuudelle ei löytynyt selkeää selitystä.



**Kuva 14.** Kokkolan Patamäen seuranta-alueella ojiin purkautuva vesi on pääosin kylmää pohjavettä. Mitä tummempi väri lämpökameran kuvassa näkyy, sitä kylmempää kohtaa ympäristössä kuva ilmentää. Kuva Anne Petäjä-Ronkainen 2017.



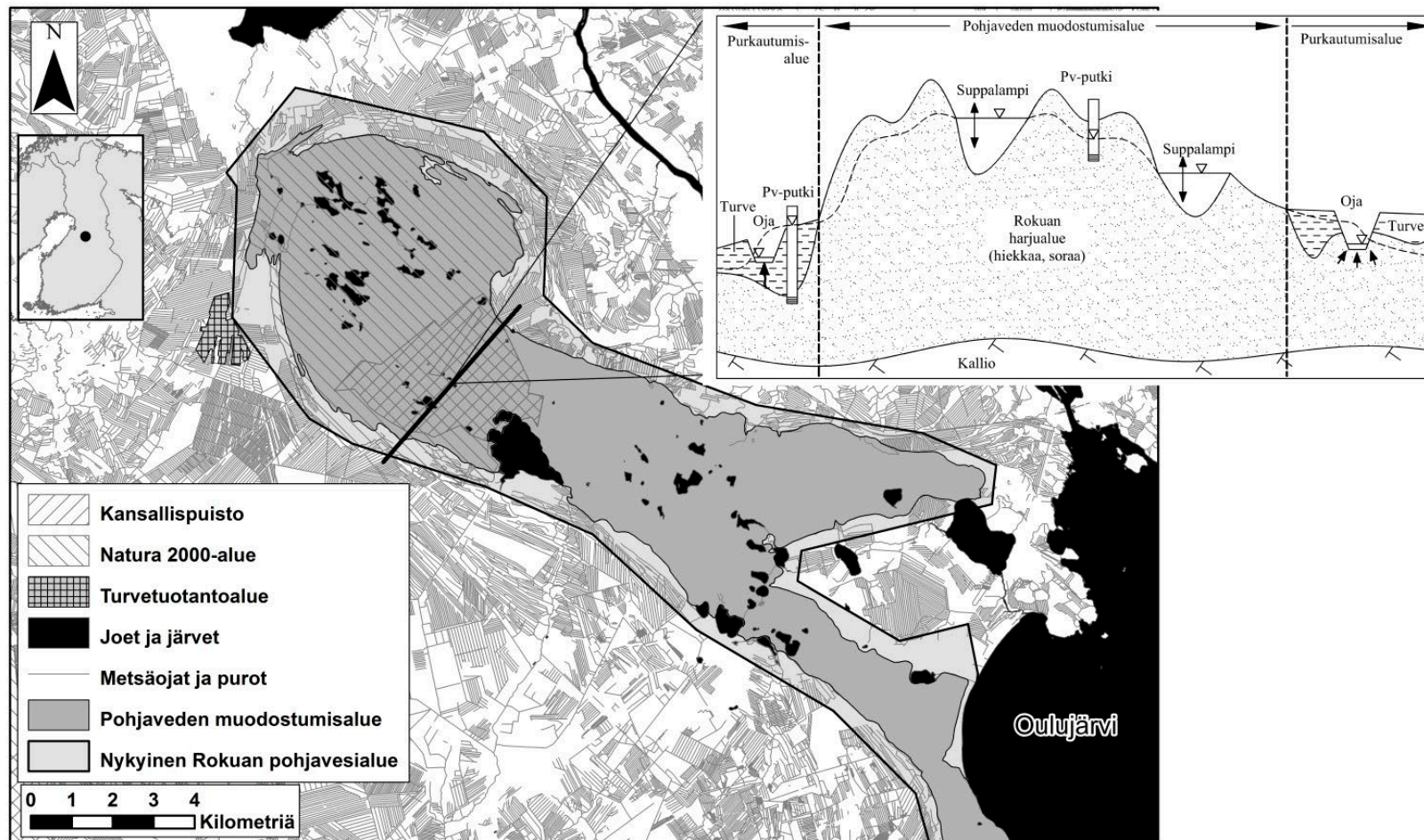
**Kuva 15.** Sulfaattipitoisuus Patamäen havaintoputkissa ja ojissa 2016–2020.

## 7.2.3 Rokuan tutkimukset

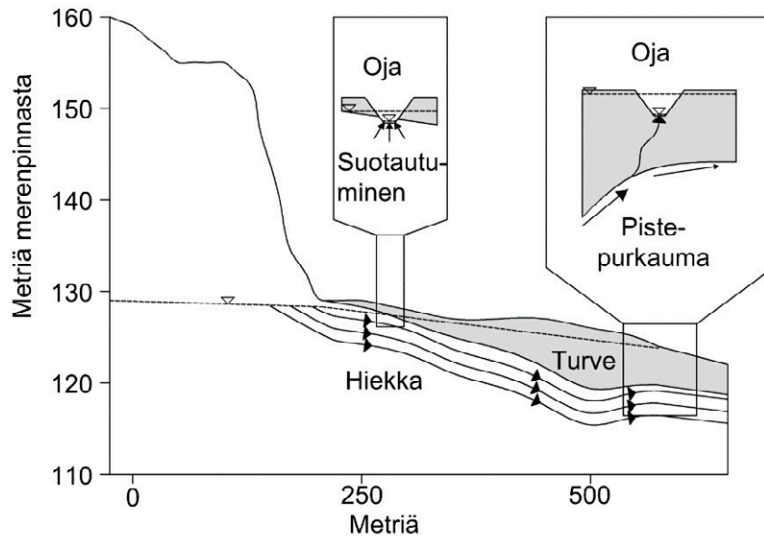
Rokuan pohjavesiesiintymä on yksi suomen suurimmista yhtenäisistä pohjavesialueista (kuva 16). Vuosina 2009–2016 Oulun yliopisto selvitti maankäytön vaikutuksia Rokuan pohjaveden määrään ja laatuun kansallisissa ja kansainvälisissä tutkimushankkeissa (EU:n 7. puiteohjelman kansainvälinen GENESIS-, Suomen Akatemian AQVI- ja Euroopan aluekehitysrahaston Rokuan vesitaloushanke). Keskeinen tutkimuskysymys oli, mistä alueen pohjavesivaikuteisten järvien ja pohjaveden pinnan voimakas vaihtelu ja ajoittainen virkistyskäyttöä haittaava aleneminen johtui. Harjualueita ympäröivät turvemaat, jotka on ojitettu metsätaloukseen. Yhtenä hypoteesina oli, että turvemaiden ojitukset (metsätalous, turvetuotanto) kuivattavat pohjavesiesiintymää koko harjualueen mittakaavassa. Tutkimuksessa osallistettiin alueen sidosryhmiä vesivarojen ymmärryksen ja hallinnan edistämiseen monitavoitearvion avulla.

Tutkimuksen päätulokset metsätalouden pohjavesivaikutusten näkökulmasta olivat:

- Harjua ympäröivien ojitusten havaittiin olevan yhteydessä pohjavesimuodostumasta purkautuvan pohjaveden määrään osilla ojitetuista alueista (Rossi ym. 2012). Joidenkin ojien pohjissa havaittiin sekä lähdemäistä pistepurkautumista (kuva 17) että pohjaveden vähittäistä purkautumista ojaan.
- Pohjaveden purkautumista ojitusalueilla vähennettiin pohjapadoilla (Kupiaiainen 2010). Patojen vaikutus nähtiin myös ojitettun turvekerroksen alapuolisen akviferin pohjaveden painetason kohoamisena.
- Potentiaalisia pohjaveden purkautumisen riskialueita voitiin ennustaa ja kartottaa yksinkertaisella paikkatietoihin perustuvalla geospaatiallisella mallinnuksella (Eskelinen ym. 2015). Mallin toimivuutta testattiin myös toisella pohjavesialueella.
- Metsähakkuilla pohjaveden muodostumisalueella (harjun päällä) todettiin olevan pohjaveden muodostumista lisäävä vaikutus (Ala-Aho ym. 2015a). Avohakkuut lisäsivät pohjaveden muodostumista verrattuna kansallispuiston alueeseen n. 30 %.
- Pohjavesimallinnuksen perusteella tärkein alueen pohjaveden pintoihin vaikuttava tekijä oli luontainen ilmaston vaihtelu, mutta myös metsäojituksella arvioitiin olevan pohjaveden pinnankorkeutta laskeva vaikutus pitkällä aikavälillä (Rossi ym. 2014a). Ojien täyttämällä tai padottamisella olisi mallinnusten mukaan mahdollista nostaa pohjaveden pintaa koko pohjavesiesiintymässä.
- Ojien padotuksen ei kuitenkaan katsottu sidosryhmien yhteisessä monitavoitearvioinnissa olevan tarkoituksen mukaista pohjavesialueen ennallistamiseksi vaikutusten epävarmuudesta ja ojien täytön kustannuksista johtuen (Karjalainen ym. 2013)



Kuva 16. Rokuan pohjavesialueen maankäyttö, ja konseptuaalinen kuva metsäojitusten vaikutuksesta pohjaveteen (Rossi 2014a).



**Kuva 17.** Osassa Rokuan harjua ympäröivissä ojissa tapahtuu ojavesien suotautumista ja osassa ojia pohjavettä purkautuu ojastoon lähdemäisesti (Rossi ym. 2012).

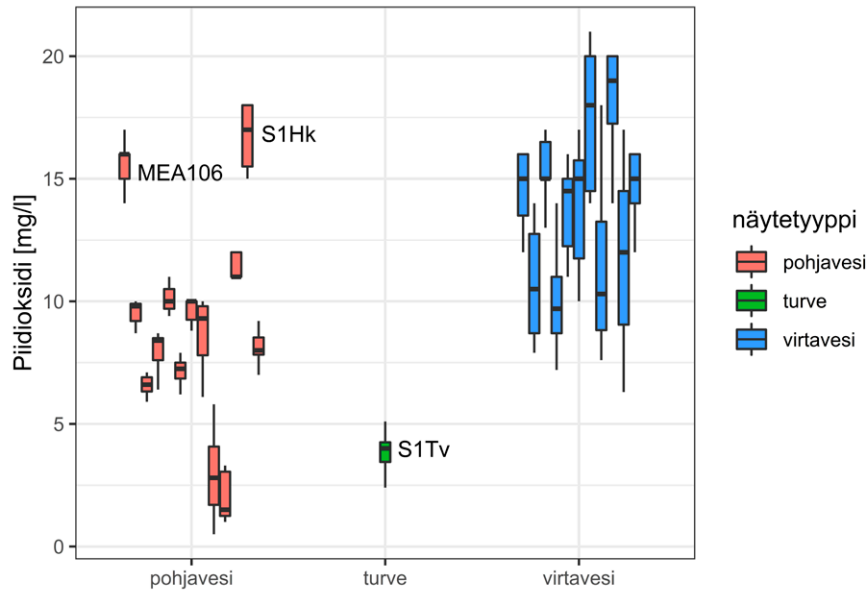
## 7.2.4 Veden laadun vertailu Rokuan pohjavesialueen ja ojitettujen valuma-alueiden välillä

MEPO hankkeessa Rokuan tutkimusaineistoja hyödynnettiin metsätalouden vaikutusten selvittämiseen pohjaveden määrän ja laatuun liittyen. Vedenlaatuaineisto on kerätty Rokuan alueen intensiivisten tutkimusten seurannan aikana vuosina 2008–2012. Analyysissä käytettiin Rokuan pohjavesialuetta (kuva 18) ympäröivien ojitettujen valuma-alueiden virtaamaa, ja julkaisemattomia veden laatuaineistoja piidioksidista ja nitriitti-nitraattitypeistä pohjavesistä ja pintavesistä. Piidioksidia hyödynnettiin merkkiaineena kuvaamaan pohjaveden ja ojitusalueiden vuorovaikutusta. Typpipitoisuuksia sen sijaan käytettiin pohjaveden ja pintaveden laadullisten erojen tarkasteluun.

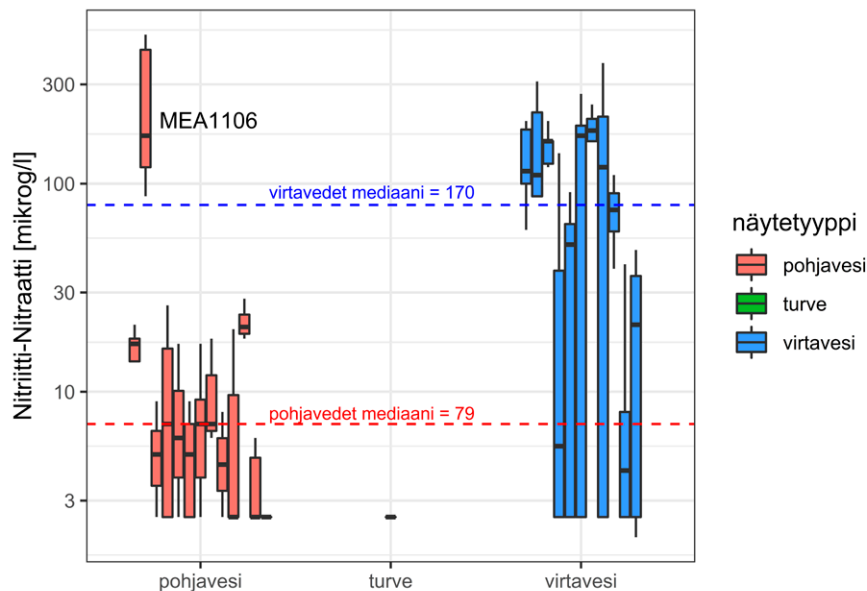
Piidioksidi on merkkiaine, joka kuvaa veden ja maaperän kontaktiaikaa: korkeammat arvot viittaavat veteen, joka on viipynyt kauan pohjaveden virtauksen mukana. Rokulla purojen piidioksidipitoisuudet ovat pääasiassa suuremmat kuin pohjaveden (kuva 19), koska pohjavesiputkista otetut näytteet lähellä pohjaveden pintaa ovat tuoreempaa pohjavettä kuin harjua ympäröiville ojitetuille valuma-alueille purkautuvat pohjavedet. Pohjavesiputkissa MEA106 ja SiHk piidioksidipitoisuudet ovat selkeästi kohonneet ja samalla tasolla kuin alueen piidioksidirikkaimmat virtavedet. Kyseiset putket sijaitsevat pohjavesimuodostuman reunalla, pohjaveden purkautumisalueella, ja täten kuvaavat harjussa pidempään kulkeutunutta pohjavettä. Turvekerroksen piidioksidiarvot ovat alhaisemmat kuin pohjavedessä keskimäärin. Piidioksidiaineisto viittaa







**Kuva 19.** Silikaattipitoisuuksia eri pohjavesiputkissa, turpeen huokosvedessä, ja ojitettujen harjua ympäröivien valuma-alueiden virtavesissä. Laatikko-janakuviossa laatikko sisältää puolet havainnoista ja arvojen mediaani on merkitty laatikon poikki kulkevalla viivalla.



**Kuva 20.** Nitriitti-nitraatti pitoisuuksia eri pohjavesiputkissa, turpeen huokosvedessä, ja ojitettujen harjua ympäröivien valuma-alueiden virtavesissä. Laatikko-janakuviossa laatikko sisältää puolet havainnoista ja arvojen mediaani on merkitty laatikon poikki kulkevalla viivalla.

## 7.2.5 Ojituksen vaikutus pohjaveden laatuun ja määrään Rokualla

Ojitusten vaikutusta purkautuvan pohjaveden määrään analysoitiin MEPO hankkeessa hypoteesiin pohjautuen: korkea ojitustiheys valuma-alueella johtaa lisääntyneeseen pohjaveden purkautumiseen. Tiheän ojituksen aiheuttama kohonnut pohjavesipurkauma voidaan havaita (1) kohonneena pohjavaluntana valuma-alueella, ja (2) suurempana pohjaveden suhteellisena osuutena puron virtaamassa.

Hypoteesin testaamista varten määritettiin ojitustiheys kullekin seurannassa olevalle valuma-alueella. Valuma-alueet ja niiden pinta-alat määritettiin korkeusmallin avulla. Ojaverkosto alueella saatiin MML:n virtavesiviiva-aineistosta (alle 2m leveät virtavedet, luokka 36311). Ojitustiheys valuma-alueittain saatiin jakamalla ojien pituus valuma-alueella valuma-alueen pinta-alalla. Valuma-alueiden pohjavalunta määritettiin pienimmän vuosina 2009–2012 mitatun talvivirtaaman avulla kullekin alueelle (taulukko 3).

Pohjaveden osuutta puron vedessä arvioitiin end-member mixing -analyysin avulla hyödyntäen seuranta-ainestoa silikaattipitoisuuksista. Menetelmä perustuu oletukseen, että purovesi on sekoitus pohjavettä ja turvekerroksen vettä. Pohjaveden keskimääräinen osuus purovedestä ratkaistaan yhtälöstä

$$X = \frac{c_{puro} - c_{turve}}{c_{pohjavesi} - c_{turve}}$$

jossa

X = pohjaveden suhteellinen osuus purovedessä

$c_{puro}$  = virtaveden mediaani  $\text{SiO}_2$  pitoisuus (mg/l)

$c_{turve}$  = turpeen huokosveden  $\text{SiO}_2$  pitoisuus, käytetään mediaaniarvoa seurantaputkessa S1Tv = 4,0 mg/l (ks. kuva 19)

$c_{pohjavesi}$  = puroihin purkautuvan pohjaveden  $\text{SiO}_2$  pitoisuus, käytetään mediaaniarvoa seurantaputkessa S1Hk = 17 mg/l (ks. kuva 19)

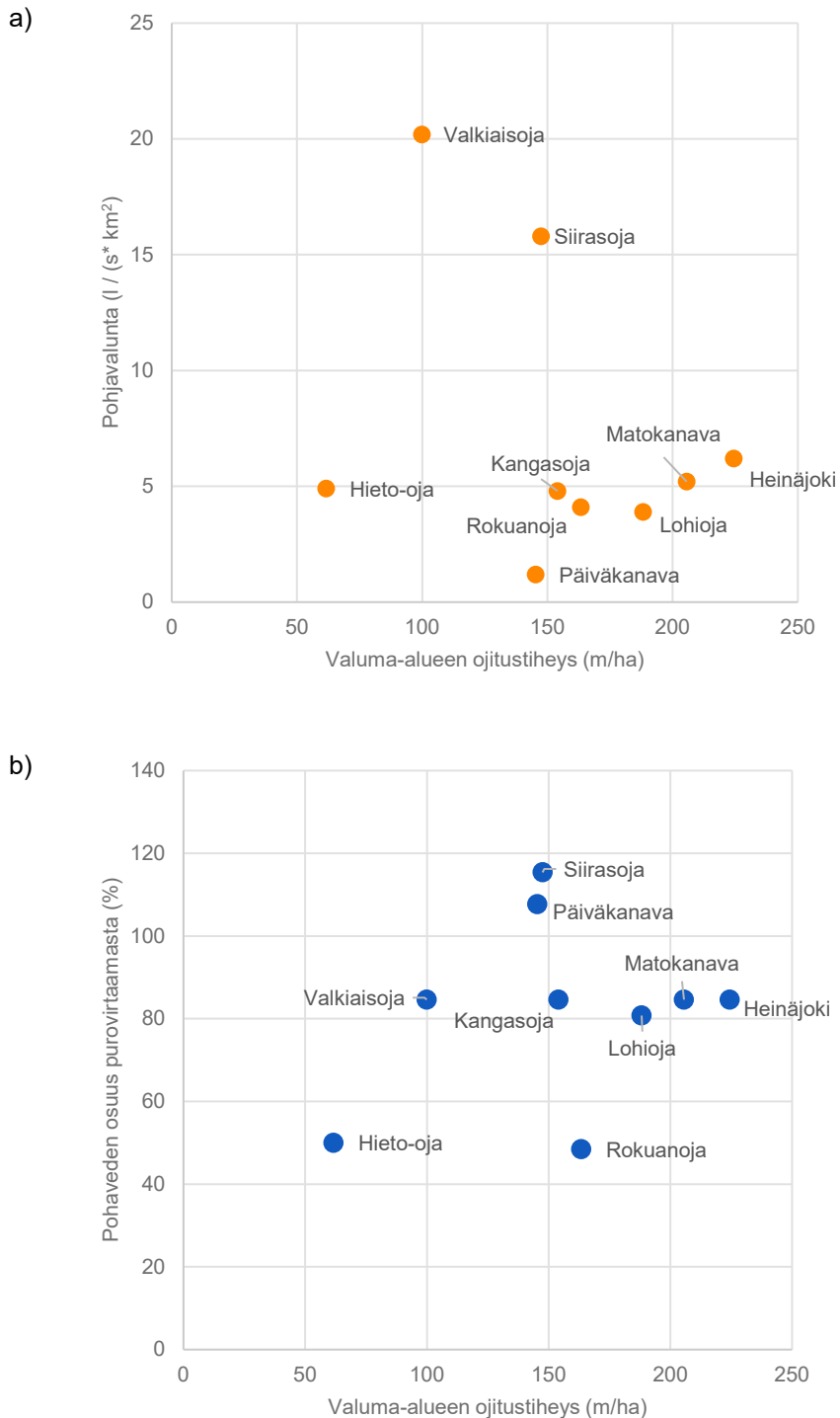
Taulukossa 3 esitettyjen muuttujien avulla tutkittiin, onko valuma-alueen ojitustiheys yhteydessä pohjavaluntaan (kuva 21 a) tai pohjaveden suhteelliseen osuuteen purovirtaamassa (kuva 21 b).

**Taulukko 3. Pohjaveden keskimääräinen osuus purovedestä.**

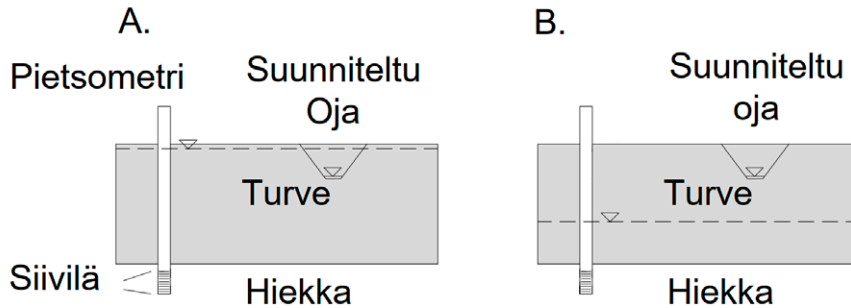
	Valuma-alueen ojitustiheys (m/ha)	Pohjavalunta (l / s * km <sup>2</sup> )	Pohjaveden %- osuus purovirtaamasta
Heinäjoki	224.4	6.2	85
Hieto-oja	61.7	4.9	50
Kangasoja	154	4.8	85
Lohioja	188.2	3.9	81
Matokanava	205.6	5.2	85
Päiväkanava	145.3	1.2	100
Rokuanoja	163.4	4.1	48
Siirasoja	147.5	15.8	100
Valkiaisoja	99.9	20.2	85

Pohjaveden purkautuminen ojitusalueille riippuu pohjavesialueen hydrogeologisista olosuhteista. Alueilla, joilla pohjaveden pinta on ojituksen pohjatasoa korkeammalla, ojitusta tulisi välttää (Tilanne A kuva 22). Rokualla tällaiset olosuhteet ovat mallinnusten perusteella etenkin pohjavesialueen koillisosassa, mikä on havaittavissa korkeina pohjaveden suhteellisina osuuksina ja alivalumina Siirasojan ja Valkiaisojan alueella. Jos pohjaveden pinta on ojituksen pohjan pintaa alempana, merkittävää riskiä pohjaveden purkautumiselle ei ole (Tilanne B kuva 22). Suurimmassa osassa Rokuanharjua ympäröivistä ojitusalueista tilanne on luultavasti tämä. Rokuan tapaustutkimus havainnollistaa, että ojitukset tai ojitustiheys ei yksin selitä pohjaveden purkautumista, vaan ojituksella on vaikutusta vain, jos hydrogeologiset olosuhteet mahdollistavat pohjaveden purkautumisen ojaverkostoon. Täten ojitusalueiden alaisten akviferien painetason määrittämiseen tulisi kiinnittää mahdollisuuksien mukaan huomioita ojituksia suunniteltaessa ja luvitettaessa.





**Kuva 21.** Analyysitulokset valuma-alueen ojitustiheyden yhteydestä purojen pohjavaluntaan ja pohjaveden osuuteen purovirtaamassa. Kummassakaan aineistossa ei havaittu tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota muuttujien välillä.



**Kuva 22.** Konsepti pietsometrimitauksesta pohjaveden purkautumisriskin arvioimiseksi ojitus-alueella. A) Turvemaan alla oleva pohjaveden pietsometrinen paine korkeampi kuin suunniteltu oja: pohjaveden purkautumisriski. B) Painetaso pohjavedessä matalampi kuin suunniteltu oja, ei riskiä pohjaveden purkautumiselle (Rossi 2014b).

## 7.3 Ojituksen vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin

Tutkimustietoa ojituksesta tai ojituksen kunnostamisen vaikutuksesta pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin on hyvin vähän. Lähteet ovat eniten tutkittuja pohjavesiekosysteemejä ja jonkin verran on tutkimuksia maatalouden ja metsätalouden tarpeisiin tehtyjen ojitusten vaikutuksista lähdelajeihin. Näissä erityisesti uhkana on nähty pohjaveden muodostumisen heikentyminen, jolloin lähdelajien vaatima riittävä virtaama heikentyy (Barquín ja Scarsbrook 2008). Pohjaveden purkautuminen ojaverkostoon voi alentaa alueellista pohjaveden pintaa (Kupiainen 2010) ja vähentää siten lähdevirtaamia. Tästä voi seurata lähteiden kuivuminen. On arvioitu, että Suomessa vain 10 prosenttia lähteistä on lähellä luonnontilaista ekologista tilaa (Ilmonen ym. 2008).

Lähdevirtaaman heikentyminen on havaittu lähteiden biodiversiteetin kaventumisena. Veden laadun osalta erityisesti selkärangattomien lajien on todettu olevan herkkiä veden värin muuttumiselle ruskeammaksi ojitusten vaikutuksesta (Lehosmaa ym. 2018). Tämä on seurausta liukoisen hiilen (DOC) määrän lisääntymisestä. Sammaleet sen sijaan kestävät paremmin pohjaveden laadullisia muutoksia, kunhan lähteen antoisuus pysyy riittävällä tasolla (Ilmonen ym. 2012, Lehosmaa ym. 2017). Kuitenkin lähdesammalten lajikirjon on havaittu kaventuneen ojituksen seurauksena jopa yli 20 vuotta vanhojen ojitusten jälkeen (Lehosmaa ym. 2017). Orgaanista ainetta hajottavat sienilajit on todettu hyvin kestäviksi erilaisiin pohjaveden määrään ja laatuun liittyvissä muutoksissa (Lehosmaa ym. 2018). Uusimmat tutkimukset antavat viitteitä,

että lähteiden bakteerilajien runsaus on erityisen herkkä nitraattityypelle ja jo noin 400 µg/l pitoisuudet ovat merkittävä uhka lajien runsaudelle (Lehosmaa ym. 2021).

Yleisesti ojan pohjavettä keräävä vaikutus voi teoriassa vaikuttaa lähteisiin myös huomattavien etäisyyksien päästä, eli pelkkä ojittamaton suojavyöhyke lähteen välittömässä läheisyydessä ei välttämättä riitä takaamaan lähteen painetasoa ja vedensaantia. Samanlainen ilmiö voi vaikuttaa myös pohjavesien purkautumiseen pohjavesivai-  
kutteisiin järviin ja lampiin, missä purkautumispaikat ja määrät voivat muuttua (Ala-  
aho ym. 2013).

Pohjavedellä voi olla tärkeä ylläpitävä rooli myös muillekin kuin pohjavesistä riippuvai-  
sille lajeille. Esimerkiksi peratuissa virtavesissä voimakkaan pohjaveden purkautumi-  
sen on todettu lieventävän yleisesti ojituksen ja pintavalunnan kuormituksen vaikutusta  
uhanalaisiin lajeihin sekä tasoittavan virtaamavaihteluja (Ilmonen ym. 2008). Parempi  
ymmärrys ojitusten vaikutusalueista vesien purkautumiseen ja pohjavesistä riippuvais-  
ten lajien esiintymiseen vaatisi lisää kenttätutkimuksia ja siihen tukeutuvaa numee-  
rista mallinnusta.

## 7.4 Ojien kunnostuksen vaikutukset hiilensidontaan ja kasvihuonekaasuihin

Pohjavesialueisiin joko suoraan (rajauksen sisäpuolella) tai välillisesti (alueeseen ra-  
jautuvia) kytkeytyviä turvemaametsien ala on pieni, 1 120 km<sup>2</sup> (Liite 5), verrattuna  
koko Suomen turvemaametsien pinta-alaan (n. 51 110 km<sup>2</sup>, statdb.luke.fi). Vaikka  
pohjavesialueiden turvemetsäala ja sen suora vaikutus ilmastomuutoksen hillintään  
on pieni, niin menetelmien valinnassa voidaan näilläkin alueilla huomioida hiilensidon-  
nan ja kasvihuonekaasujen osalta edullisimmat menetelmät, josta syystä asiaa on  
tässä taustoitettu. Metsäojituksen ja ojien kunnostuksen vaikutuksia hiilensidontaan ja  
kasvihuonekaasupäästöihin tarkasteltiin hiljattain suometsien hoidon tukipolitiikkaa  
käsitelleessä julkaisussa (Heiskanen ym. 2020). Tämä tarkastelu perustuu pääosin  
kyseiseen julkaisuun.

Metsäojitus on kaiken kaikkiaan haitallista ilmastolle siksi, että se muuttaa erityisesti  
rehevillä soilla turpeen kertymisen turpeen hävikiksi. Kun turpeeseen sitoutunut hiili ja  
typpi vapautuvat hapellisessa turpeen hajotuksessa, hiilidioksidi- ja typpioksiduuli-  
päästöt kasvavat. Toisaalta kuivatus pienentää metaanipäästöä, eikä päästöjä juuri-  
kaan synny, jos vedenpinta pysyy keskimäärin vähintään 20–30 cm syvyydessä. Hiili-  
dioksidi- ja typpioksiduulipäästöt ovat sitä suuremmat, mitä syvemmällä vedenpinta

on ja rehevillä kasvupaikoilla vedenpinnan vaikutus on suurempi kuin karuilla kasvupaikoilla (Ojanen ja Minkkinen 2019).

Ojien kunnostuksen ilmastovaikutuksista ei ole tutkimuksia. Vaikutuksia voidaan kuitenkin arvioida, koska tutkimusten perusteella tiedetään, paljonko ojien kunnostus keskimäärin laskee vedenpintaa (Ahti ja Päivänen 1997) ja mikä on päästöjen ja vedenpinnan tason välinen riippuvuus (Ojanen ja Minkkinen 2019). Heiskasen ym. (2020) raportissa arvioitiin, että mikäli ojien kunnostus laskisi vedenpintaa keskimäärin 5 cm ja vaikutus häviäisi noin 20 vuodessa, hiilidioksidipäästöt lisääntyisivät rehevillä kasvupaikoilla 6,3 t/ha ja karuilla kasvupaikoilla 3,2 t/ha. Myös typpioksiduulipäästöt voisivat rehevillä soilla jonkin verran kasvaa, mutta eivät todennäköisesti karuilla kasvupaikoilla.

Maaperän lisääntyviä päästöjä kompensoi se, että ojien kunnostus lisää puuston kasvua ja puustoon sitoutuneen hiilen määrää. Puustoon sitoutunut hiili on kuitenkin vain väliaikainen hiilivarasto, kun taas vedenpinnan laskusta seuraava turpeen hävikki ja suurentuneet kasvihuonekaasupäästöt jäävät jatkuviksi. Puuston hiilinielun suurentaminen keinoilla (esimerkiksi oja kunnostamalla), jotka aiheuttavat turpeen hävikkiä, ei siksi ole ilmastomuutoksen torjunnan näkökulmasta kannatettavaa hyvin ohutturpeisia soita lukuun ottamatta. Parempi vaihtoehto voisi olla lisätä puuston kasvua ja hiilen sidontaa esimerkiksi tuhkalannoituksella, mikäli se ei merkittävästi lisää turpeen hajoamista.

Vaikka ojien kunnostaminen laskee vedenpintaa, sillä ei yleensä ole merkittävää vaikutusta metaanipäästöihin. Tähän on syynä se, että ojitettujen soiden metaanipäästöt ovat yleensä alhaiset jo ennen ojien kunnostamista.

Toistuvien kunnostusten, puustobiomassan ja puuston haihdunnan kasvun sekä ilmaston lämpenemisen seurauksena suot voivat kuivua yhä enemmän, jolloin kasvihuonekaasupäästöt entisestään kasvavat. Tällä hetkellä hyvin intensiivisen tutkimuksen kohteena on, voitaisiinko esimerkiksi nk. jatkuvan kasvatuksen keinoin hillitä erityisesti soiden syvien turvekerrosten kuivumista ja siitä aiheutuvia kasvihuonekaasu- ja vesistö päästöjä (Nieminen ym. 2018b).

Pohjavesialueilla olevien turvemaiden hydrologia voi poiketa merkittävästi muista turvemaista, jos akviferistä purkautuva pohjavesi ylläpitää turvemaan märkyyttä. Tällaisten pohjavesivaikutteisten turvemaiden kasvihuonekaasupäästöt voivat jäädä tutkittuja päästöjä pienemmiksi, jos turvekerroksen kuivatussyvyys jää riittävän pinnalliseksi ojien kunnostuksesta huolimatta.

## 8 Muiden metsätalouden toimintojen vaikutus pohjaveteen

### 8.1 Hakkuu ja energiapuun korjuu

Päätehakkuiden intensiteetti ei merkittävästi poikkea pohjavesialueilla moreeni- ja turvemaihin verrattuna, paitsi Lapissa, jossa pohjavesialueilla uudistamishakkuita on hieman enemmän (Liite 5, Paikkatietoanalyysit). Energiapuunkorjuun pinta-ala- tai korjuumäärätietoja ei ole paikkatietoina pohjavesialueille saatavilla. Vuosittain energiapuuta korjataan 8–10 miljoonaa kuutiometriä (stat.luke.fi). Lisäksi hakkuualoilta korjataan latvusmassaa ja kantoja 2,3–2,6 miljoonaa kuutiometriä vuosittain (stat.luke.fi).

Hakkuut muuttavat kasvupaikan vesi-, lämpö- ja ravinneolosuhteita sekä niiden kierroja ja varastoja, ja päätehakkuut enemmän kuin kasvatushakkuut. Puuston haihdunnan vähentyminen erityisesti päätehakkuussa on merkittävin pohjavesialueen hydrologinen muutos ja lisäksi maahan tulevan sateen määrä kasvaa, kun latvuspidäntä puuttuu (Ala-aho 2015). Suomalaisissa olosuhteissa puusto ja erityisesti lehtialaindeksi on pohjaveden määrän mallinuksissa osoittautunut tärkeimmäksi selittäjäksi (Ala-aho 2015). Myös empiirisissä mittauksissa on havaittu, että maakerrosten läpi pohjavedeksi suotautuvan veden määrä lisääntyy hakkuiden seurauksena (Kubin 1998), mutta alueen ominaisuudet määräävät missä suhteessa pohjavesivarasto ja pohjavesipurkaumien vesimäärät lisääntyvät. Kubin (2017) havaitsi suomalaisessa tutkimuksessa 24 % lisäyksen pohjaveden määrässä hakkuiden jälkeen. Pohjaveden pinnan nousu voi olla huomattavaakin (40–60 %), kuten puolalaisessa tutkimuksessa havaittiin (Stasik & Korytowski 2015).

Hakkuissa poistettujen puiden juuriston kuoleminen voi lisätä oikovirtausreittejä ja veden imeytymisnopeutta maakerrosten läpi (Davis & DeWiest 1966). Jos hakkuut käsittävät vain osan pohjavesialueesta niiden vaikutus ei välttämättä näy pohjaveden pinnan korkeuden muutoksina (Rusanen ym. 2004). Hakkuutähteiden korjuun vaikutuksesta hakkuualan vesitaseeseen ei ole tutkimustuloksia, mutta vaikutukset voivat olla vesimäärää lisääviä tai vähentäviä. Hakkuutähteisiin pidättyä sadevettä, joka voi vähentää maahan suotautuvan veden määrää. Toisaalta hakkuutähteet suojaavat maata haihdunnalta. Hakkuutähteet estävät mekaanisesti uuden haihduttavan pintakasvillisuuden kehittymistä, mutta toisaalta hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet edesauttavat kasvillisuuden runsastumista.

Päätehakkuun jälkeen hakkuutähteistä, juuret mukaan lukien, ja kuolleesta pintakasvillisuudesta sekä myös maan orgaanisesta aineesta vapautuu liukoisia ravinteita ja hiiltä enemmän kuin jäljelle jäänyt kasvillisuus tai mikrobit pystyvät niitä käyttämään (Piirainen 2002). Ylimäärä suotautuu ja kulkeutuu syvemmälle maaperään sadeveden mukana (Piirainen 2002). Ravinteiden vapautuminen hakkuutähteistä on eriaikaista, lehdet, neulasen ja hienoitujuuret hajoavat nopeimmin, noin kolmessa vuodessa (Palviainen ym. 2004) ja kannot hitaimmin, useamman vuosikymmenen kuluessa (Palviainen ym. 2010). Törmänen ym. (2020) totesivat nitraatin huuhtoutumisen voimistuvan hakkuutähdekasojen alta kerättyssä maavedessä hakkuutähteettömän maan huuhtoumaan verrattuna.

Pohjavesialueilla lajittuneilla mailla tehdyissä tutkimuksissa on huomattu, että nitraattityypipitoisuudet voivat kasvaa pohjavedessä hakkuuden jälkeen (Rusanen ym. 2004). Sama ilmiö on havaittu myös moreenimaiden pohjavedessä (Kubin 1998, Mannerkoski ym. 2005). On myös tuloksia, joissa pohjaveden nitraattityypipitoisuudessa ei ole havaittu muutoksia hakkuun jälkeen (Keestra ym. 2012, Piirainen ym. julkaisemat). Edellä mainituissa tutkimuksissa Enon Silkunharjun (kuva 23) pohjavesialueella nitraattityypipitoisuudet vaihtelivat 0,07–0,97 mg/l. Mitatut pitoisuudet ko. tutkimuksissa eivät ole ylittäneet Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen (401/2001) talousveden sallittua maksimirajaa 11 mg/l, mutta toisaalta ovat paikoitellen korkeampia kuin eliölajien näkökulmasta havaittu kriittinen pitoisuus 0,4 mg/l (Lehosmaa ym. 2021).

Kasvupaikan ravinteisuuden lisääntyessä nitraattityypin huuhtouma päätehakkuun jälkeen voi kasvaa. Ruotsalaisessa tutkimuksessa päätehakkuun jälkeen maa- ja pohjaveden pitoisuuden ennustettiin kohoavan enimmillään arvoon 7 mg/l (Futter ym. 2010). Hakkuutähteiden korjuu periaatteessa vähentää typpivarastoa, josta typpi huuhtoutuu, mutta merkittävää vähenemistä esimerkiksi nitraattityypin huuhtoumassa ei tutkimuksissa kuitenkaan ole havaittu (Kubin 1998). Tämä voi johtua siitä, että maahan jää juurina huomattava määrä hakkuutähteitä, joista typpiä voi edelleen huuhtoutua (Palviainen ym. 2004). Törmänen ym. (2018) havaitsivat tyypin nettomineralisaation ja nettonitrifikaation voimistuvan hakkuutähdekasvan alapuolisessa humuksessa 1–2 vuoden kuluessa avohakkuusta, mikä osaltaan lisää nitraattimuodossa olevan tyypin huuhtoutumista.



**Kuva 23.** Päätehakkuu siemenpuuhakkuuna Silkun pohjavesialueella Pohjois-Karjalassa. Kuva Sirpa Piirainen.

Hakkuiden hydrologiset vaikutukset ja vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin:

- Voi lisätä pohjaveden muodostumista (Ala-aho ym. 2015) ja nostaa pohjaveden pintaa
- Pohjaveden pinnankorkeus vaikuttaa voimakkaasti suotautumiseen (Autio 2020) ja täten lähdevirtaamiin. Hakuilla potentiaalia nostaa pintaa ja lisätä reuna-alueiden purkautumista ja siten myös virtaamia
- Voi kohottaa pohjaveden ravinnepitoisuuksia ja lisätä pohjaveden mukana kulkeutuvaa ravinnekuormaa (Rusanen ym. 2004). Vaikutus voi ylittää lähteisiin, jos osuvat virtausreiteille
- Hakkuiden pohjaveden purkautumista lisäävää vaikutusta, tai ravinnekuorman kasvamista vaikutuksia ekosysteemeihin ei todennettu. Moreenimaan pohjavedessä (Mannerkoski ym. 2005, Kubin 1998) mitatut NO<sub>3</sub>-N pitoisuudet ylittivät (Lehosmaan ym. 2021) mittaaman lähdelajistoa voimakkaasti muuttavan kynnyksarvon 0,4 mg/l
- Voi nostaa pohjaveden lämpötilaa (Henriksen ja Kirkhusmo 2020).



## 8.2 Maanmuokkaus metsänuudistamisessa

Nykyisin uudistamisalojen maanmuokkauksen valtamenetelmä on mätästys (n. 70 %; [stat.luke.fi](http://stat.luke.fi)), jossa maanpintaa rikotaan 10–24 % istutustiheydestä riippuen (Luoranen ym. 2007). Mätästystyyleistä laikku- ja kääntömätästys sopiva myös pohjavesialueiden kivennäismaaosiin, kuten myös äestys, jota voidaan tehdä vähemmän maanpintaa rikkovana katkoäestyksenä (kuvaus menetelmästä liitteessä 1).

Maanmuokkaus voimistaa päätehakkuun aiheuttamia ravinnehuuhtoumia (Kubin 1995, Ahtiainen ja Huttunen 1999, Piirainen ym. 2007, 2009). Myös eroosio ja kiintoaineen huuhtoutuminen ajourista tai paljailta kivennäismaapinnoilta kuten vaoista voi lisääntyä (Ahtiainen ja Huttunen 1999, Palviainen ym. 2014). Muokkauksessa muodostuu erilaisia muokkauspintoja, joiden alta huuhtoumamäärät ovat erilaisia. Orgaanisen aineksen kasaumat palteet ja mättäät, jotka voivat sisältää humuskerroksen lisäksi kuollutta pintakasvillisuutta ja hakkuutähteitä, vapauttavat ravinteita ja hiiltä muihin pintoihin verrattuna paljon. Muokkaamattomaan maahan verrattuna palteiden ja mättäiden alta on mitattu 70–80 % suurempia typen, fosforin ja hiilen huuhtoumia 3–5 vuoden ajan (Piirainen ym. 2007). Alumiinin ja raudan huuhtoumat palteiden alta ovat olleet vieläkin suurempia 3,6–6,2 kertaisia verrattuna huuhtoumaan muokkaamattoman pinnan alta (Piirainen ym. 2009). Vakojen ja muiden paljaiden kivennäismaapintojen alta huuhtoumat ovat pienempiä (Piirainen ym. 2007, 2009), koska niistä helposti hajoava ja ravinteita vapauttava orgaaninen aine on siirtynyt palteisiin. Vastaavanlaisia eroja aineiden pitoisuuksissa eri muokkauspintojen alta on havaittu myös ruotsalaisissa tutkimuksissa (Ring ym. 2013a). Maanmuokkauksen positiivinen vaikutus taimien eloonjäantiin ja uuden puusukupolven vakiintumisen nopeutuminen vähentävät ravinteiden huuhtoutumisen kestoa päätehakkuun jälkeen (Piirainen 2019b).

Pohjaveden määrä voi kasvaa, jos muokkauksessa syntyvät painanteet ja vaot toimivat vesivarastoina, joiden kautta vettä imeytyy pohjavedeksi. Maanmuokkaus myös parantaa maan rakennetta ja korjaa hakkuukoneiden aiheuttamaa maan tiivistymistä, joka voi myös edesauttaa veden imeytymistä. Tutkimustuloksia siitä, kuinka maanmuokkaus tai erilaiset maanmuokkausmenetelmät vaikuttavat pohjaveden laatuun tai määrään, ei ole.

Maaperän häiriintyminen, muokkaamisen tai koneella ajamisen seurauksena lisää pienten vesipainanteiden muodostumista metsämaahan, mikä puolestaan voi luoda otolliset olosuhteet laskeuman mukana tulleen ja orgaaniseen ainekseen sitoutuneen elohopean metyloitumiseen ja metallien liukenemiseen (Munthe ja Hultberg 2004, Porvari ym. 2003, Ukonmaanaho ym. 2016). Suurin riski vesialtaiden syntymiselle on huonosti vettä läpäisevässä maassa ja pohjavesialueiden tapauksessa turvemaat voisivat olla tällaisia riskikohteita.



Teoriassa pohjaveden laatuun voivat vaikuttaa myös pohjavesialueen ulkopuolella tehdyt hakkuut ja maanmuokkaukset, jos hakkuualueelta vapautuvia aineita joutuu puroon, joka virtaa pohjavesialueiden läpi ja jonka vesi suotautuu osin pohjavedeksi. Tutkimustietoa tai riskianalyysyjä ei tällaisista tapauksista ole, mutta esimerkiksi turvemetsien hakkuut ja maanmuokkaukset voisivat olla tällaisia riskikohteita.

Maanmuokkauksen hydrologiset vaikutukset ja vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin:

- mahdollinen ravinteiden lisääntyminen pohjavedessä
- mahdollinen kiintoaineen kulkeutuminen lähteisiin ja puroihin, jos niitä suojaavat suojavyöhykkeet ovat alimitoitettuja
- ekosysteemitason vaikutuksia ei todennettu.

## 8.3 Metsitys

Tässä yhteydessä metsityksellä tarkoitetaan sellaisten alueiden metsityksiä, joiden maankäyttö on ollut muu kuin metsätalous kuten esimerkiksi maatalous tai maaainesten otto. Vesitaseiden kannalta tarkasteltuna puuttoman alueen metsityksellä on päinvastainen vaikutus kuin esimerkiksi päätehakuulla. Ruohovaltaisen kasvillisuuden haihdunta (evapotranspiraatio) ja sadeveden pidäntä (interseptio) ovat huomattavan pientä verrattuna puustoon kuten on havaittu eri puolilla maailmaa toteutetuissa metsittämistutkimuksissa (Adane et al. 2018, Rodrigues Capitulo et al. 2018, Mattos et al. 2019, Milkovic et al. 2019). Metsittäminen vaikuttaa pohjaveden pinnankorkeuteen laskevasti (Mattos et al. 2019) ja pohjaveden muodostumisnopeus sekä määrä pienevät (Adane et al. 2018, Rodrigues Capitulo et al. 2018, Mattos et al. 2019, Milkovic et al. 2019, Huang et al. 2020). Pohjoisissa oloissa, joissa puuston kehittyminen täysikasvuiseksi kestää useita vuosikymmeniä, muutokset pohjaveden määrässä metsityksen seurauksena näkyvät myös hitaasti.

Metsityksen on todettu olevan merkittävä tekijä havupuuvyöhykkeen pintavesien humuspitoisuuden ja orgaanisen hiilen pitoisuuksien kohoamiselle (Kritzberg, 2017). Myös havupuuvaltaisuus ja lisääntynyt kasvu, joka todennäköisesti voimistuu ilmaston lämpenemisen seurauksena lisää orgaanisen hiilen huuhtoumia (Skerlep ym. 2020). Se miten metsitys vaikuttaa pohjavesien laatuun on kuitenkin saanut vähemmän huomiota.

Metsityksen hydrologiset vaikutukset ja vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin:

- Hydrologisia vaikutuksia todettu: vähentää pohjaveden muodostumista. Vaikutukset ekosysteemien vedensaantiin pitkällä aikavälillä mahdollisia kasvillisuuden vedenkäytön kasvaessa huomattavasti, mutta ei todennettu.
- Laatumuutoksia ei todennettu, mutta todennäköisesti vähäisiä, koska nykyisellään pohjavesialueiden maankäyttö on pääosin metsätalous.

## 8.4 Lannoitteet ja kasvinsuojeluaineet

Luokkiin 1 ja 2 kuuluvilla pohjavesialueilla ei pääsääntöisesti ole suositeltua käyttää lannoitteita, mutta eri ohjeiden ja sertifiointien välillä on eroja. Nykyisen FSC-sertifiointijärjestelmän kriteeristö (2011) on tiukin eikä salli lannoituksia I ja II luokan pohjavesialueilla. Muissa ohjeissa ja PEFC kriteeristössä terveyslannoitusta kuten boorilannoitusta ja turvemaiden tuhkalannoitusta voidaan tehdä rajoitetusti ja tarvittaessa neuvotellen alueellisen ympäristöviranomaisen kanssa. Tarkemmin ohjeiden ja sertifiointien kriteeristöistä on liitteessä 4.

Markkinoille on tullut viime aikoina taimille tarkoitettuja typpilannoitteita (tehoaineena esim. argiini-aminohappo), joita annostellaan istutusvaiheessa suoraan taimen tyvelle pieninä määrinä. Tutkimustuloksia tämän tyyppisten orgaanisten lannoitteiden huuhtoumariskistä pohjavesiin ei toistaiseksi ole.

Jonkin verran keskustelua on käyty pohjavesialueiden reunaosien turvemaiden tuhkalannoituksesta. Tuhkalannoitus parantaa puuston ravinnetilaa ja kasvua, mikä suurentaa myös neulasmassaa ja haihduntaan kuivattaen kasvupaikkaa. Puhdas puutuhka sisältää tyypeä lukuun ottamatta kaikkia puiden tarvitsemia ravinteita pääosin niukka-liukoisessa muodossa. Puutuhka sisältää lisäksi aina rautaa, joka sitoo tuhkan sisältämän fosforin tiukasti itseensä ja luovuttaa sen hitaasti kasvillisuuden käyttöön. Turvetuhkassa erityisesti kalsiumin, kaliumin ja boorin pitoisuudet ovat matalampia kuin puutuhkassa. Tällä hetkellä tuhkaa suositellaan erityisesti ojitettujen, runsastyyppisten turvemaiden lannoitukseen, jossa puun kasvua rajoittaa kaliumin ja fosforin saataavuus.

Tuhkan käyttöä metsälannoituksessa säätelee lannoitevalmistelainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa lannoitevalmisteista (24/11) määritellään muun muassa metsään levitettävän tuhkalannoitteen vähimmäisravinnepitoisuudet sekä haitallisten aineiden enimmäispitoisuudet (taulukko 4).

**Taulukko 4. Metsätaloudessa käytettävissä tuhkalannoitteissa tai niiden raaka-aineena käytettävässä tuhkassa lannoiteasetuksen mukaiset haitalliset metallit ja niiden enimmäispitoisuudet (mg/kg) kuiva-ainetta.**

Alkuaine	Metsäkäyttö mg/kg ka.
Arseeni (As)	40
Elohopea (Hg)	1,0
Kadmium (Cd)	25
Kromi (Cr)	300
Kupari (Cu)	700
Lyijy (Pb)	150
Nikkeli (Ni)	150
Sinkki (Zn)	4500

Rakeistettuun tuhkalannoitteeseen saa lisätä epäorgaanisia lannoitevalmisteita sen käyttökelpoisuuden parantamiseksi tai vähimmäisvaatimusten täyttämiseksi. Jos tuhkalannoitevalmisteeseen on lisätty booria, sen levittäminen pohjavesialueella on kielletty. Jos tuhkaan halutaan lisätä orgaanista ainetta, esimerkiksi biolietettä typpipitoisuuden lisäämiseksi, on Ruokavirastosta varmistettava käytettävää tuhkaa sekä lopputuotetta koskevat vaatimukset ja käyttörajoitukset.

Tuhkalannoituksen huuhtoumariskejä on tutkittu moreenimailla ja ojitetuilla turve- mailla, mutta ei pohjavesialueilla. Ruotsalaisessa tutkimuksessa selvitettiin moree- nimaalla maaveden pitoisuutta 50 cm syvydessä eri tuhkamääriä saaneiden lannoit- tusten jälkeen (Ring ym. 2006). Tutkimuksessa havaittiin, että tuhkan esikäsitteilyllä voidaan niukkaliukoisuutta vahvistaa ja tuhka-annoksen kasvaessa huuhtoumariski kasvaa. Tutkimuksessa 3 000 kg/ha annos pelletöityä tuhkaa ei vaikuttanut maaveden pitoisuuksiin yhdeksän vuotta kestäneen tutkimusjakson aikana. Sen sijaan sama määrä itsekovettuvaa tuhkaa (sisältää osittain pölymäistä tuhkaa) nosti maaveden ka- lium (K), natrium (Na), sulfaattirikki (SO<sub>4</sub>-S), kloridi (Cl) ja liukoisen hiilen (TOC) pitoi- suuksia ja johtokyky -lukua. Kun itsekovettuvan tuhkan annosmäärää kasvatettiin, pi- toisuuden nousu oli suurempaa ja kesti kauemmin ja suurimmalla annosmäärällä (9 000 kg/ha) myös kalsium (Ca), magnesium (Mg), mangaanin (Mn), alumiinin (Al) ja kadmium (Cd) pitoisuuksissa havaittiin nousua sekä maaveden pH arvossa laskua. Tutkijoiden mukaan suurin käytetty annosmäärä vahingoitti myös pintakasvillisuutta, jolla oli todennäköisesti myös vaikutusta kohonneisiin ainehuuhtoumiin.

Ojitettujen turvemaiden tuhkalannoitustutkimuksissa on myös mitattu K, Na, SO<sub>4</sub>-S, Cl ja Mg pitoisuuksien ja johtokyky -luvun nousua valumavedessä ja vaikutus on ollut nähtävissä mm. Na ja K pitoisuuksissa 10 vuoden ajan (Piirainen ym. 2013). Annosmäärän vaikutusta huuhtoumiin ei ole tutkittu, vaan em. tutkimuksessa annosmäärä vaihteli 5 000–6 500 kg/ha. Tutkimuksessa oli mukana eri tavoin esikäsiteltyjä puutuhkia, ei kuitenkaan pellettejä, ja myös turvetuhkaa. Mukana oli erityyppisiä kasvupaikkoja ja lisäksi selvitettiin lannoitusajankohdan vaikutusta huuhtoumiin. Johtopäätöksenä tutkimuksessa oli, että turvetuhkasta huuhtoumat olivat pienempiä kuin puutuhkasta, koska annetut ainemäärät olivat pienempiä turvetuhkan lannoitusmielessä huomman laadun takia. Lisäksi karuilta kasvupaikoilta huuhtoumat olivat suurempia kuin rehevimmiltä, osin pienemmästä puustosta ja vähäisemmästä ravinteidenotosta johtuen. Tuhkan levitys lumen päälle aiheutti suuremman SO<sub>4</sub>-S huuhtouman, mutta vähensi K huuhtoumaa.

Pohjavesialueiden (luokat 1, 1E, 2 ja 2E) metsänhoidossa ei käytetä kasvinsuojeluvaiheita juurikäävän torjuntaan tarkoitettuja kantokäsittelyaineita ja tukkimiehentäin torjuntaan taimitarhoilla taimiin lisättyjä taimivalmisteita lukuun ottamatta (PEFC- ja FSC-metsäsertifioinnin kriteeri). E-luokan pohjavesialueet puuttuvat metsäsertifiointijärjestelmien voimassa olevista kriteeristöistä.

Kantokäsittelyissä vaikuttavina aineina ovat urea tai harmaaorvakka-sieni-itiöt. Ao. kauppatuotteiden myyntiluvat Tukesin kasvinsuojeluinerekisterissä päättyvät vuoden 2021 aikana. Ureavalmisteiden vesiensuojeluohjeissa suojaetäisyys vesistöistä on 10 m. Sieni-itiövalmisteet eivät aiheuta vaaraa vesistöille. Kummankaan aineen vaikutuksia pohjaveteen ei ole tutkittu, mutta levitysmäärät ovat niin pieniä, ettei niillä ole katsottu olevan vaikutusta pohjaveden laatuun.

Tukkimiehentäin torjuntaan taimikäsitelyssä on vaikuttavina aineina Tukesin kasvinsuojeluinerekisterissä hyväksytty vain lambda-syhalotriini (31.3.2024 saakka) sekä asetamipridi (28.2.2034 saakka). Lisäksi mm. Taimi-Tapio käyttää kasvinsuojeluvaiheita päällä liimavalmistetta, joka vähentää valmisteen liukenemista taimen pinnalta (Pusula 2019). Lambda-syhalotriini on erittäin myrkyllinen vesieliöille, mutta ei ole bioakkumuloituva. Sen sijaan asetamipridi on erittäin myrkyllistä vesieliöille ja sillä on pitkäaikaisia haittavaikutuksia.

Taimet käsitellään kasvinsuojeluvaiheilla jo taimitarhoilla. Kemiallisten aineiden rinnalle on tullut myös mekaaninen taimien hiekkaliimakäsittely, Conniflex, jota markkinoidaan ympäristöhaitattomana vaihtoehtona (Pusula 2019). Tutkimustuloksia aineiden huuhtoutumisesta pohjaveteen ei ole, mutta niiden huuhtoutuminen pohjaveteen on todennäköisesti hyvin pientä.

Lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden hydrologiset vaikutukset ja vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin:

- mahdollinen ravinteiden lisääntyminen ja vedenlaadun heikkeneminen, ekosysteemitason vaikutuksia ei ole todennettu

## 8.5 Metsäkoneiden ja metsäautoteiden aiheuttamat riskit

Metsänhoitotoimenpiteet tehdään pääsääntöisesti koneellisesti ja myös perinteisiin käsityövaltaisiin toimiin kuten taimien istutukseen ja taimikon perkauksiin käytetään konekalustoa. Maastoliikennelain (1710/1995) mukaisesti moottorikäyttöistä ajoneuvoa on maastossa käytettävä siten, että vältetään vahingon ja haitan aiheuttamista luonnolle ja muulle ympäristölle. Pohjavesialueilla ei koneiden käyttöä ole erikseen rajoitettu, mutta mm. koneiden tankkaus ja huolto on metsänhoito-ohjeissa ohjeistettu tehtäväksi alueen ulkopuolella, millä minimoidaan mahdollisten kemikaalivuotojen pääsy pohjaveteen. Koneissa suositellaan myös pidettävän imeytysmateriaaleja öljyvahinkojen torjumiseksi.

Biohajoavien öljyjen käyttö metsäkoneissa lisääntyy ja osa konevalmistajista käyttää niitä ensiasennusöljyinä (mm. Komatsu, <https://www.komatsuforest.fi/palvelut/varaosat-ja-tarvikkeet>, viitattu 15.12.2020). Biohajoavien öljyjen käytön lisääntymistä ovat hidastaneet koetut ongelmat talviaikaan ja kalleus (Määttänen 2011). Biohajoavien öljyjen käyttö ei täysin poissulje niidenkään haitallisuutta maaperälle ja vesistöille, sillä biohajoavuus voi heiketä konekäytössä ja hajoamistuotteina voi syntyä uusia luonnolle haitallisia yhdisteitä (Kuokkanen ym. 2003).

Tilastojen mukaan metsäkoneiden aiheuttamat öljyvahingot pohjavesialueilla eivät ole yleisiä (Tuomainen ym. 2021, Pelastuslaitoksen tietokanta PRONTO) vaikkakin metsäkoneiden hydrauliiikkariikkojen yleisyys näkyy mm. vakuutuskorvauksissa (Kangas 2013). Metsänhoitotoimia samalla kuviolla tehdään harvoin, päätehakkuun, istutusten ja taimikonhoidon jälkeen seuraaviin toimenpiteisiin on aikaa useita vuosikymmeniä, mikä vähentää riskiä tietyn paikan öljyvahingoille.

Uusia metsäautoteitä ei suositella tehtäväksi pohjavesialueille mm. Metsähallituksen metsänhoito-ohjeessa ([https://www.metsa.fi/wp-content/uploads/2020/08/Metsanhoito\\_ohje\\_20200803.pdf](https://www.metsa.fi/wp-content/uploads/2020/08/Metsanhoito_ohje_20200803.pdf)) ja useissa pohjavesialueiden suojelusuunnitelmissa. Myös vanhojen teiden perusparannustöiden suunnittelussa ohjeistetaan konsultoimaan ym-

päristöviranomaisia. Pohjavesialueilla olevien teiden ajoneuvoliikenne myös virkistystoimintaan, kuten retkeilyyn, marjastukseen ja metsästyksen lisää riskiä kemikaalivahingoille ajoneuvojen rikkoutuessa. Tutkimustuloksia erilaisista liikennemääristä metsäautoteillä ei tiettävästi ole.

Metsäkoneiden ja metsäautoteiden hydrologiset vaikutukset ja vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin:

- mahdollinen vedenlaadun heikkeneminen ja pilaantuminen kemikaalivuodon seurauksena
- tieojat voivat toimia pohjaveden purkautumisreitinä tai niiden kautta voi imeytyä haitallisia aineita pohjaveteen
- ekosysteemitason vaikutuksia ei todennettu.

## 8.6 Kulotus

Metsänhoito-ohjeiden ja metsäsertifikaattien mukaan kulotusta ei pohjavesialueilla sallita. Sitä voidaan kuitenkin tehdä ympäristöviranomaisten luvalla luonnonhoidollisena menetelmänä, jolla palautetaan tulesta hyötyviä eliölajeja metsäekosysteemiin. Kulotuksella voi olla sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia maaperään mm. hajoustoiminta ja ravinteiden vapautuminen voivat kasvaa, kun pH nousee, mutta typpimäärät voivat vähentyä, kun orgaanista ainesta palaa ja typpi kaasuuntuu (Certini 2005). Myös maan fysikaaliset ominaisuudet kuten huokoisuus ja veden imeytyminen voivat pienentyä ja pahimmillaan se voi edesauttaa eroosiota (Certini 2005). Ylipääntään häiriöillä, kuten metsäpaloilla ja tuuli- tai hyönteistuhailloilla, on maailman laajuisesti enemmän haitallisia kuin positiivisia vaikutuksia ekosysteemipalveluihin, esim. veden laatuun (Thom ja Seidel 2016). Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa huomattiin, että nitraattitypen ja hiilen huuhtouma hakkuun ja kulotuksen jälkeen oli pienempi kuin hakkuualalta (Ring ym. 2013b) eli kulotusta voitaisiin mahdollisesti käyttää typpi- ja hiilihuuhtoumien pienentämiseen. Pohjavesialueilla kulotuksen vaikutuksista ei ole tutkimustietoja.

Carignan ym. (2000) ovat todenneet, että hakkuilla on suurempi vaikutus kaliumin ja kloridin huuhtoutumiseen pohjaveteen kuin metsäpaloilla.

Kulotuksen hydrologiset vaikutukset ja vaikutukset pohjavedestä riippuvaisiin ekosysteemeihin:

- mahdollinen ravinteiden lisääntyminen pohjavedessä sekä noen ja tuhkan kulkeutuminen vesiekosysteemeihin
- ekosysteemitason vaikutuksia ei todennettu.

## 8.7 Pohjavesialueiden metsänhoidon vaikutukset hiilensidontaan ja kasvihuonekaasuihin

Pohjavesialueiden metsänhoito ei juurikaan eroa muiden kivennäismaiden metsänhoidosta, joten samoja kasvumalleja ja estimaatteja voidaan käyttää mm. hiilen sitoutumiseen puustoon tai maaperään. Ainoastaan lannoitus, jolla voidaan lisätä puuston kasvua ja hiilensidontaa, puuttuu pohjavesialueiden metsänhoitotoimenpiteistä.

Pohjavesialueiden metsänuudistamisessa voidaan pääsääntöisesti myös noudattaa samoja menetelmiä kuin muillakin kangasmailla, mutta uudistumisen onnistumisen varmistaminen voi vaatia enemmän panostusta. Pohjavesialueille suositellaan käytettäväksi maanmuokkausmenetelmiä, jotka rikkovat maan pintaa vain kevyesti ja niin, että häiriintyneen pinnan osuus olisi mahdollisimman pieni. Paljaan kivennäismaapinnan vähyys voi altistaa istutustaimet mm. tukkimiehentäituhaille (Laine ym. 2019), jolloin uudistumistulos on huono, joten muihin torjuntakeinoihin on kiinnitettävä huomiota.

Paikkatietoanalyysin perusteella pohjavesialueiden metsien tilavuus ja puustoon sitoutuneen hiilen määrä on kasvanut tarkastelujakson vuosien 2009–2017 aikana (Liite 5; taulukko 8). Tilavuuden kasvu on ollut hieman suurempaa kuin muulla metsämaalla, lukuunottamatta Lappia sekä Pohjois- ja Itä-Suomea. Varsinkin Pohjois-Suomessa tilavuuskasvua näyttää hillinneen pohjavesialueille kohdistunut uudistushakkuupaine (Liite 5; taulukko 9).

Puustoon ja maaperään sitoutuneen hiilen määrä vaihtelee kasvupaikkatyypeittäin (Sarkkola ym. 2020). Runsasravinteisilla kangasmaan kasvupaikoilla puustoon sitoutuneen hiilen määrä on 2–3 kertaa suurempi kuin karuimmilla kasvupaikoilla. Etelä-Suomessa ja Pohjois-Suomessa erot kasvupaikkojen välillä ovat vielä suurempia. Maaperän hiilivarastojen väliset erot kasvupaikkojen välillä ovat pienempiä, mikä johtaa siihen, että tuoreen kankaan ja sitä karumpien kasvupaikkojen maaperän hiiliva-

rasto on suurempi kuin puustoon sitoutuneen hiilen varasto (Sarkkola ym. 2020). Pohjavesialueilla voi olla hyvin monia kasvupaikkatyyppisiä, mutta tyypillisesti sora- ja hiekka-alueilla esiintyy tuoreen kankaan ja sitä karumpia kasvupaikkatyyppisiä. Maaperän hiilivarastoa ylläpitää puuston karikesyöte ja myös kasvatus- ja päätehakkuiden jälkeen hakkuutähteet lisäävät maan hiilivarastoa (Sarkkola ym. 2020). Pohjavesialueilla kantojen korjuu ei ohjeistusten mukaan ole sallittua, mikä ylläpitää maan hiilivarastoa.



# 9 Pohjavesivaikutusten hallinnan työkalut kestävässä metsätaloudessa

## 9.1 KUNNOS-työkalu

### 9.1.1 Tausta ja tavoitteet

Pohjavesialueilla harjoitetaan laajasti metsätaloutta. Toimintaa varten on laadittu vesiensuojelusuositukset (Joensuu ym. 2013) varmistamaan, miten metsätaloutta voidaan harjoittaa aiheuttamatta pohjavesien pilaantumista. Suositukset on laadittu käytännön kokemuksiin ja päättelyyn perustuen. Asiantuntijoiden mukaan metsätalous on turvallisimpia maankäyttömuotoja pohjavesialueilla. Ojien kunnostus on merkittävin metsätaloustoimenpide, jolla katsotaan olevan vaikutusta pohjavesiin. Tästä syystä pohjavesialueiden rajaukset vaikuttavat erityisen paljon nimenomaan ojien kunnostussuunnittelijan työhön. Monissa kohteissa kyse on metsäojien kunnostuksen toteuttamisesta nykyisin voimassa olevien pohjavesirajausten sisällä. Alueet on aikanaan ojitettu 50–70-luvuilla ennen kuin nykyisiä pohjavesialueita oli rajattu. Pohjavesialueiden rajausta on tehty myöhemmin ja osa ojitusalueista on jäänyt pohjavesialueiden rajausten sisään ja niiden kunnostuksiin ei saada lupaa ilman, että arvioidaan ojien kunnostuksen vaikutukset.

Tapion Metsätalous pohjavesialueilla -hankkeen (Joensuu 2017) yhteydessä järjestetyissä työpajoissa keskusteltiin mahdollisuuksista arvioida tai ”mallintaa” kevyesti pohjavedenpintaa olemassa olevaa tietoa (metsävaratieto, maaperäkartta, korkeusmallit, laserkeilaus, lähteet ym.) ja paikkatietoa hyödyntäen. Edelleen todettiin, että tapauskohtaisesti tarkasteluun voisi olla mahdollisuuksia, ja että yleisesti on tarve lisätä yhteistyötä ja tuottaa uutta tietoa.

Metsätalous pohjavesialueilla-hankkeen yhteydessä aloitettiin myös KUNNOS-työkalun kehittäminen ja MEPO-hankkeessa tarkoitus on ollut viimeistellä malli käyttökuntoon. KUNNOS on pilvipalvelun kautta käytettävä ohjelmisto, joka tähtää pohjavesimallien monipuoliseen hyödyntämiseen metsätalouden ojien kunnostuksen vaikutusten arvioinnissa. Metsätalous pohjavesialueilla-hankkeen yhteydessä todettiin, että sopivien pohjavesialueilla sijaitsevien ojastojen kunnostuksen seuranta- ja tutkimusalueiden löytäminen on haastavaa ja lisäksi alueita tarvittaisiin useista erilaisista poh-

javesimuodostumatyypeistä. Ojituksen vaikutukset voivat eri puolella Suomea ja erilaisilla muodostumatyypeillä vaihdella hyvin paljon, ja siksi yksittäisillä tutkimuksilla on hankala päästä yksityiskohtaiseen yleisesti sovellettavissa olevaan ohjeistukseen. Yksi vaihtoehto tapauskohtaisen ohjeistuksen laadinnan apuvälineiksi ovat pohjavesimallit, joilla voidaan arvioida ojaston kunnostuksessa syvyyden ja ojavälin vaikutuksia pohjavedenpinnan käyttäytymiseen ja pohjaveden purkautumis- tai imeytymisolosuhteiden muutoksiin. KUNNOS-mallia voidaan hyödyntää myös arvioitaessa ojitusten vaikutusta veden laatuun sekä pohjavedessä, että pintavesien kuormitusmuutosten ennustamisessa.

### 9.1.2 Avoimet aineistot ja käyttäjän omat lähtötiedot

Suomessa on vapautettu viimeisten 10 vuoden aikana käyttöön runsaasti vapaasti ladattavia aineistoja, joita pystytään hyödyntämään pohjavesimallien kehittämisessä. KUNNOS-työkalussa käytetään Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Maanmittauslaitoksen (MML), Metsäkeskuksen, Luonnonvarakeskuksen (Luke), Tapion, Geologian tutkimuslaitoksen (GTK) ja Ilmatieteen laitoksen (IL) aineistoja. Periaate on, että kaikki työkalussa tarvittavat aineistot on tallennettu pilvipalvelun tarjoajan palvelimille. Aineistot kattavat kaikki luokitellut pohjavesialueet, eikä käyttäjän tarvitse itse ladata sovelluskohtaisia aineistoja.

SYKEN Avoin tieto -verkkosivuilta palveluun on tallennettu n. 5 000 pohjavesialueen rajaukset ja poimittu ympäristötiedon hallintajärjestelmästä (myöhemmin HERTTA-järjestelmä) kaikki Pohjavesitietojärjestelmän (myöhemmin POVET) pohjavedenpinnan korkeusmittaukset (n. 1 000 esiintymää ja v. 2020 mittaukset mukana). SYKEN avoimista aineistoista on ladattu myös CORINE maankäyttörasteri kaikille pohjavesialueille, uomarekisterin tiedot sekä Natura- ja luonnonsuojelualueiden rajaukset.

Maanmittauslaitoksen aineistoista palveluun on tallennettu maanpinnan korkeusmalli ja maastotietokannasta uomaverkosto, suoalueiden rajaukset, pintavesiuomien sijainti, tiealueet, soranottoalueet, kalliopaljastumat, sekä lähteiden ja joissakin tapauksissa myös vedenottamoiden sijainti.

Pilvipalveluun on tallennettu Metsäkeskuksen Avoin metsätieto-palvelusta ladatut tiedot koko maan metsävarakuvioista. Pilvipalveluun on poimittu puuston kuutiotilavuus (m<sup>3</sup>/ha), vuotuinen kasvu (m<sup>3</sup>/ha/vuosi), kasvupaikkaluokat, kuivatustilanne, kehitysluokka, puulajit ja maalajikuvaus. Metsäkeskuksen avoimesta datasta on poimittu myös erityisen tärkeiden elinympäristöjen (Ete) rajaukset.

Luonnonvarakeskuksen avoimista aineistoista (monilähteinen valtakunnan metsien inventointi, MVM) on tallennettu pilvipalveluun metsä-, jouto- ja kitumaan rajaukset, kasvupaikkaluokka, maaluokka ja puuston kuutiotilavuus (m<sup>3</sup>/ha).

Tapiolla on 40 pintaveden havaintoaseman valtakunnallinen verkosto ja kaikilta alueilta on käytettävissä pitkät aikasarjat vedenlaatumittauksia sekä ojitusta edeltävältä ajalta, että toteutetun ojaston kunnostuksen jälkeiseltä ajalta (15–20 jakso). Pintavesien veden laatumuuttujia ovat kiintoainepitoisuus, fosforin ja typen kokonaispitoisuus ja liukoiset fraktiot, pH, sähkönjohtokyky, TOC, sekä alumiinin ja raudan pitoisuudet.

GTK:n avoimesta datasta on poimittu yhteensä n. 150 kohdealueen rakennemallit (kallionpinnan korkeus) ja useimmilta alueilta on käytettävissä myös arvio pohjavedenpinnan korkeuksista. Rakennemalleista löytyy kallionpintatietoa n. 280 luokitellulta pohjavesialueelta (yhden rakennemallin alueella voi siis olla useita pohjavesimuodostumia). Pohjavesimalleissa kallionpinnan korkeusmalli on yksi suurimmista epävarmuustekijöistä. GTK:n rakennemallien alueilla kallionpintamalli on selvästi tarkempi kuin muilla pohjavesialueilla. Sulfaattimaiden esiintyminen on koottu yhdistämällä GTK:n ja SYKE:n vektoriaineistot, joissa on esitetty sulfaattimaiden esiintymistodennäköisyysluokat: hyvin pieni, pieni, kohtalainen, suuri.

Ilmatieteen laitoksen avoimista aineistoista on ladattu kaikille vesistöalueille meteorologisten datojen ja lumiaineistojen vuorokausiarvot seuraaville muuttujille: sadanta, ilman lämpötila ja lumen syvyys. Potentiaalinen haihdunta lasketaan ilman lämpötilan, aseman leveysasteen ja aikaisemmin kalibroittujen muunnoskertoimien avulla.

Tapauskohtaisia, toimijoiden itse keräämiä tietoja ovat esimerkiksi ojitusten toteutusajankohta ja -tapa, olemassa olevat vesiensuojelurakenteet, turvekerrosten paksuus, maalajitiedot ja kunnostussuunnitelmat. KUNNOS-työkalun käyttö perustuu ns. datakeskeiseen periaatteeseen, jossa mallinnus on osa analyysivaihetta ja eikä mallin käyttö ole riippuvainen saatavissa olevasta tapauskohtaisesta aineistosta vaan puuttuvat lähtötiedot täydennetään palvelussa olevilla aineistoilla.

### 9.1.3 Pohjavesimallien muodostaminen ja kalibrointi

Pilvipalvelun perusajatus on, että tarkastelun lähtökohtana ovat kokonaiset vesistöalueet, joita Suomessa on hieman yli 70. Pohjavesimuodostumat ovat osa vesistöaluetta ja pohjavesimalleissa on tärkeää ottaa huomioon se, miten nämä muodostumat liittyvät ympäröivään muuhun valuma-alueeseen.

KUNNOS-toimintamallin pohjavesivaikutusten arviointiin käytettävän mallinnuskokonaisuuden pohjana ovat ohjelmistot, joiden kehittäminen aloitettiin jo v. 2009 sen jälkeen, kun SYKE julkisti ensimmäiset avoimet aineistot (pohjavesialueiden rajaukset, CORINE-maankäyttöaineisto ja HERTTA-aineistot pinta- ja pohjavesihavainnoille). KUNNOS-työkalun kehittämisen tavoitteena on ollut laatia monipuolinen tietokoneohjelmisto, jolla on mahdollista poimia avoimista aineistoista lähes kaikki pinta- ja pohjavesimallissa tarvittavat lähtötiedot.

KUNNOS-toimintamalli on pääosin suunniteltu alueille, joilla pohjavesien virtauksilla on hyvin oleellinen rooli vaikutusten arvioinnissa. Pintavesien dominoimat alueet joudutaan kuitenkin ottamaan huomioon, sillä pohjavedet purkautuvat monissa kohteissa harjuja ympäröiville suo- tai peltoalueille. Piiloharjujen alueilla pintavesien ja pohjaveden yhteys voi olla myös hyvin merkittävä. Sovellettavan mallitarkastelun on siis pystyttävä käsittelemään samassa mallissa sekä pohjavesialueet, että ympäröivät alueet, joilla pintavesien rooli on tärkeä. Mallinnusalueet on valittu niin suuriksi, että ne kattavat sekä pohjavesialueen, että riittävän suuren alueen sen ympäriltä.

Avoimista aineistoista poimittavien tietojen avulla muodostetaan ensimmäinen versio laskentaverkosta. Sekä mallinnuksessa koko tarkastelualue jaetaan solmuihin, joiden koko on yleensä n. 10x10 – 40x40 m<sup>2</sup>. Koko mallinnusalueesta muodostuu rasteri, jonka jokaiselle solmupisteelle lasketaan pohjavedenpinnan korkeus ja virtausnopeudet. Mallin tulokset esitetään useimmiten GIS-ohjelmissa karttatasoina (layer). Avoimista aineistoista poimitaan kaikki pohjavesimallin tarvitsemat paikkatietoina annettavat lähtötiedot: pohjavesialueen rajausta, maanpinnan korkeus, kallionpinnan korkeus jos GTK:n rakennemalli on käytettävissä, järvet ja merialueet, peltoalueet, taajamat, tiealueet, uomaverkostot sekä MML:n maastotietokannasta, että SYKEN uomarekisteristä (alle 2 m leveät uomat, 2–5 m leveät uomat ja alueina esitettävät suuremmat uomat), kalliopaljastumat, puuston kuutiomäärät, kasvunopeus, puuston ikä, maalajiluokat Luken ja Metsäkeskuksen aineistoista, kasvupaikkatyytit, kuivatustilanne, Natura-alueet, luonnonsuojelualueet. Mallin laskentaverkon muodostamisvaiheessa on hyödynnettävä myös kaikki olemassa olevat pistehavainnot, eli havaintopaikkojen putkikortit (maapinnan korkeus, kallionpinnan taso, maalajiarviot), muut kalliovarmennetut pisteet, vedenottamoiden ja lähteiden sijainti.

Pohjavesimalleissa tarvitaan lähtötietona koko alueen kallionpinnan korkeuskartta. Ideaalitulanteessa käytettävissä on joko geologinen rakennemalli tai erityyppisiin geologiin tulkintoihin perustuva alueellinen arvio kallionpinnan korkeuksista. Jos tämän tyyppistä lähtötietoa ei ole käytettävissä, kallionpinnan korkeusmalli laadittiin kalliopaljastumien, putkikorttien ja mahdollisten kalliovarmennettujen pisteiden avulla. Kallionpinnan korkeusmalli on hyvin usein pohjavesimallien merkittävin epävarmuustekijä.

Pohjavedenpinnan korkeusmittauksia löytyy HERTTA-aineistosta n. 1 000 pohjavesialueelta ja malli on kalibroitu kertaalleen kaikille näille alueille. Kalibrointia parannetaan aina kun uutta havaintoaineistoa on käytettävissä (lisämittauksia pohjavedenpinnan korkeuksista, uusi kallionpinnan malli, vedenottamoiden ja lähteiden sijainti jne.). Käytännössä mallien päivitystä on tarpeen jatkaa senkin jälkeen, kun palvelu avataan käyttäjille. Tulevaisuudessa tärkeä päivitys tulee olemaan pohjavesialueiden rajausten muuttuminen.

Ojitusalueilta lähtevien kulkeutumisreittien ennustaminen on tärkeää erityisesti silloin, jos ojitus voi vaikuttaa kaivojen vedenottoon, lähdevirtaamiin tai muiden E-luokiteltujen pohjavesialueiden ekosysteemien vesitaseisiin. KUNNOS-työkalun periaate on, että ojitusalueelle sijoitetaan ”merkittviä partikkeleita”, joiden virtausreitit ja reittien päätepisteet lasketaan. Kyseessä on siis mallilla tehtävä ”merkkiainekoe”. Malli luokittelee kaikkien reittien päätepisteet (vedenottamot, kaivot, lähteet, järvet, merialue, suoalueet, muut (merkittävät) ekosysteemit, Natura-alueet, luonnonsuojelualueet) ja tulostaa päätepisteistä yhteenvedon.

KUNNOS-työkalulla voidaan laskea arvio pohjaveden purkautumisalueiden sijainnista. Tärkeä lähtötieto purkautumisalueiden etsinnässä ovat purkautumisalueilla sijaitsevat turvekerrokset, joiden alapuolella pohjavesi voi olla osin paineellista. Ojien syventäminen saattaa muuttaa purkautumisolosuhteita ja esiintymästä pois purkautuvan pohjaveden määrää.

### 9.1.4 Ojien kunnostuksen vaikutus pinta- ja pohjavesien veden laadun muutoksiin

KUNNOS-ohjelmistoon on lisätty Tapion ja Otson laatima kiintoainelaskuri (Joensuu ym. 2016). Malli perustuu Tapion keräämään pitkäaikaiseen ja valtakunnallisesti kattavaan aineistoon (Joensuu 2014). Kiintoainelaskurilla pystytään arvioimaan ojien kunnostuksen aiheuttamat muutokset alapuolisen vesistön kiintoaineen kuormitukseen (tn/a) ja kiintoainepitoisuuksiin. Tapion keräämän valtakunnallisen aineiston perusteella on mahdollista arvioida myös ojien kunnostuksen vaikutus seuraavien vedenlaatumuuttujien pitoisuuksiin alueelta purkautuvissa pintavesissä: kokonaisfosfori, fosfaatti-fosfori, kokonaistyyppi, nitraatti, ammonium, orgaanisen hiilen pitoisuus, sähköjohtokyky ja raskasmetalleista rauta ja alumiini.

Vedenlaatumuuttujille lasketaan pitoisuudet ojavirtaamissa käyttäen lähinnä Tapion keräämiä aineistoja. Ojien vedet purkautuvat alapuoliseen vesistöön ja purkautumisvesitöinä käytetään SYKEN kolmannen jakovaiheen vesistöjä. Mallilla arvioidaan ojitusten aiheuttama muutos purkuvesistöissä ja verrataan mitattuihin pitoisuuksiin, jos vertailuarvo löytyy.

Pohjaveden laatumalleissa tarvitaan laskettavien muuttujien pitoisuudet ojissa. Reunaehdot pohjaveden laatumalleja varten saadaan Tapion aineistojen avulla.

### 9.1.5 Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi altistumisalueiden avulla

KUNNOS-malliin on liitetty pohjaveden haavoittuvuusanalyysi, joka perustuu kulkeutumisreitien laskentaan ja niiden päätepisteiden sijainnin luokitteluun. Tämän analyysin tavoite on kartoittaa mallin avulla kaikki ne kohteet, joilta reitit voivat päätyä altistumisalueille. Pohjavesimallilla lasketaan virtausnopeudet ja -suunnat koko alueelle. Lähtötietona annetaan lisäksi mahdolliset altistumiskohteet ja luokitellaan ne tärkeysjärjestykseen. Pienin arvo 1 annetaan niille kohteille, joille haitta-aineita ei missään olosuhteissa saisi virrata (vedenottamot, kaivot). E-merkinnällä luokiteltujen pohjavesialueiden kohteille (pohjavedestä suoraan riippuvaiset suojellut lähteet ja muut luokituksen perusteena olevat merkittävät pintavesi- ja maaekosysteemit) annetaan tärkeysjärjestyksessä 2 ja kolmanteen luokkaan kirjataan kaikki muut kohteet (esim. merkittävät pintavesilammet). Lopputuloksena saadaan kaksi karttaa. Ensimmäinen tulostettava kartta kuvaa altistumiskohteiden sieppausalueita eli alueita, joilta lähtevät reitit voivat päätyä altistumiskohteille (värien perusteella voidaan erottaa minkä tyyppiselle kohteelle reitti päättyy). Toisen kartan tuloksissa kaikille pohjavesialueen solmuille lasketaan todennäköisyys, että reitti päättyy altistumiskohteelle. Esimerkki pohjaveden haavoittuvuusanalyysin soveltamisesta Taavetin pohjavesialueelle on esitetty liitteessä 6.

### 9.1.6 Soveltuvuus erityyppisille pohjavesimuodostumille

KUNNOS-malli soveltuu parhaiten purkaville pohjavesimuodostumille. Esimerkkejä työkalun soveltamisesta purkaville muodostumille on esitetty liitteessä 6 (Patamäki, ja Rokua, Rahkosenharju ja Taavetti). Antikliinisillä muodostumilla mallia voidaan hyödyntää arvioitaessa sijaitseeko ojitettava alue pohjaveden purkautumisalueella ja onko olemassa riski sille, että ojien syventäminen lisää merkittävästi pohjaveden purkautumista.

Liitteessä 6 on esitetty KUNNOS-työkalun soveltaminen myös peitteisille ja kerääville pohjavesialueille (Pahalähteen ja Hyypänmäen esiintymät Hyypän alueella). Keräävillä muodostumilla ojitusalueilta lähtevät pohjaveden kulkeutumisreitit voivat olla huomattavasti pidempiä kuin vastaavat reitit purkavilla muodostumilla. Keräävien muodostumien tapauksessa mallilla voidaan arvioida esimerkiksi riski sille voiko ojitusaluiden pohjavesiä kulkeutua vedenottamojen kaivoihin tai suojeltuihin merkittäviin ekosysteemeihin.

KUNNOS-mallia ei ole toistaiseksi sovellettu pohjavesialueilla, joilla rantaimetytymisen merkitys on suuri tai jotka on luokiteltu kalliopohjavesialueeksi.

### 9.1.7 Lähtötietojen vaikutus työkalun tarkkuuteen

Pilvipalveluun tallennettujen aineistojen tärkein epävarmuustekijä on kallionpinnan estimaatti alueilta, joilta ei ole käytettävissä GTK:n rakennemallia. Vapaasti ladattavista avoimista aineistoista ei löydy myöskään maakerrosten 3D-mallia, joten KUNNOS-mallilla ei voi laskea luotettavasti alueita, joilla huonosti läpäisevät savikerrokset jakavat muodostuman paineelliseen ja vapaaseen osaan.

Purkavilla pohjavesimuodostumilla tärkein epävarmuustekijä on turvekerrosten paksuus ojitusten kohdalla. Paksut turvekerrokset pienentävät ojituksen syventämisen vaikutusta verrattuna tilanteeseen, joissa ojat ulottuvat turvekerroksen alapuolella olevaan hyvin vettä läpäisevään hiekka- tai sorakerrokseen (ks. luku 3.3, kuva 4 ja luku 7.2.3, kuva 16). Liitteessä 6 on esitetty KUNNOS-mallin soveltaminen Rahkosenharjun pohjavesiesiintymälle, jossa osalla purkautumisaluetta hiekkakerros ulottuu maanpintaan saakka. Suunnittelijan käytössä olevan paikkakohtaisen datan avulla on mahdollista pienentää riskiä sille, että ojitus lisää oleellisesti pohjaveden purkautumista.

Peitteisillä ja keräävillä muodostumilla (piiloharjujen alueilla) pintavesien ja pohjaveden yhteys voi olla myös hyvin merkittävä. Näillä alueilla vettä hyvin läpäisevän kerroksen päällä voi olla paksut turvekerrokset, joiden läpi pintavesiä suotautuu pohjavedeksi. Käytettävissä olevissa vapaasti ladattavissa avoimissa aineistoissa ei ole tietoja turvepaksuuksista, mikä vaikeuttaa mallien kalibrointia ja lisää mallitulosten epävarmuutta.

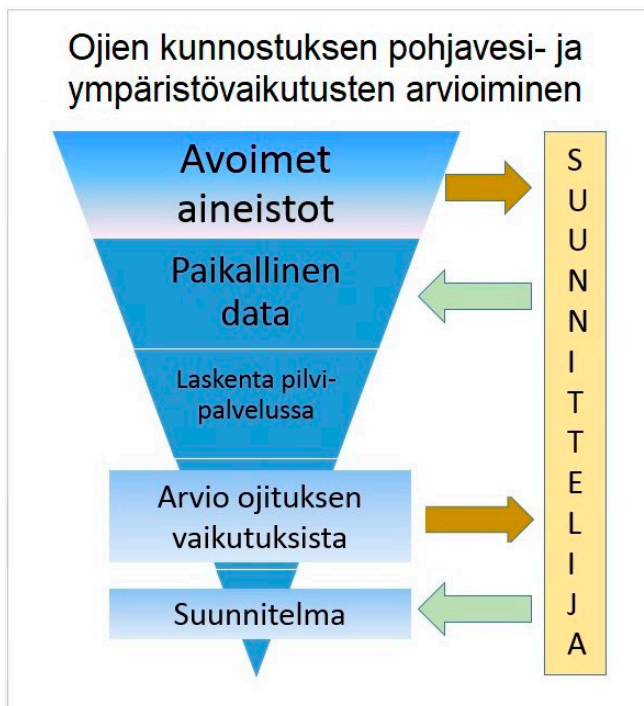
### 9.1.8 KUNNOS-mallin käyttö pilvipalvelun kautta

KUNNOS-työkalu ja siihen liittyvät ohjelmistot muodostavat palvelun, joka yhdistää avoimet ympäristöaineistot, käyttäjän omat aineistot ja hydrologiset laskentamallit laskentakehikkoon, jota voidaan käyttää pilvialustalta käsin. Pilvipalvelun avulla avoimia aineistoja ja laskentaohjelmistoja ei tarvitse asentaa käyttäjien koneelle vaan ne tallennetaan pilvialustalle. Ohjelmiston ja aineistojen päivitys tehdään vain pilvipalveluun ja muutokset siirtyvät saman tien kaikille käyttäjille.

Aineistojen ja mallien päivitystä tehdään jatkossa säännöllisesti. Esimerkiksi pohjavesialueiden rajauksia tarkistetaan uusien tutkimustietojen perusteella aika-ajoin ja muutokset päivitetään palvelun sivuille. Käyttäjän kannalta pilvipalvelun etu on se, että kaikki aineistojen ja mallien muutokset tulevat automaattisesti voimaan päivityksen jälkeisissä laskennoissa.

KUNNOS-työkalun antamia tulosteita ovat käyttäjän määrittelemän ojaston kunnostuksen sijainti paikkatieto-ohjelmien tunnistamassa tiedostomuodossa (vektorityyppinen aineisto), pohjavesialueen perustiedot, mitatut ja mallilla lasketut pohjavedenpinnan korkeudet, ojituksen vaikutus muodostuvan pohjaveden määrään ja laatuun, pohjaveden virtaussuunnat, ojitusalueilta lähtevien kulkeutumisreittien ennustaminen, pohjaveden purkautumisalueiden etsintä ja ojien kunnostuksen vaikutus kiintoaineen ja muiden vedenlaatumuuttujien pitoisuuksien kasvuun alapuolisessa vesistössä. Tarvittaessa on mahdollista tulostaa myös haavoittuvuusanalyysin kartta vektorimuotoisina tiedostoina.

KUNNOS-ohjelmisto on kehitetty niin, että sitä voidaan käyttää vain pilvipalvelun (kuva 24) kautta. Yhteys otetaan Internet-selaimella ja ohjelmistojen käynnistämiseen tarvitaan käyttäjätunnus ja salasana, joiden jakamisesta päätetään myöhemmin. Käyttäjällä on kirjautumisen jälkeen käytettävissä koko Suomen pohjavesiaineisto, laskennassa tarvittavat paikkatietoaineistot ja myös ojien kunnostuksen vaikutusten laskennassa tarvittavat mallit. Käyttäjä tarvitsee itse Excel-ohjelman, jolla tulokset voi ladata omaan tiedostoon ja tallentaa myöhempää käyttöä varten. Lisäksi tarvitaan myös yhteys johonkin paikkatietosovellukseen, joista esimerkiksi SYKEN KARPALO-karttapalvelulla voidaan katsella KUNNOS-mallin tulosteita.



**Kuva 24.** KUNNOS-työkalun käyttö ojien kunnostuksen vaikutusten arvioinnissa. Avoimista aineistoista suunnittelija saa tarvittavia lähtötietoja ja antaa lisäksi mallille lähtötietona paikallisen datan. Laskenta tehdään pilvipalvelussa ja tuloksena saadaan arvio ojituksen vaikutuksista. Tulosten perusteella suunnitelmaa voidaan tarvittaessa päivittää.



Pilvipalveluun ei voi tietoturvasyistä viedä aineistoja omasta tietokoneesta tiedostojen avulla, joten palvelun lomakkeelle on syötettävä käsin ojitusalueiden ja altistumisalueiden rajaukset. Tämä on kärsivällisyyttä ja tarkkuutta vaativa vaihe. Vain lähtötietojen kopio jää palvelimelle, joten tulosten arkistointi on käyttäjän omalla vastuulla. Joissakin tapauksissa pilvipalvelu jää organisaation palomuurin taakse, jolloin tarvitaan tietoturva-asiantuntijan apua palomuurin ohittamiseen.

## 9.2 Tarkistuslista toimintaan pohjavesialueilla

Muusta kuin vähäisestä ojituksesta on ilmoitettava ELY-keskukselle vähintään 60 vuorokautta etukäteen. Pohjavesialueella tai happamilla sulfaattimailla tapahtuvasta ojituksesta on aina ilmoitettava ELY-keskukseen. Ojituksesta ei tarvitse ilmoittaa silloin, kun ojalla on kunnossapitovelvollisuus. Ojittajan on kuitenkin tehtävä ilmoitus ojan kunnossapidosta silloin, kun ojana käytettävä uoma on ehtinyt muuttua luonnontilaisen kaltaiseksi.

Ojitusilmoituksen tarkoituksena on antaa valvontaviranomaisille mahdollisuus arvoida, tarvitseeko hanke vesilupaa tai ojitustoimitusta. Ilmoitusmenettelyllä varmistetaan, että ilmoittaja saa tarvittavaa tietoa ojituksen lupatarpeesta ja ohjausta toimenpiteiden suorittamiseen mahdollisimman haitattomasti.

Ilmoituksessa on esitettävä muun muassa tiedot perattavista ja kaivettavista uomista ja niiden sijainnista sekä ojituksen vaikutuksista ympäristöön. Metsien ojituksen osalta ilmoitus tehdään lomakkeella ”Metsäojitusilmoituslomake”, jonka täyttämisen tueksi on MEPO-hankkeessa luotu tarkistuslista.

Metsäojitusilmoituksen tarkistuslistassa käydään läpi ilmoituslomakkeen osiot

- Vesilain- ja asetuksen edellyttämä yleiskuvaus, selvitykset ja ympäristövaikutukset
- Hankkeen ympäristövaikutukset ja vaikutusalue
- Pohjavesialueet, vedenottoaikat ja kaivot

ja annetaan tietoa siitä, mistä niiden eri kohtien täyttämiseksi tarvittavaa tietoa voi hankkia. Lisäksi tarkistuslista sisältää ohjeita lomakkeen em. osioiden eri kohtien täyttämiseen ja tietojen hakemiseen avoimista tietopalveluista sekä yleistä tietoa kyseisistä aiheista.

## 10 Metsätalouden pohjavesivaikutusten seuranta

### 10.1 Metsätaloustoimenpiteiden vaikutusten tarkkailuun liittyvät velvoitteet ja lainsäädäntö

Metsätaloustoimenpiteiden pohjavesivaikutusten tarkkailuun liittyviä velvoitteita voi tulla hankkeesta vastaavalle, kun kyseessä on luvanvarainen vesitaloushanke, jossa on määritetty tarkkailuvelvoitteet. Pohjavesivaikutusten tarkkailuvelvoitteita voi sisältyä esimerkiksi metsätaloushankkeisiin, jotka vesilain perusteella tarvitsevat luvan. Vesitaloushankkeiden yleisestä luvanvaraisuudesta on säädetty vesilaissa (VL 3:2 §), jonka mukaan hankkeella on oltava lupa, mikäli se olennaisesti vähentää tärkeän tai muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesiesiintymän antoisuutta tai muutoin huonontaa sen käyttökelpoisuutta taikka muulla tavalla aiheuttaa vahinkoa tai haittaa vedenotolle tai veden käytölle talousvetenä.

Mikäli vesitaloushankkeelta ei edellytetä lupaa, se ei päädy viranomaisten valvontaan lupamenettelyjen kautta. Moni hanke tulee kuitenkin viranomaiskontrollin piiriin ilmoitusvelvollisuuden myötä, kuten vesilain 5 luvun 6 §:ssä säädetyn ojitusilmoitusvelvollisuuden ja metsälain 14 §:ssä määritetyn metsänsäilytysohjeilmoituksen kautta.

ELY-keskuksille lähetetyssä kyselyssä lokakuussa 2020 selvitettiin, onko heidän alueella ollut metsätalouteen liittyviä pohjaveden velvoitetarkkailuja 2000-luvulla. Kyselyyn vastanneista yhdeksästä ELY-keskuksesta yhdessäkään ei ollut tiedossa metsätalouteen liittyvää velvoitetarkkailua.

### 10.2 Seurannan nykytila

Metsätaloustoimien pohjavesivaikutusten seuranta on toteutettu Maa- ja metsätalouden kuormituksen vesistövaikutusten seurantaohjelmassa (MaaMet), mutta toiseksi vain kaksi ohjelman seurantakohteista on kohdistunut metsätaloustoimien vaikutuksiin. MaaMet-seurantaohjelmassa on vuosittain mukana noin 50–70 pohjavesialuetta, joiden seurantaan käytetään n. 30 000–40 000 euroa vuodessa. Pääasiassa seurantatiheys on yksi näytteenotto/vuosi, joissain kohteessa kaksi kertaa vuodessa.

Seurantaohjelmien ulkopuolella on 2000-luvulla ollut lisäksi kaksi erillistä tutkimuskohdetta, toinen hakkuiden vaikutuksista (Silkku) ja toinen turvemaiden ojitusten vaikutuksista (Rokuanharju).

## 10.3 Ojien kunnostuksen vaikutusten seuranta

Ojien kunnostuksen pohjavesivaikutusten seuranta on toistaiseksi toteutettu vain Kokkolassa Patamäen pohjavesialueella. Seuranta on aloitettu vuonna 2016 edellisen vuoden syksynä toteutetun ojien kunnostuksen jälkeen. Pohjavedestä näytteenottoja on tehty koko seurannan ajan kahdesta havaintoputkesta ja ojanäytteenottoja kahdesta paikasta. Näytteenoton frekvenssi on ollut suurin vuonna 2017 sekä pohjavesi että ojanäytteiden osalta ja frekvenssiä on sittemmin vähennetty. Lisäksi alueella on ollut käytössä mallinnuksessa KUNNOS-työkalu, josta tarkemmin luvussa 9. Seuranta on koskenut pohjaveden pinnankorkeutta ja vedenlaatua. Vedenlaadun osalta on tutkittu perusmuuttujien (happi, pH, lämpötila, kemiallinen hapenkulutus, sähkönjohtavuus) lisäksi tyyppiyhdisteitä, fosforia ja laajasti eri metalleja. Patamäen seurannan tuloksia käsitellään luvuissa 7.2.1–7.2.2.

Lisäksi Rokuanharjun pohjavesialueella on tehty tutkimuksia vuodesta 2009 lähtien suon ja pohjavesialueen hydrologisista kytköksistä. Rokuan tutkimustuloksia käsitellään luvuissa 7.2.3–7.2.5.

Pohjavesialueen hydrogeologisilla olosuhteilla on merkittävä rooli ojien kunnostuksen vaikutuksella pohjaveden laatuun ja määrään. Sekä Patamäen että Rokuan pohjavesialueet ovat pääasiassa antikliinisiä eli pohjavettä purkavia. Synkliinisiltä, eli ympäristöstään vettä keräävillä pohjavesialueilla, vastaavia ojien kunnostuksen vaikutusten seurantatuloksia ei ole. Pohjavettä purkavilla alueilla voidaan olettaa ojituksen ja ojien kunnostuksen vaikutuksen kohdistuvan enemmän pohjaveden määrään kuin laatuun ja pohjavettä keräävillä alueilla laatuvaikutusten voidaan olettaa olevan vastaavasti suuremmat. On kuitenkin huomioitava, että pohjavesialueilla on usein sekä antikliinisiä että synkliinisiä alueita, mikä tulisi huomioida seurantaa järjestettäessä.

## 10.4 Kulotuksen vaikutusten seuranta

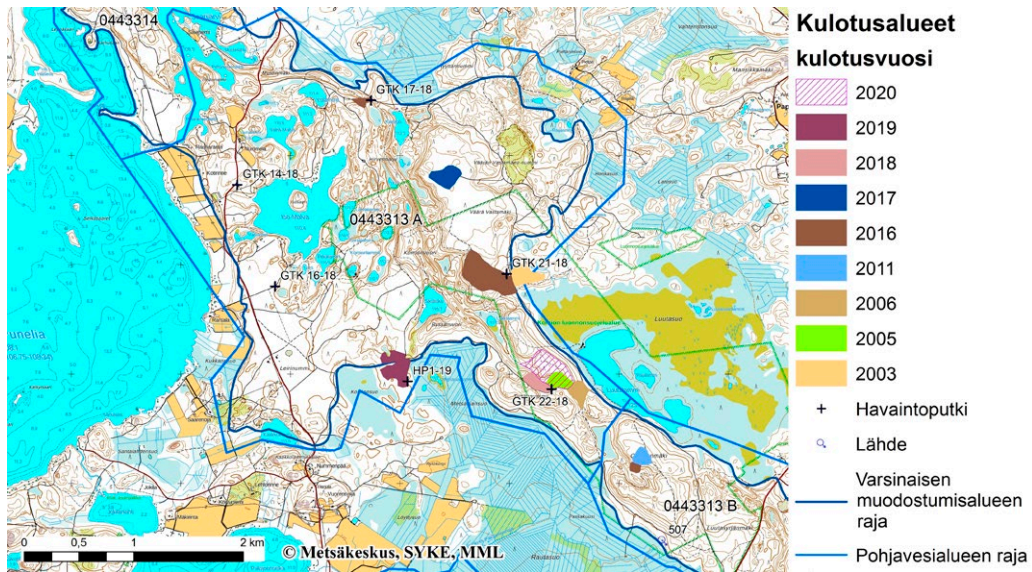
Kulotuksen vaikutusten seuranta pohjavesialueilla on toistaiseksi tehty Lopella Komion alueella, Iso-Malva A ja B pohjavesialueilla alkaen vuodesta 2019. Metsähallitus ja UPM ovat tehneet luonnonhoitohankkeina useita kulotuksia vuosien 2003–2018 aikana. Metsähallitus toteutti kulotuksen alueella vuonna 2020 ja lisäksi Iso-Malva A

pohjavesialueella toteutettiin kulotus Suomen metsäkeskuksen ja yksityisen maanomistajan toimesta keväällä 2019. Kyseiset pohjavesialueet eivät ole yhdyskuntien vedenhankintakäytössä eikä kulotusalueiden läheisyydessä ole myöskään yksityisiä talousvesikaivoja.

Seurannassa hyödynnetään pohjavesialueilla jo olemassa olleita neljää havaintoputkea sekä kulotuksen seurantaan varten tammikuussa 2019 asennettua uutta havaintoputkea (kuvat 25 ja 26). Taustapitoisuusnäytteet otettiin vuonna 2019 putkista GTK 14-18 ja GTK 16-18 arvioidun kulotuksen vaikutusalueen ulkopuolelta. PAH-yhdisteitä ei analysoitu tammikuussa 2019 ennen kulotusta vaan ensimmäiset PAH-analysit tehtiin toukokuussa 2019. Näytteenotot on toteutettu taulukon 5 mukaisesti. Analysoidut muuttujat on esitetty taulukossa 6.



**Kuva 25.** Kulotettua metsää Komion luonnonsuojelualueella. Kuva: Petri Siiro.



**Kuva 26.** Komion kulotusalueet ja havaintoputket.

**Taulukko 5.** Kulotusten ja näytteenottojen ajankohdat.

Kulotusalue	Kulotusvuosi	Näytteenottopiste	Näytteenotto
Yölammit	2016	GTK 17-18	1/2019, 9/2019, 9/2020
Lutasuo	2003, 2016	GTK 21-18	1/2019, 9/2019, 9/2020
Tuhkanummi	2005, 2016, 2018, 2020	GTK 22-18	1/2019, 9/2019, 9/2020
Oikkaanmäki	2011, 2016	GTK 25-17/ Lähde 507	1/2019, 9/2019, 9/2020
Komionsuo	2019	HP1-19	1/2019, 9/2019, 9/2020
Taustapitoisuusnäytteet		GTK14/18	1/2019
		GTK 16-18	1/2019

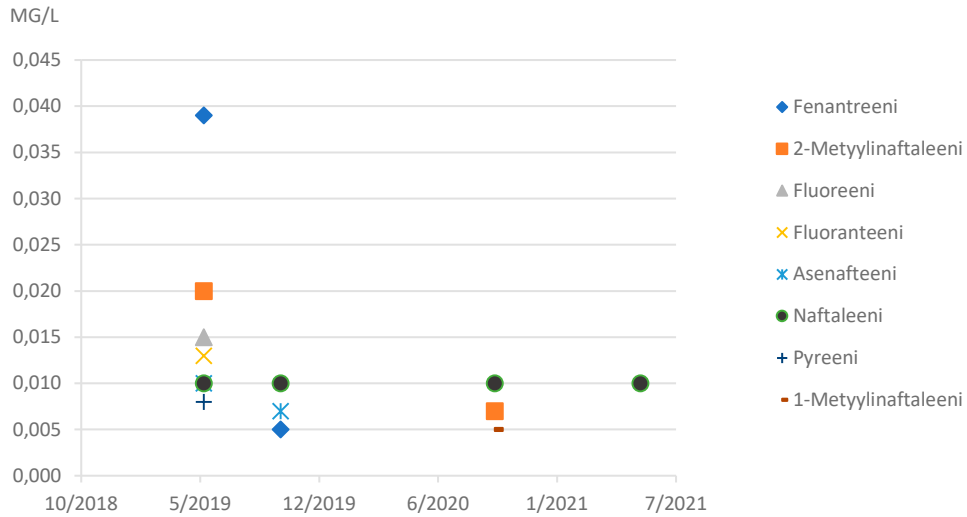


**Taulukko 6. Kulotuksen vaikutusten seurannassa analysoidut muuttujat.**

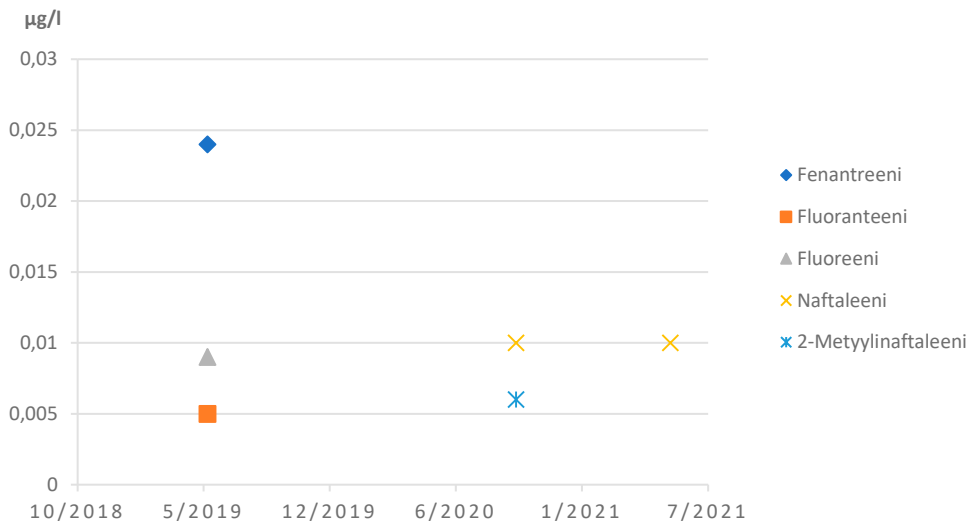
<b>Perusmuuttujat</b>	Alkaliniteetti, hapen kyllästysaste, liukoinen happi, kemiallinen hapenkulutus, kloridi, lämpötila, mangaani, pH, rauta, sameus, sulfaatti, sähkönjohtavuus, väriluku
<b>Ravinteet</b>	Ammoniumtyppi, fosfaattifosfori, nitraattityppi, nitriittityppi
<b>PAH-yhdisteet</b>	PAH-muuttujapaketti 44 yhdistettä

Vuosina 2019 ja 2020 toteutettujen kulotusten läheisistä havaintoputkista havaittiin pieniä PAH-pitoisuuksia vuoden 2019 näytteissä (mm. Fenantreeni 0,04 µg/l, 2-Metyyli-naftaleeni 0,02 µg/l). Kummassakaan havaintopaikassa ei vuonna 2020 näytteissä ollut yli 0,01 pitoisuuksia (kuvat 27 ja 28). Naftaleenin osalta on epäselvää, ovatko havainnot todellisia pitoisuuksia. Huomioitavaa muiden havaintoputkien tuloksista on mm. se, että taustapitoisuutta tutkituista putkista, joilla ei oletettu näkyvän kulotuksen vaikutuksia, on havaittu toukokuussa 2019 otetusta näytteistä useita PAH-yhdisteitä, joista korkein pitoisuus oli fenantreenilla (0,04 µg/l). Lisäksi havaintoputkesta GTK 17-18 havaittiin niinkään toukokuun 2019 näytteenotoissa kuutta eri PAH-yhdistettä, joista korkeimmat pitoisuudet olivat fenantreenilla (0,04 µg/l) ja 2-metyyli-naftaleenilla (0,03 µg/l). Kyseisen havaintoputken läheisyydessä on toteutettu kulotus vuonna 2016 ja havaintoputki sijaitsee melko kaukana vuoden 2019 kulotusalueesta. Vuonna 2020 GTK 17-18 putkesta havaittiin enää naftaleenia (0,01 µg/l) ja 2-metyyli-naftaleenia (0,006 µg/l).

Iso-Malvan (0443313 B) pohjavesialueen puolelta on laatuhavainnot vain lähteestä (507). Vedenlaadussa näkyy poikkeuksena vain vuoden 2021 toukokuun näytteissä 1-metyyli-naftaleeni (0,006 µg/l) ja 2-metyyli-naftaleeni (0,005 µg/l) sekä naftaleeni (0,01 µg/l) syyskuussa 2020 ja toukokuussa 2021. Lähdeistä lähimmät kulotukset ovat vuosilta 2011 ja 2016 (kuva 26).



**Kuva 27.** PAH-yhdisteiden pitoisuuksia havaintoputkesta HP1-19, jonka läheisyydessä toteutettiin kulotus vuonna 2019. Kuvassa mukana vain määrittäysrajan ylittävät tulokset. Toukokuun 2019 analyysit merkitty epävarmoiksi.



**Kuva 28.** PAH-yhdisteiden pitoisuuksia havaintoputkesta GTK 22-18, jonka läheisyydessä toteutettiin kulotus vuonna 2020. Kuvassa mukana vain määrittäysrajan ylittävät tulokset. Toukokuun 2019 analyysit merkitty epävarmoiksi.

## 10.5 Hakkuiden vaikutusten seuranta

Hakkuiden vaikutusten kohdennettua seuranta pohjavesialueilla on selvitysten perusteella toteutettu vain Huosiissärkän pohjavesialueella Pohjois-Karjalassa Silkun alueella vuosina 2002–2009. Tutkimushanke on kohdistunut avohakkuiden vaikutuksiin.

Hakkuiden vaikutuksia on lisäksi selvitetty tässä hankkeessa paikkatietohaulla, joka kohdistettiin pohjavesihavaintopaikkoihin, jotka sijaittivat hakkuualueilla. Lisäksi tarkasteltiin valtakunnallisen pohjaveden seuranta-asemien havaintoja ja hakkuuajan kohtien vaikutuksia pitoisuuksiin.

- Paikkatietohaussa käytettiin seuraavia aineistoja:
- Corine maanpeitemuutokset; metsänhakkuu 2000–2006, 2006–2012, 2012–2018
- Metsänkäyttöilmoitukset (Suometsänhoidon paikkatietoaineistot, Metsäkeskus ja Tapio)
- Pohjavesialueet
- Pohjaveden seuranta-asetat (sisältäen VHS-seurannan)
- Pohjaveden havaintopisteet

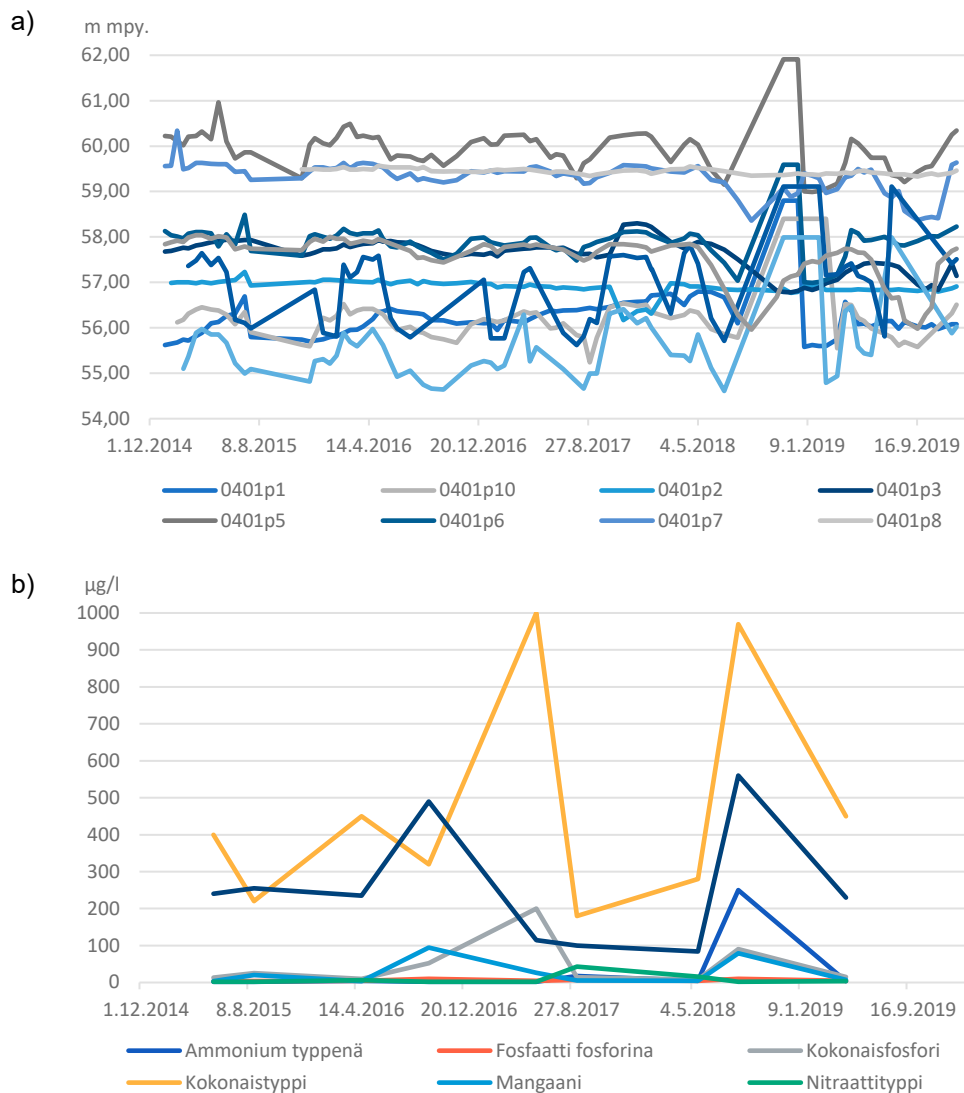
Metsänhakkuuosuuksia tarkasteltiin pohjavesialueittain sekä muodostumisalueittain. Pohjavesialueista muodostettiin omat tasot, joissa hakkuiden osuus pohjavesialueesta oli yli 20 % ja muodostumisalueesta yli 30 %. Pohjaveden havaintopaikoista valittiin paikat, joista oli yli 20 laatuhavaintoa ja havaintopiste sijaitsi alle 200 metrin päässä hakkuusta. Tarkastelun perusteella havaintopaikkojen tuloksissa voidaan nähdä mahdollisia vaikutuksia, mutta jälkikäteen on vaikea osoittaa niiden johtuvan hakkuista, sillä niiden tarkka ajankohta ei ole tiedossa.

Soranoton vaikutusten pitkän ajan seurantakohteissa on myös mahdollista nähdä metsänhoitotoimien vaikutuksia. Raportissa Pohjaveden laadun muutokset soranottoalueilla 1985–2013 (Rintala 2014) on epäilty metsänhoitotoimien vaikuttaneen osin Palaneenmäen (Tuusula), Salmenmäen (Nurmijärvi) ja Lanneveden (Saarijärvi) havaintopaikkojen veden laatuun. Soranotto-kohteissa puuston poiston ajankohta on usein tarkemmin tiedossa ja pitkän ajan seurantatulokset takaavat hyvän lähtökohdan vaikutusten havaitsemiseksi.

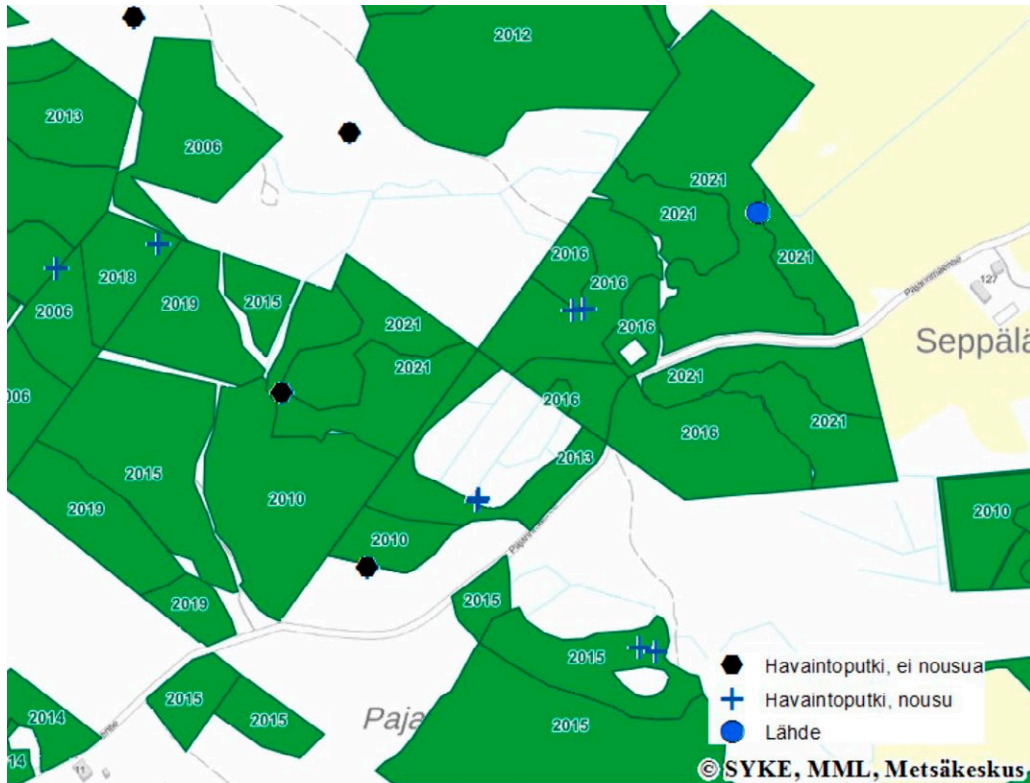
Valtakunnallisilla seuranta-asetilla vuosina 1975–1999 tehtyjen havaintojen perusteella, osassa asemia on todettu hakkuiden mahdollisesti näkyvän veden laadussa kohonneina nitraattipitoisuuksina (Soveri et al. 2001). Valtakunnallisten seuranta-asettien osalta käytiin läpi 19 seuranta-asetmaa, joissa oli tiedossa lähistöllä tehtyjä hakkuuta 2000-luvun aikana. Näistä neljä asetmaa oli myös niiden joukossa, joissa epäiltiin



hakkuiden vaikuttaneen veden laatuun vuosien 1975–1999 aineiston perusteella. Läpikäytyjen seuranta-asemien osalta tarkasteltiin vastaavasti metsänkätöilmoitusten perusteella tehtyjen hakkuiden ajankohtaa ja vertailtiin pitoisuuksia ja pohjaveden pinnan korkeuden muutoksia. Kyseisestä seuranta-asemajoukosta ainoastaan Elimäen seuranta-asemalla Kouvolassa oli nähtävissä mahdollinen yhteys hakkuiden ja pohjaveden pinnan korkeuden sekä laadun välillä (kuva 29), mutta selvää syy-seuraus yhteyttä on vaikea osoittaa. Kyseisellä alueella on ollut avohakkuita vuosina 2006, 2010, 2012, 2013, 2018 ja 2019 (kuva 30), mutta vain vuonna 2018 näkyy selvemmin pohjavesipintojen nopea nousu ja samaan ajankohtaan osuu vedenlaadussa nousua erityisesti ammoniumin, raudan, mangaanin ja fosforin osalta.



**Kuva 29.** Pohjaveden a) pinnankorkeuden ja b) laadun kuvaajat Elimäen seuranta-ase-  
malta.



**Kuva 30.** Elimäen seuranta-aseman havaintopaikat ja metsänkayttöilmoituksiin perustuvat hakkuuajankohdat. Laatu on seurattu lähteestä. Kartassa eroteltu havaintoputket, joissa näkyi pinnankorkeuden nousu 2018 syksyllä.

Paikkatietotarkastelun lisäksi on tiedossa, että Puumalassa Pistohiekankankaan pohjavesialueella sijaitsevalla seuranta-asemalla on tunnistettu hakkuiden vaikutuksia nitraattipitoisuuksien nousuun.

## 10.6 Suositukset seurannan järjestämisestä

Tällä hetkellä metsätaloustoimenpiteiden pohjavesivaikutuksista Suomessa on hyvin vähän seurantaan perustuvaa tietoa. Parhaiten tietoa on hakkuiden vaikutuksesta, vaikka Suomessa ei kovin runsaasti tästäkään ole seurantatietoa pohjavesialueilta. Tästä syystä tarvitaan lisää tutkimuksellista seuranta, joka antaisi lisätietoa seurannan suunnittelua varten tulevaisuudessa. Kaiken pohjavesitutkimuksen ja seurannan vaikutusten luotettavuuden ja tulkitsemisen kannalta on ehdottoman tärkeää, että tiedetään lähtötilanne ennen toimenpiteitä. Kuten edellä on todettu, 2000-luvulla ei ole tunnistettu luvanvaraisia metsätaloustoimenpiteitä eikä niillä sitä myötä ole ollut velvoitteita vaikutusten tarkkailuun. Ilmoitusmenettelyn kautta seurattavia kohteita tulee

kuitenkin ELY-keskusten tietoon ja tätä kautta on mahdollista yhteistyössä toimijoiden kanssa saada alueelle seurantaa, mutta useinkaan ei ole ollut mahdollista aloittaa seurantaa ennen toimenpiteitä. Viranomaisten ja toimijoiden välinen yhteistyö on hyvää ja sitä on syytä jatkaa ja tiivistää uusien seurantakohteiden suunnittelussa, jotta seuranta voidaan toteuttaa parhaiden käytäntöjen mukaisesti.

### 10.6.1 Ojien kunnostuksen vaikutusten seurannan järjestäminen

Ojien kunnostuksen vaikutuksen osalta olisi tärkeää saada lisää tutkimustietoa etenkin alueilta, jossa vettä kerääntyy ympäristöstä. Tällä hetkellä puuttuu ojien kunnostamisen vaikutusten todentamiseksi olennaisena osana korkeus- ja laatutiedot ennen toimenpiteisiin ryhtymistä.

Seurannan järjestäminen tulevaisuudessa kannattaa mahdollisuuksien mukaan kohdentaa alueille, joilla on olemassa havaintoverkostoja. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista havaintoverkoston puuttuessa kokonaan tai se on vajavainen, eikä välttämättä edustava vaikutusten tarkkailun kannalta. Tästä syystä lähitulevaisuudessa on syytä panostaa havaintoverkoston perustamiseen sitä myötä, kun ojituseräilyjen kautta uusista kohteista tulee tietoa. Ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista asentaa uusia putkia kaikkiin kohteisiin, vaan valikoiduille alueille, joilla voidaan hydrogeologisten olosuhteiden perusteella olettaa vaikutusta tapahtuvan. Tässä arvioinnissa kannattaa käyttää KUNNOS-työkalua mahdollisuuksien mukaan.

#### 10.6.1.1 Seurattavat parametrit

Ojitusten kunnostuksen vaikutusten seurannassa on suositeltavaa seurata pohjaveden pinnakorkeutta ja vedenlaatua. Pinnankorkeuden seuranta tulisi seurata aina. Pohjaveden purkautumista voidaan tarvittaessa selvittää lämpökamerakuvauksin, isotooppitutkimuksilla tai piidioksidikoostumuksen avulla. Vedenladun osalta voidaan seurattavat parametrit jakaa niihin, joita tulisi joka kohteessa seurata ja niihin, joiden seuraamista voidaan harkita. Taulukossa 7 on esitetty suositukset kunkin muuttujan seurannasta.

**Taulukko 7. Suositukset ojituksen kunnostuksen vaikutusten seurannan muuttujista.**

Muuttuja	Tarpeellisuus	Muuttuja	Tarpeellisuus
Korkeus	Aina	Mangaani	Aina
Hapen ja vedyn isotoopit	Tarvittaessa	Elohopea	Suosittelava
Piidioksidi	Tarvittaessa	Kalium	Suosittelava
pH	Aina	Kalsium	Suosittelava
Lämpötila	Aina	Kadmium	Suosittelava
Happi	Aina	Kupari	Suosittelava
Kemiallinen hapenkulutus	Aina	Koboltti	Suosittelava
Orgaaninen hiili	Aina	Nikkeli	Suosittelava
Sulfaatti	Aina	Lyijy	Suosittelava
Nitraatti	Aina	Arseeni	Suosittelava
Ammonium	Aina	Seleeni	Suosittelava
Fosfori	Aina	Uraani	Suosittelava
Alumiini	Suosittelava	Vanadiini	Suosittelava
Rauta	Aina		

## 10.6.2 Kulotuksen vaikutusten seurannan järjestäminen

Kulotuksen vaikutusten seuranta jatkuu Komion luonnonsuojelualueella Metsähallituksen toimesta. Havaintopaikkojen verkosto alueella on melko hyvä ja sitä voidaan tarpeen mukaan tulevaisuudessa täydentää. Alueella on toteutettu useita kulotuksia ja seuraava kulotus on suunniteltu vuodelle 2023. Tarvetta on kuitenkin saada muitakin kulotuskohteita tutkimuksen ja seurannan piiriin, sillä yhden pohjavesialueen tulosten perusteella ei voida tehdä pitkälle vietyjä johtopäätöksiä kulotuksen pohjavesivaikutuksista.

### 10.6.2.1 Seurattavat parametrit

Kulotuksen seurannan osalta perusparametrien ja PAH-yhdisteiden ohella suositeltavaa on analysoida ravinteet (taulukko 8). PAH-yhdisteille on tarjolla laaja analyysipaketti. Seurantatulosten perusteella seuraavat PAH-yhdisteet kannattaa vähintään sisällyttää seurantaan:

- 1-Metyyli-naftaleeni, 2-Metyyli-naftaleeni, Ase-nafteeni, Fenantreeni, Fluorantreeni, Fluoreeni, Naftaleeni, Pyreeni

#### Taulukko 8. Suositukset kulotuksen pohjavesivaikutusten seurannan muuttujista.

Muuttuja	Tarpeellisuus
Korkeus	Suosittelava
Perusparametrit*	Aina
PAH-yhdisteet	Aina
Nitraatti	Suosittelava
Ammonium	Suosittelava
Fosfori	Suosittelava
Metallit	Suosittelava

\* Alkaliniteetti, hapen kyllästysaste, liukoinen happi, kemiallinen hapenkulutus, kloridi, lämpötila, mangaani, pH, rauta, sameus, sulfaatti, sähkönjohtavuus, väriluku

### 10.6.3 Hakkuiden vaikutusten seurannan järjestäminen

Seuranta hakkuiden vaikutusten osalta on syytä järjestää muiden metsätaloustoimenpiteiden vaikutusten ohella. Hakkuiden vaikutukset pohjaveteen 2000-luvulla luvussa 10.2.3 tehdyn tarkastelu perusteella eivät kuitenkaan ole osoittautuneet kovin merkittäväksi, joten seurantaverkosta ei ole tarpeen tehdä laajaa. Valtakunnalliset seuranta-asemat ovat hyviä paikkoja hakkuiden vaikutusten seurantaan ja uutta seuranta-kohdetta suunnitellaan parhaillaan Pohjois-Savoon uuden perustettavan seuranta-aseman yhteyteen. Hakkuiden pohjavesivaikutusten seurannassa keskeisimmät huomioitavat muuttujat ovat ravinteet, erityisesti nitraatti (taulukko 9).

**Taulukko 9. Suositukset hakkuiden pohjavesivaikutusten seurannan muuttujista.**

Muuttuja	Tarpeellisuus
Korkeus	Aina
Perusparametrit*	Aina
Nitraatti	Aina
Ammonium	Aina
Fosfori	Aina
Metallit	Suosittelava

\* Alkaliniteetti, hapen kyllästysaste, liukoinen happi, kemiallinen hapenkulutus, kloridi, lämpötila, mangaani, pH, rauta, sameus, sulfaatti, sähkönjohtavuus, väriluku

## 10.7 Seurannan toteuttaminen ja rahoitus

Metsätalouden pohjavesivaikutusten seurannan järjestämistä tulevaisuudessa on syytä tarkastella kahdesta näkökulmasta. Edellä on todettu, että olemassa olevia seuranta-kohteita ja tutkittua tietoa metsätaloustoimien pohjavesivaikutuksista on vähän. Seurannan käynnistäminen uusissa kohteissa vaatii todennäköisesti investointeja, mikäli siihen liittyy havaintoputkien asentamista. Lisäksi kun halutaan selvittää tietyn toiminnan vaikutuksia pohjaveden laatuun ja määrään, analytiikkaa on oltava melko laajasti ja näytteenottoja on syytä toteuttaa alkuvaiheessa tiheästi. Tästä syystä seurannan toteuttamisesta puhuttaessa on tärkeää erotella erilliset tutkimushankkeet ja harvemmalla frekvenssillä ja rotaatiolla toteutettava seuranta.

Synergioiden tunnistaminen tutkimushankkeiden ja seurantojen kannalta on tärkeää. Esimerkkeinä mainittakoon Helmi-elin ympäristöohjelma 2021–2030, joka kytkeytyy Kansalliseen metsästrategiaan 2025 ja hallitusohjelman kirjaukseen edistää talousmetsien luonnonhoitoa, kuten kulotusta. Valtioneuvoston periaatepäätöksen mukaisesti Helmi-ohjelmassa toteutetaan noin 750 hehtaaria ennallistamispoltoja ja karuunnuttamiskulotuksia. Näihin kohteisiin olisi erittäin hyödyllistä lisätä kohde, jossa pohjavesivaikutuksia voidaan tutkia ja seurata.

Maaperäolosuhteista riippuen, pohjavesiolosuhteita ja eri toimintojen pohjavesivaikutuksia voidaan tutkia myös luokiteltujen pohjavesialueiden ulkopuolella. Valtakunnallisista pohjaveden seuranta-asetuksista osa sijaitseekin pohjavesialueiden ulkopuolella ja Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen toteuttamassa MORE-hankkeessa kartoitettiin mo-

reenialueilla sijaitsevia luonnontilaisia lähteitä edustaviksi taustapitoisuuden seuranta-paikoiksi (Laitamäki 2019). Geologian tutkimuskeskuksen toimesta ollaan lisäksi perustamassa eri toimijoita hyödyntäviä pohjaveden seurantapaikkoja, joita voitaisiin mahdollisesti hyödyntää taustapitoisuuksien seurannassa.

### 10.7.1 MaaMet-seuranta

Uusia metsätalouden pohjavesivaikutusten seurantakohteita on luontevaa lisätä sitä varten olemassa olevaan MaaMet-seurantaohjelmaan, sikäli kun näytteenottotiheysdeksi riittää 1–2 kertaa/vuosi. MaaMet-seurannassa on käytössä paikkojen rotaatio, jota voidaan hyödyntää myös metsätalouskohteiden mahduttamisessa mukaan ja soveltaa niidenkin seurannassa. Ojien kunnostamisen vaikutuksia on toisaalta tarve selvittää tarkemmin erillisenä tutkimushankkeena, mutta potentiaalisia seurattavia kohteita voidaan ottaa myös MaaMet-seurantaan suppeammallakin havaintoverkolla, analyysivalikoimalla ja näytteenottotiheydellä.

### 10.7.2 Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkosto

Luonnonvarakeskuksen (Luke) ylläpitämä seurantaverkosto koostuu luonnontilaisista ja normaalissa metsänkäytössä olevista valuma-alueista. Seuranta ei toistaiseksi ole toteutettu pohjavesialueilla, mutta tämän hankkeen yhteydessä toteutetun paikkatieto-tarkastelun perusteella pohjavesialueita sijaitsee viiden Metsätalouden vesistökuormituksen seurantaverkoston seuranta-alueen läheisyydessä:

- Huhtisuonoja
- Katajaluoma
- Kotioja
- Laanioja
- Mustospuro

Näiden alueiden osalta tulisi tarkemmin selvittää, onko pohjavesivaikutusten seuranta mahdollista ja tarkoituksenmukaista. Erityisesti lähteitä on hyvä kartoittaa potentiaalisina seurantakohteina.

Pohjavesialueita sijaitsee myös 10 km etäisyydellä seuraavista seurantaverkon mittauspadoista:

- Pohjois-Suomi: Iittovuoma, Laanioja, Lompolojängänoja, Vähä-Askanjoki, Yljoki Kotioja
- Länsi- ja Sisä-Suomi: Pahkaoja, Mustospuro, Pakopirtti, Helvetinjärvi, Susimäki, Paunulanpuro, Katajaluoma
- Itä-Suomi: Korpijoki, Kivipuro, Porkkavaara, Liuhapuro, Kelopuro, Kohisevapuro, Kesselinpuro, Sumui
- Lounais- ja Etelä-Suomi: Kroopinsuo, Rantainrahka, Ojakorpi, Nuuksio, Rudbäcken ja Huhtisuonoja

Näiden mittauspatojen lähellä sijaitsevien pohjavesialueiden osalta tulisi tarkemmin selvittää, onko pohjavesivaikutusten seuranta mahdollista ja tarkoituksenmukaista erityisesti lähteistä. Mittauspatojen läheisyys voisi tuoda synergiaa ja kohtuullistaa näytteenoton kustannuksia.

### 10.7.3 Toiminnanharjoittajien toteuttama vapaaehtoinen tarkkailu ja yhteistarkkailu

Uusien seurantakohteita yhteydessä on aina syytä selvittää olemassa olevat havaintopaikat, niillä tehtävät tarkkailut ja mahdollisuudet yhteistarkkailun järjestämiseen. Vesilaitoksilla on vesilain (587/2011) mukaisesti vedenottolupiin ja vesihuoltolakiin (119/2001 VHL) perustuvia tarkkailuvelvoitteita ja ne tekevät mahdollisesti myös vapaaehtoista pohjaveden ennakkotarkkailua. Lisäksi pohjavesitarkkailuja suorittavat toiminnanharjoittajat, joilla voi olla mm. ympäristölupien tai maa-aineslupien mukaisia pohjaveden tarkkailuvelvoitteita. Maa-aineslupiin liittyvät tarkkailupaikat ovat erityisesti sellaisia, joissa yhteistarkkailu metsätalouden vaikutusten kannalta voisi olla hyödyllistä. Pohjavesien yhteistarkkailun järjestäminen on kuvattu tarkemmin Kivimäen ym. (2017) julkaisussa.

### 10.7.4 Valtakunnallisten seuranta-asemien seurantaverkko

Yhdennetty valtakunnallinen pohjavesiseurantaverkko tuottaa geohydrologista perustietoa pohjaveden pinnankorkeuden vaihteluista, laadusta ja muodostumisesta mahdollisimman luonnontilaisilta alueilta. Valtakunnallisten pohjaveden seuranta-asemien vedenlaatutuloksia on osittain käytetty luontaisina taustapitoisuuksina. Ihmisen toiminnan vaikutukset, kuten metsätaloustoimet, näkyvät kuitenkin monin tavoin näiden aseminen seurantasarjoissa. Pohjaveden laatua seurataan pääsääntöisesti 2–4 kertaa vuodessa aseman yhteydessä olevasta lähteestä tai havaintoputkesta. Säännöllisen



havainnoinnin takia seuranta-asemat ovat hyviä kohteita tutkia metsätaloustoimien vaikutuksia. Haasteena on kuitenkin tiedonkulku tehdyistä metsätaloustoimenpiteistä, esimerkiksi Metsäkeskuksiin toimitettavat metsänkäyttöilmoitukset ovat voimassa kolme vuotta eli toimenpiteiden toteus tapahtuu tuon kolmen vuoden aikana.

### 10.7.5 Ekosysteemien seuranta

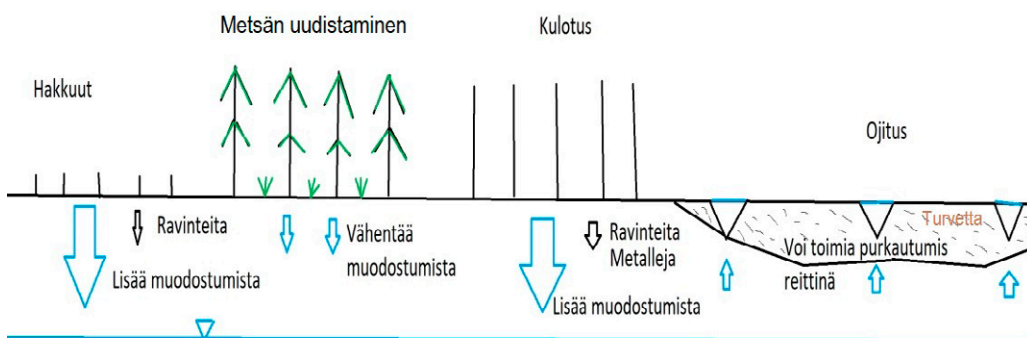
Metsätalouden pohjavesivaikutusten seurannassa on aina syytä huomioida myös toimenpiteen vaikutusalueella sijaitsevat pohjavedestä riippuvaiset ekosysteemit. Keskeisimpänä vaikutuksena on pohjaveden määrän tai muodostumisen heikentyminen ja siksi pohjaveden pinnankorkeuden tason ja sen vaihtelun seuranta ja vaikutukset lähdevirtaamiin tulisi huomioida seurannassa. Vedenlaadun osalta erityisesti nitraattityppipitoisuuden seuranta on tärkeää lähdelajiston ja bakteerien kannalta.

# 11 Tulokset ja johtopäätökset

## 11.1 Pohjavesivaikutukset

Luokiteltuja pohjavesialueita on Suomen pinta-alasta 4 %. Metsätalous on merkittävin maankäyttömuoto pohjavesialueilla, sillä metsätalousmaata on alueilla 86 %. Osa metsätalousmaasta on kitu- ja joutomaata, joilla metsätaloutta ei aktiivisesti harjoiteta puuston vähyden takia, varsinaisen metsämaan osuus pohjavesialueiden maankäytöstä on 67 %. Suurin osa metsämaasta on kangasmetsiä, turvemetsämaata on 7 %. Eniten pohjavesialueiden turvemetsämaita on Pohjois-, Länsi- ja Sisä-Suomessa ja vähiten Lapissa ja Lounais-Suomessa.

MEPO-hankkeessa tarkasteltiin metsänhoitotoimenpiteitä erityisesti ojien kunnostukseen, puunkorjuuseen ja metsän uudistamiseen liittyen. Metsien luonnonhoidon osalta mukana tarkastelussa oli myös kulotus (kuva 31). Lisäksi huomioitiin metsäautoteiden mahdolliset vaikutukset pohjaveden laatuun ja määrään. Omana erityispiirteenään tarkasteltiin hankkeessa happamia sulfaattimaita, vaikka pinta-alallisesti niiden määrä on pohjavesialueilla hyvin pieni. Paikallisesti näiden alueiden merkitys rannikkoalueiden maanmuokkauksen ja pohjavedenpinnan alentamisen yhteydessä on kuitenkin suuri, sulfidisedimenttien aiheuttamien happamoitumishaittojen takia. Suurinta haittaa happamoituneet metallipitoiset vedet voivat aiheuttaa vesieliöstölle.



**Kuva 31.** Havainnollistava kuva eri metsätaloustoimenpiteiden vaikutuksista pohjaveden määrään ja laatuun. Lähde: Jussi Keräsen DI työn pohjalta muokattu.

Hankkeessa tehdyn paikkatietoanalyysin pohjalta vuotuisesta hakkuualasta (167 000 ha) noin 2,2 % tehdään pohjavesialueilla (3 700 ha). Vuosittain hakkuut kattavat pohjavesialueiden pinta-alasta 0,3 %. Puuston poistaminen lisää pohjaveden määrää alueella ja voi siten nostaa pohjavedenpintaa ja lisätä pohjaveden purkautumista ja virtaamia reuna-alueilla ja lähteissä. Hakkuutähteistä, kuolleesta pintakasvillisuudesta sekä myös maan orgaanisesta aineesta vapautuu liukoisia ravinteita ja hiiltä enemmän kuin alueelle jäänyt eliöstö pystyy käyttämään. Ylijäämä liukoista ravinteista huuhtoutuu tai suotautuu sadeveden mukana pohjaveteen. Suomalaisissa tutkimuksissa havaitut nitraattityypipitoisuudet ovat hakkuun jälkeen vaihdelleet 0,07–0,97 mg/l. Ruotsalaisessa tutkimuksessa maa- ja pohjaveden pitoisuuden enustettiin kohoavan päätehakkuun jälkeen enimmillään arvoon 7 mg/l. Hakkuun jälkeen on havaittu myös pohjaveden lämpötilan kohoavan maan lämpenemisen seurauksena.

Pohjavesialueilla on 5 % ojitettuja turvemetsämaata ja pohjavesialueiden reuna-alueilla (40 m leveä vyöhyke) 8 %. Ojien kunnostus on näillä alueilla luvanvaraista. Päätehakkuiden jälkeen ojien kunnostus ja vedenpinnan alentaminen voi olla edellytys uuden puusukupolven aikaansaamiseksi. Metsäojien kunnostuksen vaikutuksiin pyrittiinkin hankkeessa kiinnittämään erityistä huomiota. Tarkastelun vaikeutena kuitenkin oli, että tutkimus- tai seurantatietoa oli niukalti saatavilla niin Suomesta kuin ulkomailtakin. Myöskään päätehakkuita välttävän jatkuvapeitteisen metsänkasvatuksen vaikutuksista pohjaveteen ei ole tutkittua tietoa, mutta se voisi olla potentiaalinen mahdollisuus ylläpitää riittävää haihduntaa ja pohjavedenpinnan alenemaa ilman ojien kunnostuksia.

Hankkeen ojitettuja alueita koskevien tapaustarkastelujen osalta haasteena oli, että pohjaveden laadun ja pohjavesipinnan lähtötilanteista ei ollut tietoa. Tutkimustuloksissa näkyvät myös alueilla tehtyjen muiden kuin ojitusten pohjavesivaikutukset. Tämän vuoksi tuloksia itse ojituksen vaikutuksesta voidaan näiltä osin pitää vasta alustavina.

Patamäen alueella avohakkuun ja sen jälkeisen ojien kunnostuksen vaikutuksia seurattiin 3–6 kertaa vuodessa sekä ojavesistä että pohjaveden havaintoputkista otettujen vesinäytteiden perusteella. Vesinäytteenoton yhteydessä havaintoputkista mitattiin myös pohjavedenpinnan taso. Pohjavedenpinta laski seurantajaksolla ojien kunnostuksen jälkeen 30–40 cm. Tuloksessa on huomioitu kuivien vuosien aiheuttama yleinen pohjavedenpinnan lasku alueella. Ojiin purkautuvat vedet olivat isotooppiselvitysten perusteella pääosin pohjavettä. Pohjaveden fosfaattifosforipitoisuuksissa oli havaittavissa nousevaa trendiä, joka voi johtua hakkuutähteiden hajoamisesta. Hakkuun myötä poistetun puuston varjostuksen vaikutuksen häviäminen lämmittää maaperää ja on todennäköinen syy pohjaveden lämpötilan kohoamiseen Patamäellä. Myös ojavesien lämpötila kohosi seurannan aikana.

Rokuan alueella pohjaveden määrällistä tilannetta arvioitiin pohjavesimallinnuksella. Johtopäätöksenä oli, että tärkein alueen pohjaveden pintoihin vaikuttava tekijä on luontainen ilmaston vaihtelu, mutta myös metsäojituksella arvioitiin olevan pohjaveden pinnankorkeutta laskeva vaikutus pitkällä aikavälillä.

Ojitetun turvemaan vaikutusalueella voivat talvi- ja kesäalivalumat lisääntyä ja pohjaveden purkautumisreitit muuttua. Pohjavettä luonnostaankin ympäristöönsä purkavissa antikliinisissä muodostumisissa voi tapahtua pohjavedenpinnan laskua. Pohjavesipinnan lasku puolestaan lisää turpeen hajotusta ja hajoamistuotteiden kuten hiilen ja typen vapautumista sekä mahdollista huuhtoutumista pinta- ja pohjavesiin. Ravinnepitoisuuksien kasvu voi heijastua pohjavesimuodostuman ympäristön ekosysteemeihin. Synkliinisissä muodostumisissa, jotka keräävät vettä ympäristöstään, pohjaveden pilaantumisen riski kasvaa. Paineellisten pohjavesialueiden osalta liian syväle ulottuva kaivu voi aiheuttaa hallitsematonta pohjaveden purkautumista ja pysyvän keinotekoisien lähdepurkauman.

Maanmuokkauksella pyritään parantamaan siementen itävyyttä ja vähentämään pinta-kasvillisuuden taimille kohdistamaa kilpailua. Pohjavesialueilla käytetään maanmuokausmenetelminä laikku- ja kääntömätästystä sekä äestystä, jota voidaan tehdä vähemmän maanpintaa rikkovana katkoäestyskseenä. Maanmuokkaus voimistaa hakkuun jälkeisiä ravinnehuuhtoutumia. Muokkauksessa syntyvät painanteet ja vaot voivat kerätä sadevesiä ja toimia vesivarastoina, joiden kautta veden imeytyminen pohjaveteen lisääntyy. Mikäli lähteisiin ja puroihin ei ole riittäviä suojaetäisyyksiä, voi niihin kulkeutua orgaanista aineista ja ravinteita. Tutkimustietoa ekosysteemeihin kohdistuvien vaikutusten osalta ei kuitenkaan löydetty.

Vesitaseiden kannalta tarkasteltuna puuttoman alueen metsityksellä on päinvastainen vaikutus kuin päätehakkuulla. Metsittäminen lisää haihduntaa, jolloin pohjavedenpinta alueella laskee ja pohjaveden muodostumisnopeus sekä määrä pienenevät. Metsitettävillä alueilla kuten myös avohakkuun jälkeen uudistettavilla alueilla puuston kehittyminen täysikasvuiseksi kestää useita vuosikymmeniä ja näin muutokset pohjaveden määrässä näkyvät hitaasti. Varsinaista tutkimustietoa metsityksen ja puuston uudistamisen vaikutuksesta pohjaveden laatuun ei suomalaisista olosuhteista ole, mutta niiden voidaan katsoa omalta osaltaan auttavan uuden maannoksen syntymistä ja sitä kautta vaikuttavan positiivisesti pohjaveden laatuun.

Pohjavesialueilla metsälannoitus on eri tahojen ohjeistuksissa kielletty. Metsäojitusalueiden ravinnepuutosta voidaan kuitenkin torjua tuhkalannoituksella ja kangasmailla boorilannoituksilla, mutta ohjeistuksissa on suuria eroja ja osassa terveyslannoituksetkin on kielletty. Toimenpiteen toteutusmahdollisuuksista on aina keskusteltava asianomaisen ELY-keskuksen pohjavesiasiantuntijan kanssa.

Pohjavesialueilla ei ole sallittua käyttää muita kasvinsuojeluaineita kuin juurikäävän torjuntaan tarkoitettuja kantokäsittelyaineita ja tukkimiehentäin torjuntaan tarkoitettuja taimitarhoilla taimiin lisättäviä aineita. Tukesin kasvinsuojeluainerekisterissä on ajan tasainen tieto eri valmisteiden myyntiluvista ja käyttöehdoista. Kemiallisten aineiden rinnalle tukkimiehentäin torjuntaan on tullut myös mekaaninen taimien hiekkaliimakäsittely, jota on markkinoitu ympäristöhaitattomana vaihtoehtona. Tutkimustuloksia näiden kasvinsuojeluaineiden huuhtoutumisesta pohjaveteen ei ole, mutta niiden huuhtoutumisen pohjaveteen on arvioitu olevan pientä.

Metsänhoitotoimenpiteet tehdään nykyisin pääsääntöisesti koneellisesti. Pohjavesialueilla ei koneiden käyttöä ole rajoitettu, mutta mm. koneiden tankkaus ja huolto on metsänhoito-ohjeissa ohjeistettu tehtäväksi alueen ulkopuolella, millä minimoidaan mahdollisten kemikaalivuotojen pääsy pohjaveteen. Tilastojen mukaan metsäkoneiden aiheuttamat öljyvahingot pohjavesialueilla eivät ole yleisiä, vaikka metsäkoneiden hydrauliiikkarikkojen yleisyys näkyy mm. vakuutuskorvauksissa.

Useissa pohjavesialueiden suojelusuunnitelmissa ja mm. Metsähallituksen metsänhoito-ohjeessa uusia metsäautoteitä ei suositella tehtäväksi pohjavesialueille. Metsäautoteiden käyttö myös virkistys- ja retkeilykäyttöön lisää riskiä kemikaalivahingoille ajoneuvojen rikkoutuessa. Tutkimustuloksia erilaisista liikennemääristä metsäautoilla ei hankkeessa löydetty.

Kulotuksen mahdollisia vaikutuksia ovat ravinteiden lisääntyminen pohjavedessä sekä noen ja tuhkan kulkeutuminen vesiekosysteemeihin. Aiempia tutkimustuloksia kulotuksen vaikutuksista pohjavesialueiden pohjaveteen ja ekosysteemeihin ei löydetty. Vuonna 2019 on aloitettu kulotuksen vaikutusten seuranta Lopen Komion alueella. Seurannassa on havaittu pieniä PAH-pitoisuuksia.

## 11.2 Pohjavesivaikutusten hallinnan työkalut

MEPO-hankkeessa on viimeistelty Tapio Oy:n Metsätalous pohjavesialueilla-hankkeen yhteydessä aloitettu KUNNOS-työkalun malli käyttökuntoon. KUNNOS-mallia voidaan hyödyntää arvioitaessa sekä ojien kunnostuksen syvyyden ja ojavälin vaikutusta pohjavedenpinnan käyttäytymiseen ja pohjaveden purkautumis- tai imeytymisolosuhteiden muutoksiin. Malli soveltuu myös ojituksen vaikutusten arviointiin pohjaveden laadussa että pintavesien kuormitusmuutosten ennustamiseen.

Työkalun laskenta on aineistoperusteista eli käyttö perustuu ns. datakeskeiseen periaatteeseen, jossa mallin käyttö ei ole riippuvainen saatavissa olevasta tapauskohtai-

sesta aineistosta, vaan puuttuvat lähtötiedot täydennetään pilvipalvelussa olevilla aineistoilla, jotka on koottu eri tahojen avoimista aineistoista. Käyttäjät syöttävät työkaluun tiedot ojitusten kunnostussuunnitelman sijainnista, toteutusajankohdasta ja -tavasta, olemassa olevista vesiensuojelurakenteista, turvekerrosten paksuudesta sekä maalajitiedot. Mallinnusalueet on valittu niin suuriksi, että ne kattavat sekä pohjavesialueen, että riittävän suuren alueen sen ympäriltä. Mallitarkastelussa pystytään siten käsittelemään samassa mallissa sekä pohjavesialueet, että ympäröivät alueet, joilla pintavesien rooli on tärkeä.

KUNNOS-malliin on liitetty myös pohjaveden haavoittuvuusanalyysi. Toistaiseksi mallia ei ole sovellettu pohjavesialueilla, joilla rantaimetyymisen merkitys on suuri tai esiintymä on luokiteltu kalliopohjavesialueeksi. Ohjelmisto tulee päivittymään säännöllisesti ja koska aineistojen päivitys tehdään pilvipalveluun siirtyvät muutokset automaattisesti samalla kaikille käyttäjille.

KUNNOS-työkalun soveltuvuutta ojitusten vaikutusten arviointiin testattiin viidellä eri pohjavesialueella. Neljän alueen osalta esimerkkitapauksissa esitetyt ojitukset eivät ole toteutettuja tai suunniteltuja ja niiden osalta tarkoitus on ollut havainnollistaa KUNNOS-työkalun käyttöä vaikutusten arvioinnissa. Patamäen kohteella ojien kunnostus ja avohakkuu oli toteutettu. Alueen seurantatietojen osalta havaittiin pohjavedenpinnan alentuneen lineaarisesti 30–40 cm. Mallin tuottama yhteisvaikutuksen tulos hakkuun ja ojien kunnostamisen osalta on suurimmillaan n. 0,3 m alenema pohjavedenpinnan korkeudessa eli malli vastasi alueella toteutunutta tilannetta.

Pohjavesialueella tai happamilla sulfaattimailla tapahtuvasta ojituksesta on aina ilmoitettava ELY-keskukselle vähintään 60 vuorokautta ennen. Ojien kunnostamisesta on tehtävä ilmoitus silloin, kun ojana käytettävä uoma on ehtinyt muuttua luonnontilaisen kaltaiseksi. Ilmoitus tehdään "Metsäojitusilmoituslomakkeella", jonka täyttämisen tueksi MEPO-hankkeessa luotiin tarkistuslista.

## 11.3 Pohjavesivaikutusten seuranta

Metsätalouteen liittyvää veloitettarkkailua ei ole tiedossa yhdenkään ELY-keskuksen alueelta. Ojien kunnostuksen pohjavesivaikutusten seuranta on toistaiseksi toteutettu vain yhdellä pohjavesialueella Kokkolan Patamäellä. Tälläkin alueella seuranta aloitettiin vasta edellisen vuoden syksyllä toteutetun ojien kunnostuksen jälkeen. Rokuanharjun pohjavesialueella on tehty tutkimuksia suon ja pohjavesialueen hydrologisista kytköksistä. Sekä Patamäen että Rokuan pohjavesialueet ovat pääasiassa pohjavettä ympäristöönsä purkavia. Ympäristöstään vettä kerääviltä pohjavesialueilta vastaavia ojien kunnostuksen vaikutusten seurantatuloksia ei ole.

Kulotuksen pohjavesivaikutusten seuranta on toistaiseksi tehty Lopella Komion alueen kahdella pohjavesialueella. Hakkuiden vaikutusten kohdennettua seuranta pohjavesialueilla on toteutettu vain Huosiissärkän pohjavesialueella Pohjois-Karjalassa Silkun alueella, jossa tutkimus on kohdistunut avohakkuun vaikutuksiin. MEPO-hankkeessa hakkuiden vaikutuksia selvitettiin paikkatietohauulla, joka kohdistettiin hakkuualueilla sijaitseviin pohjavesihavaintopaikkoihin. Lisäksi tarkasteltiin valtakunnallisen pohjaveden seuranta-asemien havaintoja ja hakkuuajankohtien vaikutuksia havaittuihin pitoisuuksiin. Soranoton vaikutusten pitkän ajan seurantakohteissa oli kolme kohdetta, joissa on epäilty metsänhoitotoimien vaikuttaneen havaintopaikkojen veden laatuun.

## 11.4 Käytössä olevat ohjeistukset pohjavesialueiden osalta

Hankkeessa tarkasteltuja ohjeistuksia olivat Tapio Oy:n Metsänhoidon suositukset, Metsähallituksen Metsätalous Oy:n ympäristöopas, Suomen FSC -standardi, PEFC-metsäsertifioinnin kriteerit sekä Metsäkeskuksen lähettämä suositus tilanteessa, jossa metsänkäyttöilmoituksen kohdealue sijoittuu pohjavesialueelle.

Ojien kunnostuksen osalta ei ole vielä riittävää tietoa kunnostuksen mahdollisista vaikutuksista. Tämä heijastuu myös ohjeisiin. PEFC-sertifiointi ei huomioi ojien kunnostusta ollenkaan. Tapion ohjeistuksissa ojien kunnostaminen on 1- ja 2-luokan pohjavesialueillakin sallittu, jos ojasyvyyttä ei uloteta aiempaa syvemmälle ja on varmistettu, että vanha kuivatus ei ole aiheuttanut pohjaveden purkautumista. Metsähallituksen sekä Metsäkeskuksen ohjeissa suositellaan jättämään pohjavesialueilla sijaitsevat ojitusalueet pääsääntöisesti kokonaan kunnostamatta. FSC-standardissa turvataan pohjavesien laadun säilyminen pidättäytymällä 1- ja 2-luokan pohjavesialueilla kunnostus- ja täydennysojituksista.

Hakkuut, erityisesti avohakkuut, voivat lisätä pohjaveden ravinnepitoisuuksia ja myös pohjaveden lämpötilan on todettu hakkuun jälkeen nousevan. Metsäkeskuksen ohjeissa suositellaan pohjavesialueilla hakattavan vain pieniä uudistusaloja. Tähän asti ravinnepitoisuuksien nousun on katsottu olevan kohtuullisen pientä ja kestoaltaan rajallista, josta syystä missään ohjeistuksissa ei hakkuuta ole rajoitettu.

Maanmuokkauksessa on riski ravinteiden huuhtoutumiselle pohjaveteen ja se voi aiheuttaa kiintoaineen kulkeutumista lähteisiin ja puroihin, jos niitä suojaavat suoja- vyöhykkeet ovat alimitoitettuja. FSC- ja PEFC-kriteereissä ei maanmuokkauksesta ole

erikseen ohjeistettu. Tapion ohjeissa pohjavesialueille suositellaan kevyttä muokkausta. Metsähallituksen sekä Metsäkeskuksen ohjeissa muokkausta ensisijaisesti vältetään ja jos se on välttämätöntä niin muokkaukseen suositellaan kevyitä, vain kiivennäismaan pintaa paljastavia menetelmillä kuten laikutusta tai äestystä.

Kaikissa ohjeistuksissa kasvinsuojeluaineiden käyttö ja lannoitus on joko kielletty tai niitä ei suositella tehtävän pohjavesialueilla. Terveyslannoituksen osalta Tapio suosittelee tuhkalannoitusta, Metsähallituksen ohjeissa terveyslannoitukseen ei kuitenkaan tuhkaa suositella.

Kantojen nostosta on yleisesti luovuttu myös pohjavesialueiden ulkopuolisilla alueilla. Tapio sekä Metsäkeskus eivät suosittele pohjavesialueilla tehtävän kantojen nostoa. FSC- ja PEFC-kriteereissä todetaan, ettei kantoja korjata pohjavesialueilta.

Kulotus sallitaan pohjavesialueilla vain PEFC-kriteeristön osalta. Muissa metsänhoito-ohjeissa ja kriteereissä sitä ei sallita. Kulotusta voidaan kuitenkin tehdä ympäristöviranomaisten luvalla luonnonhoidollisena menetelmänä.

Metsähallituksen ja FSC:n ohjeissa viitataan vanhaan ohjeistuksen mukaiseen pohjavesialueluokitukseen (luokat I ja II). Luokituksissa tulisi käyttää nykyistä VMJL:n mukaista luokitusta eli luokkia 1, 1E, 2, 2E ja E.

Toimijoiden tietoisuus ohjeistuksista on puutteellista. ELYjen mukaan yhä edelleen metsänkäyttöilmoituksissa ja ojitusilmoituksissa esitetään toimenpiteitä, jotka eivät ole metsänhoidon suositusten mukaisia. Toimijat ovat puolestaan todenneet, että herkistä kohteista ei ole aina tarjolla riittävää tietoa. Lisää tietoa siitä, missä jotkin toimenpiteet ovat kiellettyjä ja miksi ne on kielletty, kaivattaisiin.

## 11.5 Johtopäätökset

Hankkeen kuluessa todettiin, että kokonaisuudessaan sekä pohjoismaisia että kotimaisia tutkimustuloksia metsätalouden pohjavesivaikutuksista on hyvin vähän. Tutkimustiedon puutteen voidaan toisaalta katsoa indikoivan sitä, että pohjavesialueille toimenpiteistä kohdistuu vuosittain suhteellisen pieni osuus. Samalle kuviolle kohdistuvien toimenpiteiden välillä on useita vuosikymmeniä ja esimerkiksi koneellisten metsänhoitotoimien osalta tämä vähentää osaltaan riskiä tietyn paikan kemikaalivahingoille. Toisaalta voidaan nähdä, että pohjavesialueet tarjoaisivat valtakunnalliseen seurantaan arvokasta tietoa metsätalouden vaikutuksista pohjaveteen.



Seurantaan perustuvaa tietoa metsätaloustoimenpiteiden pohjavesivaikutuksista on tällä hetkellä Suomessa hyvin vähän. Parhaiten tietoa on hakkuiden vaikutuksesta, vaikka tästäkään ei kovin runsaasti pohjavesialueille kohdistuvaa seurantatietoa ole. Tästä syystä tarvitaan lisää tutkimuksellista seurantaa, joka antaisi lisätietoa tulevaisuuden seurannan suunnittelua varten. Kaiken pohjavesitutkimuksen ja seurannan vaikutusten luotettavuuden ja tulkitsemisen kannalta on ehdottoman tärkeää, että tiedetään lähtötilanne ennen toimenpiteitä.

Metsätalouden toimintaa pohjavesialueilla on jo pitkään ohjattu vesiensuojelun huomioivien suositusten ja kriteerien. Ohjeistuksissa hyvin monet pohjaveden laadulle riskiä aiheuttavat toimet, kuten lannoitus, kulutus ja kasvinsuojeluaineiden käyttö, ovat ohjeissa pohjavesialueilla kielletty. Ohjeistukset huomioivat pohjaveden suojelun ja varovaisuusperiaatteen pääsääntöisesti melko hyvin. Pohjavesialueilla tehtävät toimenpiteet voivat kuitenkin heijastua pohjaveden laadussa laajemmalla alueella ja esimerkiksi uudet tiedot lähdelajistoa voimakkaasti muuttavista nitraattityypen kynns-arvoista asettavat paineita erityisesti herkkien ekosysteemien läheisyydessä tehtävien hakkuiden ja maanmuokkausten ohjeistukseen. Laajat hakkuut voivat näkyä myös lähialueen vesistöjen rehevöitymisinä.

## 12 MEPO-hankkeen suositukset

### 12.1 Keskeisiin tuloksiin liittyvät suositukset

Hankkeessa havaittiin ohjeistusten ja suositusten osalta tarvetta täsmentää ohjeistuksia erityisesti pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien huomioimisen osalta. Pohjavesialueiden luokituksen muuttuminen vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain mukaiseksi tulisi myös huomioida kaikkien ohjeistusten osalta.

Koska toimijoiden tietoisuus ohjeistuksista on puutteellista, tulisi toimijoille suunnattua koulutusta ja neuvottelupäiviä tarjota enemmän. ELYjen kanssa yhteisiä tilaisuuksia kannatettiin myös sidosryhmätilaisuudessa esitetyissä kommentteissa. Vuorovaikutuksen kautta, toimijoita kuullen, voidaan löytää keinot ohjeiden parempaan jalkautukseen. Samalla mahdollisuudet lisätä yhteistyötä seurannankin osalta oletettavasti paransivat.

Paikkatiedoilla on merkittävä rooli vahingollisten vaikutusten ennaltaehkäisyssä. Toimijoille, erityisesti käytännön toteuttajille, tulee pohjavesialuetiedon ohella olla tarvittaessa saatavilla tietoa sekä vedenottoon liittyvien rakenteiden että muiden herkkien kohteiden kuten lähde-ekosysteemien sijainneista. Huomioitavaa on, että pohjavedestä riippuvaisia lainsäädännön nojalla suojeltuja ekosysteemejä voi sijaita muuallakin kuin 1E, 2E tai E-luokan pohjavesialueisiin liittyvinä. Toisaalta pohjavesivaikutusten seurannan kannalta on erittäin tärkeää saada paikkatietoa eri toimenpiteiden sijoittumisesta. Tieto voisi olla mahdollista saada Suomen Metsäkeskuksen RIIHI-tietojärjestelmän ja muiden siihen kytköksissä olevien Metsäkeskuksen tietojärjestelmien avulla.

### 12.2 Jatkotutkimus ja seuratarpeet

Pohjavedessä tapahtuvat muutokset ovat hitaita ja vaativat pitkiä seurantoja. Pohjaveden laatu ja määrä voivat luontaisestikin vaihdella vesitilanteesta ja vuodenajasta johdettuna. Vaikutusten arviointia varten tarvitaan lähtötietona useamman vuoden seuranta ennen toimenpiteiden toteuttamista. Lyhyellä mittausjaksolla ja pienillä koealoilla ei voida saada varmuutta todellisista pohjavesivaikutuksista.

Pohjavesi toimii vesiliukoisten aineiden kulkureittinä ja metsätalouden toimenpiteiden vaikutukset voivat pohjaveden kautta kohdistua itse toimenpidealueelta kauempana

sijaitseviin kohteisiin, kuten lähteisiin ja vesistöihin. Lähellä toimenpidealuetta näihin kohteisiin vaikuttaa myös pintavalunta. Pohjavesialueiden pohjavesi on vain pieni osa kaikesta pohjavedestä. Muuallakin kulkeutuvat ravinteet ja mahdolliset haitta-aineet vaikuttavat vesien laatuun ja ekosysteemien tilaan.

Hankkeessa todettiin tarvetta jatkotutkimuksiin ja pitkäaikaiseen, hyvin järjestettyyn pohjaveden laadun ja määrän seurantaan seuraavien metsätalouden toimenpiteiden vaikutusten osalta:

- Ojien kunnostuksen vaikutukset pohjaveteen ja myös ojiin purkautuviin vesiin
- Eri hakkuumenetelmien vaikutukset; onko pohjaveden laadulle ja määrälle hyötyä poimintahakkuista tai pienaukkohakkuista?
- Tuhkalannoituksen vaikutus pohjaveteen
- Kulotuksen vaikutukset pohjaveteen
- Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsätalouden toimenpiteiden pohjavesivaikutuksiin; miten vaikuttavat äärevien vesitilanteiden yleistymisen ja lyhenevä talvikausi?
- Pohjaveden laadun ja määrän muutosten vaikutukset pohjavedestä riippuvaisille ekosysteemeille

Seurannan osalta hankkeessa todettiin tarvetta:

- Lisätä seurantaa pohjaveden taustapitoisuuksista;
  - erityisesti luonnontilaisten alueiden pohjaveden pitoisuuksista sekä luokitelluilta pohjavesialueilta että muilta alueilta on hyvin niukasti tietoa
- Kehittää ohjauskeinoja ja menetelmiä sekä toimenpiteiden että niiden vaikutusten seurantaan
  - olennainen rooli paikkatietojen kokoamisella

Sidosryhmätilaisuudessa todettiin lisäksi tutkimustarpeita liittyen:

- Hiilitaseiden muutoksiin metsäkierron aikana
  - kuinka paljon liukoista hiiltä huuhtoutuu valumien mukana pohjaveteen ja siitä eteenpäin?
  - miten merkittävä rooli pohjavedellä on hiilen kierrossa?

Synergioiden tunnistaminen tutkimushankkeiden ja seurannan järjestämisen kannalta on tärkeää. Erillisissä tutkimushankkeissa analytiikkaa on oltava melko laajasti ja näytteenottoja toteutetaan varsinkin hankkeen alussa tiheästi. Tutkimus- tai seuranta-kohteen sijaitessa lähellä jo olemassa olevia seurantaverkostojen kohteita, voidaan havainnoinnin ja näytteenoton kuluja kohtuullistaa esimerkiksi yhdistämällä näytteenottokäyntejä.

Pohjavesivaikutusten seurannassa on tärkeää huomioida myös vaikutusalueella sijaitsevat pohjavedestä riippuvaiset ekosysteemit. Keskeisin ekosysteemeihin vaikuttava tekijä on pohjaveden määrän tai muodostumisen heikentyminen ja siksi pohjaveden pinnankorkeuden tason ja sen vaihtelun seuranta ja vaikutukset lähdevirtaamiin tulisi huomioida. Vedenlaadun osalta erityisesti nitraattityypipitoisuuden seuranta on tärkeää.

## Liite 1. Metsätalous, taustaa ja käsitteitä

### 1. Metsätalous yleistä

Metsätalous on taloudellista toimintaa, jolla tuotetaan uusiutuvaa raaka-ainetta metsäteollisuuden ja energiateollisuuden käyttöön. Metsätalous on Suomessa pääasiassa yksityismetsätaloutta. Yksityiset metsänomistajat, tavalliset perheet, omistavat metsämaasta 60 ja puuston kasvusta 70 prosenttia. Vähintään kaksi hehtaaria metsämaata omistavia perhemetsätiloja on noin 350 000. Omistajia näillä tiloilla on kaksinkertainen määrä, yli 600 000. Metsähallituksen hallinnoimat valtion metsät kattavat metsämaasta neljäsosan, mutta valtion osuus hakkuista on vain kymmenesosa. Metsäyhtiöt omistavat metsämaasta vajaan kymmenen prosenttia, ja niiden osuus hakkuista on likimain saman verran. Kunnat, seurakunnat, säätiöt ja yhteismetsät omistavat loput noin viisi prosenttia Suomen metsämaasta. Perhemetsätilat ovat keskimäärin 30 hehtaarin suuruisia. Tilarakenne on muutoksessa: tällä hetkellä syntyy lisää sekä pieniä, alle 10 hehtaarin tiloja, sekä suuria, yli 100 hehtaarin tiloja. Pirstoutumisen syynä ovat tavallisesti perinnönjaot. Tilakoon kasvu johtuu tilakaupoista.

Metsälaki säätelee metsätalouden harjoittamista. Yksityismetsien osalta metsätalous ja metsien hoito perustuvat Metsänhoitosuositukseen, joiden ylläpidosta vastaa Tapio Oy. Metsänhoitosuosituksia päivitetään aina vastaamaan uusinta tutkimustietoa. Metsänhoitosuositusten päivitystä varten on koottu useita kymmeniä tahoja koskeva yhteistyöryhmä, joka päättää kulloinkin tarvittavista muutoksista metsänhoitosuosituksissa. Valtion ja metsäyhtiöiden maita koskien ovat omat suosituksensa.

Metsäsertifiointi on markkinaehtoinen järjestelmä, joka osaltaan ohjaa metsänhoitoa. Sertifioiduissa metsissä metsätaloutta ohjaavat sertifiointikriteerit. Ne laaditaan siten, että työhön osallistuvien tahojen erilaiset näkemykset pyritään sovittamaan yhteen neuvottelemalla. Tulos on yleensä kompromissi, jotta päästään lopputulokseen, jossa kestävyden eri osa-alueet ovat tasapainossa. Suomessa on kaksi metsäsertifiointijärjestelmää; FSC ja PEFC. Metsäsertifiointi perustuu jatkuvaan parantamiseen ja esimerkiksi metsäsertifiointin kriteerit tarkistetaan viiden vuoden välein. Standardien valmistelua ohjaavat kansainvälisesti sovitut kriteerit. Kansainvälinen vertailtavuus on oleellista kestävyyttä tarkasteltaessa.

#### 1.1 Metsämaan luokitus

Metsätalousmaa luokitellaan neljään luokkaan; metsämaahan, kitumaahan, joutomaahan ja muuhun metsätalousmaahan. Metsämaa on puun tuottamiseen käytettyä tai

käytettävissä olevaa maata, jolla puuston keskimääräinen kasvu on 100 vuoden kiertoaikaa noudatettaessa vähintään 1 kuutiometri hehtaarille. Kitumaa on puun tuottamiseen käytettyä tai käytettävissä olevaa maata, jolla puuston keskimääräinen vuotuinen kasvu on 100 vuoden kiertoaikaa käytettäessä alle 1 kuutiometri vuodessa, mutta vähintään 0,1 kuutiometriä hehtaarilla. Kitumaita ovat esimerkiksi karut suot ja erittäin kiviset tai kallioiset maat. Joutomaa on lähes puutonta maata, jossa keskimääräinen vuotuinen kasvu on 100 vuoden kiertoaikaa käytettäessä alle 0,1 kuutiometriä hehtaarilla. Joutomaata ovat muun muassa harvapuustoiset kallioid, avosuot ja hietikot. Muuta metsätalousmaata ovat metsätalouteen kuuluvat mm. metsäautotiet, pysyvät varastoalueet, metsäkokonaisuuteen kuuluvat sorakuopat, riistapellot, turpeennostopaikat.

## 1.2 Metsätalouden toimenpiteet

Metsätalouteen liittyviä toimia ovat muun muassa erilaiset hakkuut, metsänuudistamiseen liittyvä maanmuokkaus, vesitalouden säätelyyn liittyvä ojitustoiminta, ojien kunnossapito ja vesiensuojelu sekä ravinnetalouden ylläpitoa varten tehtävä metsälannoitus.

### 1.2.1 Uudistushakkuu

Uudistushakkuussa korjataan nykyisen puusukupolven tuottamaa puuta ja valmistellaan uuden puusukupolven syntyä uudistamalla metsä joko luontaisesti tai viljellen. Uudistushakkuutapoja ovat avohakkuu, siemenpuuhakkuu, kaistalehakkuu ja suojuospuuhakkuu. Avohakkuun jälkeen uusi puusukupolvi saadaan aikaan joko istuttamalla tai kylvämällä. Siemenpuuhakkuulla, kaistalehakkuulla ja suojuospuuhakkuulla tähdätään luontaiseen uudistamiseen.

**Avohakkuu** on uudistushakkuu, jossa hakkuukohteelta poistetaan lähes kaikki uudistusalan puusto lukuun ottamatta säästöpuuryhmiä, luontaisia taimiryhmiä, riistatien heiköitä ja säästettäviä luontokohteita.

**Siemenpuuhakkuu** on männyn tai rauduskoivun luontaiseen uudistamiseen tähtäävä uudistamishakkuu. Männikössä toimenpidekohteelle jätetään siemenpuiksi 50–100 hyvänlaatuista valtapuuta hehtaarille ja rauduskoivikoissa 10–20 siemenpuuta hehtaarille.

**Kaistalehakkuu** on luontaisesti hyvin taimettuvien kohteiden uudistushakkuu. Hakkuukohte hakataan aukeaksi kaistaleittain. Reunametsä siementää alueen luontaisesti. Kaistaleen leveys voi olla enintään 50 metriä, kun siementävää puustoa on kaistaleen molemmin puolin.

**Suojuspuuhakkuu** on kuusen luontaisen uudistamisen hakkuu, joka tehdään kehityskelpoisen taimiaineksen suojaamiseksi ja täydentämiseksi. Suojuspuita jätetään toimenpidekohteelle 100–300 kappaletta hehtaarille, mahdollisuuksien mukaan myös mäntyjä ja koivuja.

## 1.2.2 Maanmuokkaus

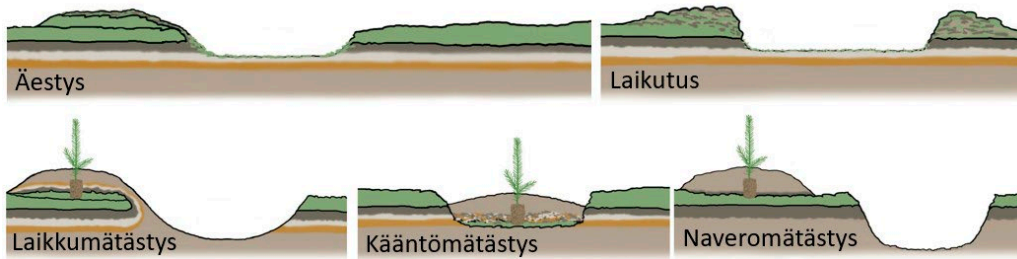
Maanmuokkausmenetelmät jakautuvat maanpintaa paljastaviin menetelmiin ja kohoumia muodostaviin menetelmiin (mätästys). Maanpintaa paljastavien menetelmien ensisijainen tavoite on yleensä parantaa siemenen itävyyttä ja vähentää pintakasvillisuuden taimille kohdistamaa kilpailua. Kohoumia muodostavien menetelmien ensisijainen tavoite on parantaa taimen kasvuolosuhteita ja vähentää taimelle kohdistuvaa pintakasvillisuuden kilpailua. Tyypillisimmät maanmuokkausmenetelmät on kuvattu alla. Kuvat 1–3 havainnollistavat eri menetelmien eroja.

**Äestys** sopii kangasmailla, joiden vesitalous on kunnossa. Yleensä äestystä käytetään männyn kylvöön ja luontaiseen uudistamiseen. Hyvä äestysvako on 60–80 cm leveä, karuimmilla kasvupaikoilla vaihteluvälin kapeammasta päästä ja hieman viljavammilla leveämmästä. Tyypillisesti hyvään lopputulokseen päästään, kun vaon syvyys on 5–10 cm. Yhteensä vakoa tehdään 4 000–5 000 metriä hehtaarille.

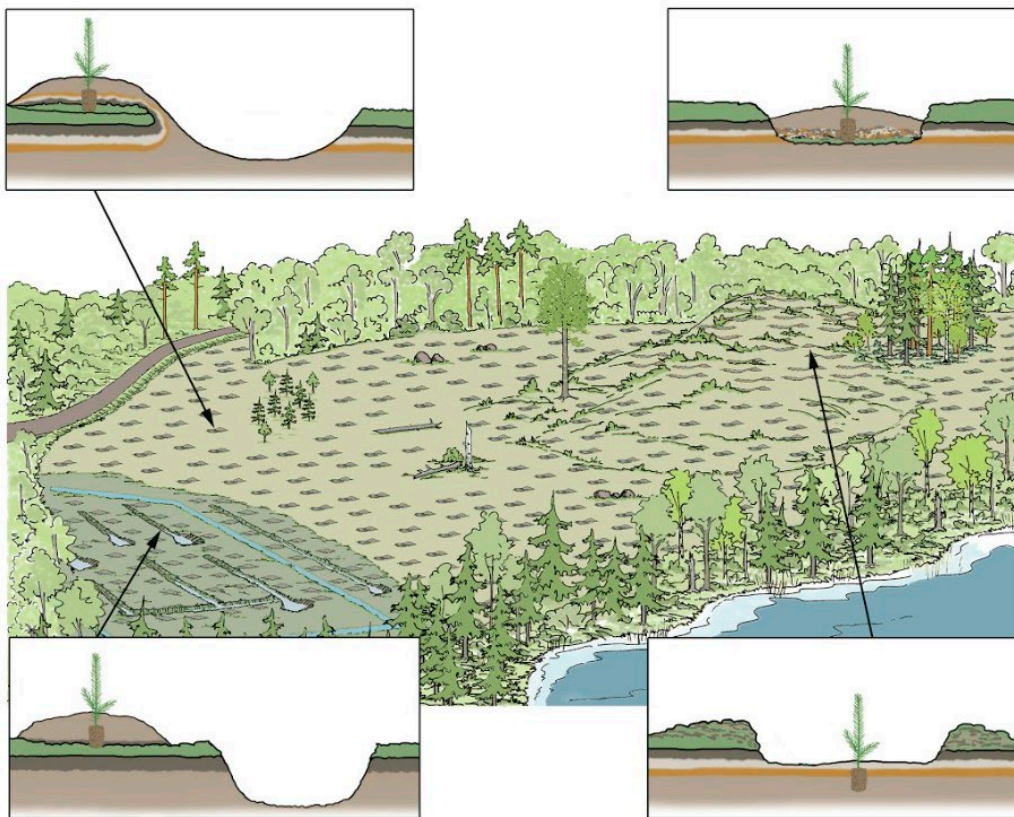
**Laikutuksessa** maan pintaa poistetaan laikuittain. Vain maanpintaa kevyesti paljastavana menetelmänä se soveltuu kuivahkoille ja kuiville kankaille sekä puolukka- ja varputurvekankaille, joiden vesitalous on kunnossa. Puulajeista se soveltuu parhaiten männyn uudistamiskohteille. Laikutusta voidaan käyttää joskus myös rehevillä, mutta erittäin kivisillä kohteilla myös kuusella, jos erilaisten mätästysmenetelmien käyttö ei ole mahdollista.

Kangasmailla laikutuksessa paljastetaan kivennäismaata. Turvemailed, joiden peruskuivatus on kunnossa, voidaan käyttää myös kaivurilaikutusta. Turvemailed laikutuksella poistetaan elävä sammalkasvusto ja pääosa raakahumuskerroksesta ja paljastetaan turvepinta.

**Laikkumätästys** on tuoreiden ja lehtomaisten kankaiden istutuskohteiden muokkausmenetelmä. Laikkumätästykseen yhteydessä maan vesitalouden tulee olla kunnossa, eli kevään sulamisvedet eivät saa seistä laikkumätästetyllä alueella. Laikkumätästys on pääsääntöisesti myös istutuskoneiden maanmuokkausmenetelmä. Laikkumätästyksessä tavoitteena on saada yksi hyvä mätäs aikaiseksi jokaiselle istutettavalle taimelle. Hehtaaritavoitteena on 1 600–2 200 mätästä.

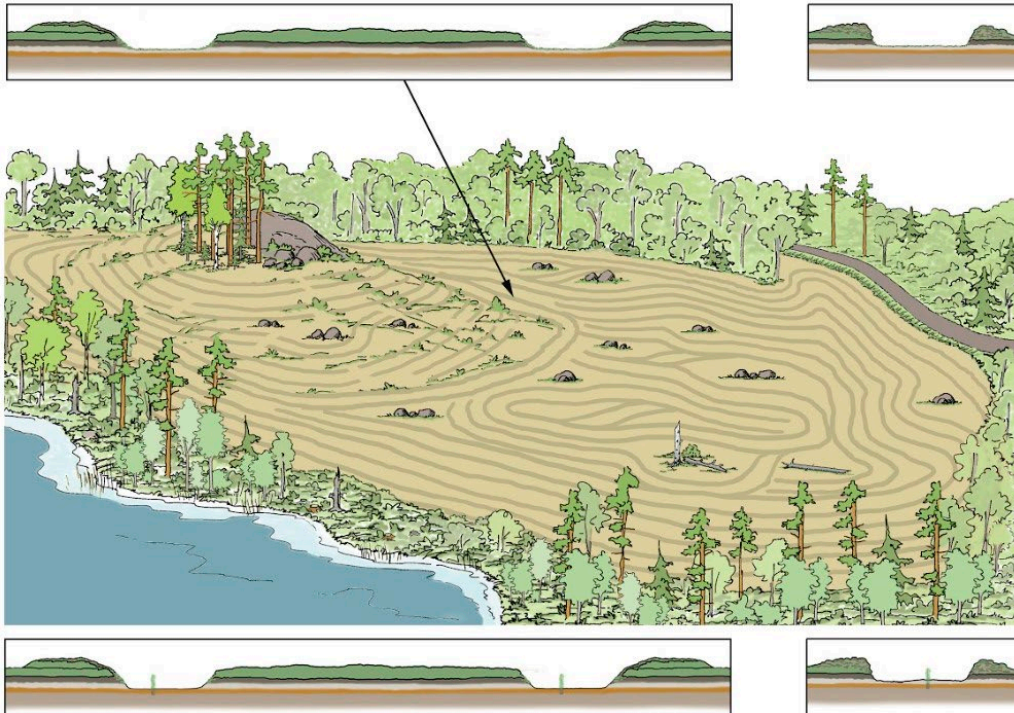


**Kuva 1.** Maanmuokkaustavat: äestys, laikutus, laikkumätästys, kääntömätästys ja naveromätästys (Lähde: Metsänhoidon suositukset, Äijälä ym. 2019).



**Kuva 2.** Esimerkkejä eri maanmuokkausmenetelmien käytöstä tuoreella kankaalla, joka istutetaan kuuselle: mäen laella maalaji on vettä läpäisevä ja kivinen, joten muokkaustavaksi soveltuu parhaiten laikutus. Alempana maa on keskikarkeaa ja muokkaus tehdään joko laikku- tai kääntömätästykseenä. Soistuneessa kulmassa on käytetty naveromätästystä sekä perattu osa vanhoista ojista. (Lähde: Metsänhoidon suositukset, Äijälä ym. 2019).





**Kuva 3.** Esimerkki maanmuokkauksesta männulle. Uudistusala on kuivahkoa kangasta ja maalaji vaihtelee keskikarkeasta karkeaan. Alue uudistetaan männulle kylväen, mutta vaihtoehtona voisi olla myös istutus. Luontainen uudistaminen olisi edellyttänyt siemenpuiden jättämistä. Maa läpäisee vettä ja koko ala voidaan muokata äestämällä tai laikuttamalla. Kylvöä varten tehtävässä muokkauksessa muokkausjäljen pintaan pitää jäädä hie-man humusta. (Lähde: Metsänhoidon suositukset, Äijälä ym. 2019).

**Kääntömätästys** sopii keskikarkeille kangasmaille ja turvemaille, joiden vesitalous on kunnossa. Sitä käytetään pääosin kuuselle uudistettavilla kohteilla, mutta se sopii myös koivulle ja männulle. Kangasmilla mättään päälle jää yhtenäinen kivennäis- maakerros ja sen alla on yksinkertainen humuskerros. Turvemilla elävä sammalkas- vusto ja kangashumus jäävät mättään pohjalle ja pintaan tulee osittain maatumatonta turvetta.

Veden vaivaamilla mailla tarvitaan vesitalouden järjestelyä. **Naveromätästys** soveltuu kohteille, joissa kuivatus ei ole kovin tärkeä. **Ojitusmätästyksessä** taas vesiä johde- taan kohteelta pois. Sitä voidaan käyttää täydennysojituksen yhteydessä. Molempia menetelmiä voidaan käyttää sekä kosteilla kangasmaan että turvemaan kohteilla. Na- veromätästys käy myös kangasmaiden kivisille kuusen istutuskohteille, joilla laikku- ja kääntömätästys on kivisyyden takia vaikea toteuttaa. Jos ojitusmätästyksessä on kui- vatusta varten tarvetta tehdä syvempiä ojia, syvempien kerrosten maa läjitetään, eikä siihen ole tarkoitusta istuttaa taimia.

### 1.2.3 Metsänuudistaminen ja taimikonhoito

**Metsäkylvöä** käytetään pääasiassa männyn uudistamiseen. Kylvön osuus männyn uudistamisesta on noin kolmannes ja kaikesta metsänuudistamisesta viidennes. Kuusen ja koivun kasvupaikat ovat yleensä liian viljavia kylvölle. Kylvökohteella maanpinta muokataan vain kevyesti. Yleisin muokkausmenetelmä on äestys. Myös jatkuvatoiminen laikutus yleistyy kylvön yhteydessä. Tällä hetkellä koneellinen kylvö yhdistetään yleisesti maanmuokkauksen yhteyteen. Tällä menetelmällä kylvön tulokset ovat yleensä hyviä.

**Metsänuudistaminen istuttamalla.** Tällä hetkellä lähes kaikki metsänviljelyyn toimitettavat taimet ovat paakkutaimia. Pääosa metsänviljelymateriaalista on kuusen paakkutaimia. Maanmuokkausmenetelmien kehittyminen on mahdollistanut yhä pienempien taimien käytön istutuksessa tulosten huonontumatta. Siirtyminen paakkutaimien käyttöön on mahdollistanut myös istutuskauden pidentämisen. Myös koneellinen istutus on vähitellen kehittynyt. Kuusen taimia voidaan istuttaa kevästä lokakuulle saakka. Männyllä istutuskausi kestää keväällä kesäkuun alkuun saakka. Koivun taimia voidaan istuttaa sekä keväällä että kesällä. Myös koivun syysistutus saattaa olla mahdollista.

**Taimikonhoito** on osa uudistamisketjua, jolla turvataan metsän uudistamisen onnistuminen. Taimikonhoitotoimenpiteet koostuvat varhaishoidosta, varhaisperkauksesta ja myöhemmästä taimikonhoidosta. Taimikon varhaishoitoon kuuluu pääasiassa taimien vapauttaminen heinistä, ruohoista ja pensaista sekä tarvittaessa taimien täydennysviljely. Varhaisperkauksessa poistetaan taimia haittaava vesakko. Varsinaisessa taimikonhoidossa harvennetaan taimikko sopivaan kasvatustiheyteen.

### 1.2.4 Tasaikäisen metsän kasvatusta

**Kasvatushakkuilla** turvataan hyvälaatuisen ja arvokkaan puuston kasvuedellytykset ja tuotetaan puunmyyntituloja sekä parannetaan kasvatuksen taloudellista kannattavuutta.

**Ensiharvennus** on ensimmäinen myyntikelpoista kuitu- ja energiapuuta tuottava kasvatushakkuu. Se on metsänhoidollinen toimenpide, jonka tärkein tavoite on parantaa kasvatettavan puuston laatua ja turvata sen järeytymistä.

**Myöhempi harvennus** on ensiharvennuksen jälkeen varttuneeseen kasvatusmetsikköön tehtävä harvennus, jolla voidaan edistää tukkipuun tuotosta, saada puunmyyntituloja ja parantaa puustoon sitoutuneen pääoman tuottoa.

**Väljennyshakkuu** on varttuneen havupuuvaltaisen kasvatusmetsän tai uudistuskypsän metsän puustoa luontaiseen uudistamiseen valmisteleva harvennus. Sen tavoitteena on lisätä latvusten elinvoimaa sekä parantaa luontaisen uudistamisen edellytyksiä ja puiden siementuotantoa. Se edistää myös kasvatettavan puuston järeytymistä.

### 1.2.5 Metsän jatkuva kasvatus

Metsän jatkuva kasvatus on metsänhoitoa ilman avohakkuuta. Metsää ei hakata missään vaiheessa täysin paljaaksi, vaan suuri osa puustosta jätetään jäljelle erilaisia tarkoituksia varten. Jatkuvassa kasvatuksessa metsä säilyy koko ajan peitteisenä. Jatkuvan kasvatuksen hakkuutavat ovat

**Poimintahakkuussa** poistetaan suurimpia puita ja tehdään tilaa pienemmille, elinvoimaisille puille. Alemmista latvuserroksista poistetaan vioittuneet ja sairaat puut sekä harvennetaan ylitieheit puuryhmät.

**Pienaukkohakkuissa** tehdään pienialaisia, enintään 0,3 hehtaarin kokoisia luontaisesti taimettuvia aukkoja. Pienaukkohakkuuta voidaan käyttää eri tavoin osana erirakenteiskasvatusta. Pienaukoilla voidaan käydä vähitellen läpi koko metsikkö. Kun aiemmin tehdyt aukot ovat taimettuneet, niitä voidaan laajentaa. Useiden hakkuukertojen tuloksena on lopulta ryhmittäinen erirakenteinen puusto.

**Männyn siemenpuuhakkuussa** jätetään 50–150 hyvälaatuista valtapuuta hehtaarille. Isoja puita jätetään myös seuraavissa hakkuissa. Tämä ylispuukasvatus on männiköille sopivin, varmatoiminen jatkuvan kasvatuksen menetelmä.

### 1.2.6 Energiapuun korjuu

Hakkuutähteen korjuukohteiksi soveltuvat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä vastaavat turvemaat. Myös 1- ja 2-luokan pohjavesialueilta voi korjata hakkuutähteitä. Sen sijaan kuivilta kankailta, karukkokankailta sekä vastaavilta soilta ei suositella korjattavaksi hakkuutähteitä. Samoin ei suositella kallioisilta, lohka-reisilta, runsaskivisiltä tai jyrkiltä rinteiltä korjattavaksi hakkuutähteitä.

Kantojen korjuukohteiksi soveltuvat kuivahkot kankaat ja niitä viljavammat kivennäismaat sekä varauksin vastaavien turvemaiden muuttumat.

Kantojen korjuukohteiksi ei suositella puolukka-, mustikka- ja ruohoturvekankaita, kivennäismaista kuivia kankaita, karukkokankaita eikä vastaavia turvemaita, kallioisia, lohka-reisia, runsaskivisiä maita eikä jyrkkiä rinteitä. Myöskään pohjavesialueita ei suositella kantojen korjuukohteiksi.

Energiapuuta voidaan korjata karsittuina rankoina kaikista talousmetsistä, koska tällöin puiden oksat ja latvukset jäävät metsään, eikä metsän ravinnetilanne merkittävästi heikkene.

### 1.2.7 Metsälannoitus

Metsälannoituksen tavoitteena on parantaa puuston kasvua ja elinvoimaisuutta lisäämällä niitä ravinteita, joita maapohjassa on niukasti puiden tarpeisiin nähden. Metsälannoituksella voidaan parantaa jo entisestään hyvin kasvavan puuston kasvua tai poistaa puiden kasvun heikkenemistä aiheuttava ravinne-epätasapaino.

Kivennäismailla puiden kasvua rajoittaa yleisimmin typen puute toisinaan myös fosforin ja boorin vaje.

Turvemailla puiden kasvua rajoittaa ja kasvuhäiriöitä aiheuttaa useimmiten kaliumin, fosforin tai boorin puute. Turvemaille sopivia lannoitteita ovat erilaiset raetuhkatuotteet. Mineraalilannoitteita fosforin ja kaliumin lisäämiseen turvemaille ei ole tällä hetkellä saatavissa.

### 1.2.8 Metsäojitus ja ojien kunnossapito

Metsäojituksen tavoitteena on alentaa maaperän vesipintaa, jolloin happea pääsee syvemmälle turpeeseen, jolloin puiden juurten kasvuolot paranevat. Onnistunut metsäojitus lisää melko nopeasti puuston kasvua ja suon pintakasvillisuus muuttuu kangasmaan pintakasvillisuuden suuntaan. Suometsissä ja soistuneilla kankailla tehtyjen metsäojitusten seurauksena kasvullinen metsämaa on Suomessa lisääntynyt ja metsätalouden tuotosta on saatu parannettua merkittävästi.

Metsäojien vedenjohtokyky heikkenee asteittain, kun ojat tukkeutuvat ja kasvavat vähitellen umpeen. Nykyisin ojitustoiminta on siirtynyt uudisojituksista kunnostus- ja täydennysojituksiin, ja ojitusten tarveharkintaa on lisätty. Useimmiten riittävän kuivatuksen ylläpito edellyttää vähintään yhtä ojien kunnostuskertaa puuston kasvatusaikana. Ojien kunnostamisesta aiheutuu vesistöjen ravinnekuormitusta, jonka johdosta metsätalouden vesiensuojelumenetelmien kehittämiseen on viime vuosikymmeninä panostettu merkittävästi.

## 1.3 Metsänhoitosuosituksat pohjavesialueilla

Pohjavesialueilla harjoitetaan laajasti metsätaloutta. Toimintaa varten on laadittu metsänhoitosuosituksat (Äijälä ym. 2019) ja niihin liittyvät vesiensuojelusuositukset (Joensuu ym. 2012) varmistamaan, miten metsätaloutta voidaan harjoittaa aiheuttamatta

pohjavesien pilaantumista. Suositukset on laadittu käytännön kokemuksiin ja päätelyyn perustuen.

Metsikön sijainti pohjavesialueella ei rajoita puuston käsittelyä. Hakkuissa ja muissa metsätalouden toimenpiteissä tulee noudattaa pohjavesien määrän ja hyvän laadun turvaavia suosituksia. Erityisesti pohjavesialueella tehtävässä konetyössä on olennaista estää öljyn ja polttoaineen pääsy maaperään. Öljyvahinkojen ympäristöhaittoja voidaan pienentää käyttämällä mineraaliöljyn sijaan biohajoavia öljyjä. Koneissa on lisäksi aina oltava mukana öljyntorjuntaa varten liittyvää imeytyskalustoa. Työkoneiden huoltopaikat ja polttoainevarastot on suositeltavaa sijoittaa pohjavesialueiden ulkopuolelle.

1- ja 2-luokan pohjavesialueilla ei suositella kulotusta, torjunta-aineiden käyttöä eikä kantojen nostoa. Myöskään lannoituksia ei pääsääntöisesti suositella, mutta metsän terveyden ylläpitämiseksi tarpeelliset lannoitukset ovat mahdollisia. 1- ja 2-luokan pohjavesialueille suositellaan vain kevennettyä maanmuokkausta, kuten kivennäismaan pintaa paljastavaa kevyttä laikutusta tai kevyttä äestystä. Jos E-luokan pohjavesialueella tarvitaan voimakkaampia muokkaustapoja, on suositeltavaa kysyä ohjeet alueellisesta ELY-keskuksesta. Mikäli pohjavesialueella maanpintaa peittää moreenikerros, alueella voidaan käyttää myös laikku- ja kääntömätästystä sillä edellytyksellä, että muokkausjälki ei ulotu moreenikerroksen läpi. Turvemaiden pohjavesialueilla voidaan tehdä naveromätästystä, jos naverot eivät ulotu kivennäismaahan asti. Myös kääntömätästys on turvemaidella suositeltava menetelmä.

Ojitukset saattavat vaarantaa pohjaveden laatua etenkin alueilla, joilla pohjaveden pinta on lähellä maanpintaa. Aiemmin ojitetuilla turvepintaisilla pohjavesialueen osilla voidaan usein perata ojia aiheuttamatta pohjavesihaittoja, kun perkausta ei uloteta alkuperäistä kuivatussyvyyttä syvemmälle. Tällöin varmistetaan, että vanha kuivatus ei ole aiheuttanut pohjaveden purkautumista. Mikäli ojasyvyyden lisääminen olisi välttämätöntä vesien johtamisen takia, varmistetaan asiantuntija-arviolla, että pohjaveden purkaantumista syvennettäviin ojiin ei voi tapahtua. Arviointiapua voi kysyä esimerkiksi alueellisesta ELY-keskuksesta.

Metsätienrakennuksessa maa-aineksen ottoapaikoille on jätettävä riittävä suojakerros pohjavesipinnan yläpuolelle 1- ja 2-luokkaan kuuluvilla pohjavesialueilla. Suoalueiden pinta- ja pohjavesien pääsy pohjavesialueille on estettävä ja suovesien virtausmuutoksia on vältettävä. Tie on linjattava riittävän kauas lähteistä ja hetteistä, jotta tien rakentaminen ja käyttö eivät aiheuta pohjaveden pilaantumisvaaraa eivätkä haitallista pohjaveden purkautumista.

## Liite 2. Pohjavesi, taustaa ja käsitteitä

### 1 Pohjaveden merkitys

Pohjavesi on vettä, joka täyttää avoimet huokostilat maa- ja kallioperässä. Pohjavettä syntyy, kun sade- tai pintavesi imeytyy maakerrosten läpi tai virtaa kallioperän rakoihin. Pohjavettä on käytännössä lähes kaikkialla, mutta runsaimmin sitä muodostuu hyvin vettä johtavilla sora- ja hiekkamuodostumilla kuten harjuilla ja lajittuneilla reuna- muodostumilla. Näitä muodostumia on luokiteltu pohjavesialueiksi.

Pohjavesi liikkuu maa- ja kallioperässä painovoiman vaikutuksesta ja on yhteydessä pintavesiin. Pohjavettä purkautuu vesistöihin ja maaekosysteemeihin, joissakin tilanteissa vesistöistä puolestaan imeytyy pintavettä pohjaveteen. Pohjaveden mukana siihen liuenneet ravinteet ja mahdolliset haitta-aineet voivat kulkeutua laajalle ympäristöön.

Pohjavedenpinnan korkeus vaihtelee luontaisesti vuodenajoittain ollen yleensä korkeimmillaan syksyllä ja keväällä ja alimmillaan talvikaudella. Syksyllä ja keväällä pohjavesivarastot täydentyvät sateiden ja lumen sulamisvesien vaikutuksesta. Talvella maan ollessa roudassa uutta pohjavettä ei pääse muodostumaan, vaikka lumi välillä sulaisikin.

Pohjavedellä on Suomen vesihuollossa suuri merkitys, vesihuoltolaitosten jakamasta talousvedestä lähes 65 % eli noin 0,7 milj.m<sup>3</sup>/vrk on alkuperältään pohjavettä. Kiinteistökohtaisen vesihuollon perusta niin vakinaisessa kuin loma-asumisessakin on käytännössä oma rengas- tai porakaivo.

### 2 Pohjavesialueet

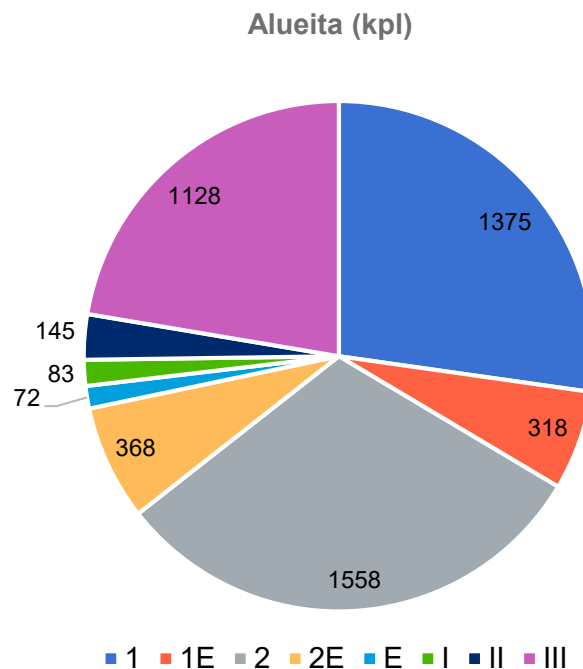
Pohjavesialueet on ympäristönsuojelulaissa määritelty geologisin perustein rajattavissa oleviksi maaperän muodostumiksi tai kallioperän vyöhykkeiksi, jotka mahdollistavat merkittävän pohjaveden virtauksen tai vedenoton. Pohjavesialueiden kartoitusta ja luokittelua on tehty jo pitkään perustuen pohjaveden merkitykseen vesihuollolle.

Nykyisellään pohjavesialueiden määrittäminen ja luokittelu perustuu vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lakiin (1299/2004, VMJL), jonka mukaisesti pohjavesialueet luokitellaan vedenhankintaa varten tärkeisiin (1-luokka) ja muihin vedenhankintaan soveltuviin (2-luokka) sekä niihin pohjavesialueisiin, joiden pohjavedestä luonnonsuojelu- tai muun lainsäädännön perusteella suojeltu pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen (E-luokka) (Britschgi ym. 2018).

Pohjavesialueiden määrittämis- ja luokitustyötä on käytettävissä olevien resurssien puitteissa tehty vuodesta 2016 alkaen. Tämä VMJL:n mukainen tarkistustyö on Suomessa saatu päätökseen jo lähes kaikissa ELY-keskuksissa ja lukumääräisesti 68 % pohjavesialueista on määritelty ja luokiteltu (kuva 1). Työ on vielä kesken Lapin ely-keskuksen alueella, jossa on lukumääräisesti eniten pohjavesialueita.

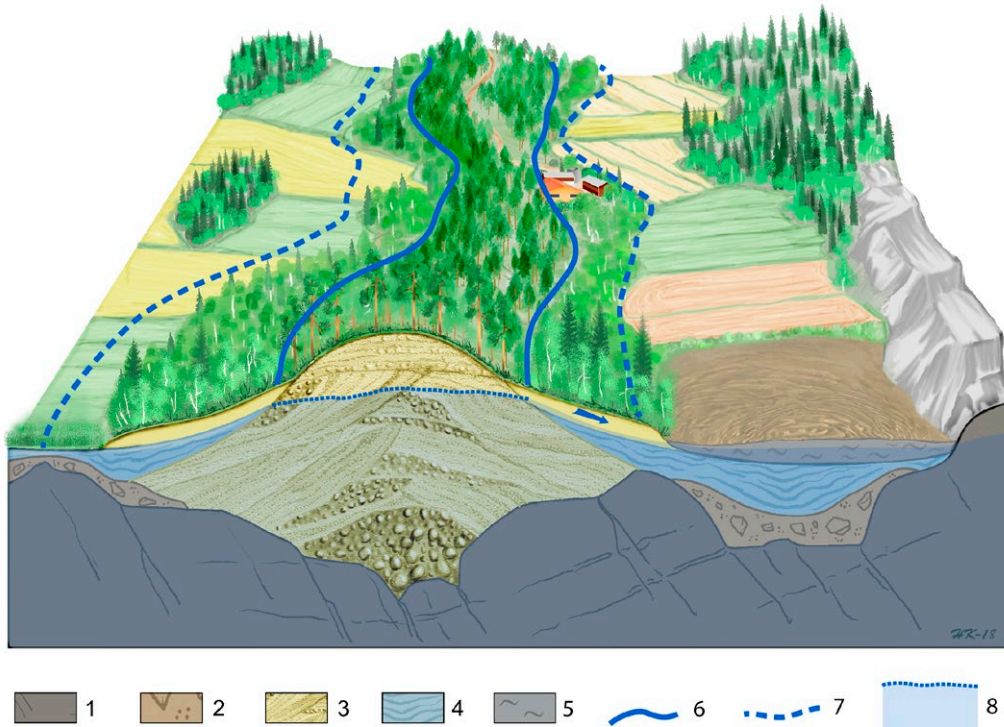
Pohjavesialueen määrittämisessä osoitetaan pohjavesialueen rajalla maanpinnalla (ja kartoilla) se alue, jolla on vaikutusta pohjavesimuodostuman veden laatuun tai muodostumiseen. Sisempi pohjavesialuerajaus kuvaa muodostumisaluetta eli pohjavesialueen osaa, jolla maaperä mahdollistaa veden merkittävän imeytymisen pohjavedeksi (kuva 2) (Britschgi ym. 2018).

Osittain tiiviiden maakerrosten alla sijaitsevien pohjavesimuodostumien osalta voidaan pohjavesialueeksi rajata koko se alue, jolla pohjavettä kertyy tai pohjavesi virtaa ja jolla on merkitystä pohjaveden suojelulle ja vedenhankinnalle. Tiiviiden maakerrosten alaisia pohjavesimuodostumia on erityisesti rannikkoalueilla Varsinais-Suomessa ja Pohjanmaalla. Monesti näihin muodostumiin liittyy paineellista pohjavettä (arteeminen pohjavesi, salpavesi). (Britschgi ym. 2018)



**Kuva 1.** Pohjavesialueiden lukumäärä VMJL:n mukaisissa luokissa (1, 1E, 2, 2E ja E) sekä vielä tarkistamattomien pohjavesialueiden lukumäärä vanhan luokituksen mukaan (I, II ja III) (POVET 30.11.2021).





**Kuva 2.** Pohjavesialueen raja vettä ympäristöön purkavalla harjulla. 1 = kallio, 2 = moreeni, 3 = sora, 4 = savi/siltti, 5 = turve, 6 = pohjavesialueen muodostumisalueen raja, 7 = pohjavesialueen raja ja 8 = pohjaveden pinta. Kuva Harri Kutvonen, GTK, julkaisussa Britschgi ym. 2018.

### 3 Pohjavesimuodostumat

Pohjavesimuodostumalla tarkoitetaan vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetussa laissa (1299/2004, VMJL) yhtenäisenä esiintymänä olevaa vettä, joka sijaitsee huokoisessa ja läpäisevässä maa- tai kallioperämuodostumassa. Pohjavesimuodostuma mahdollistaa merkittävän pohjaveden virtauksen tai merkittävän pohjavedenoton.

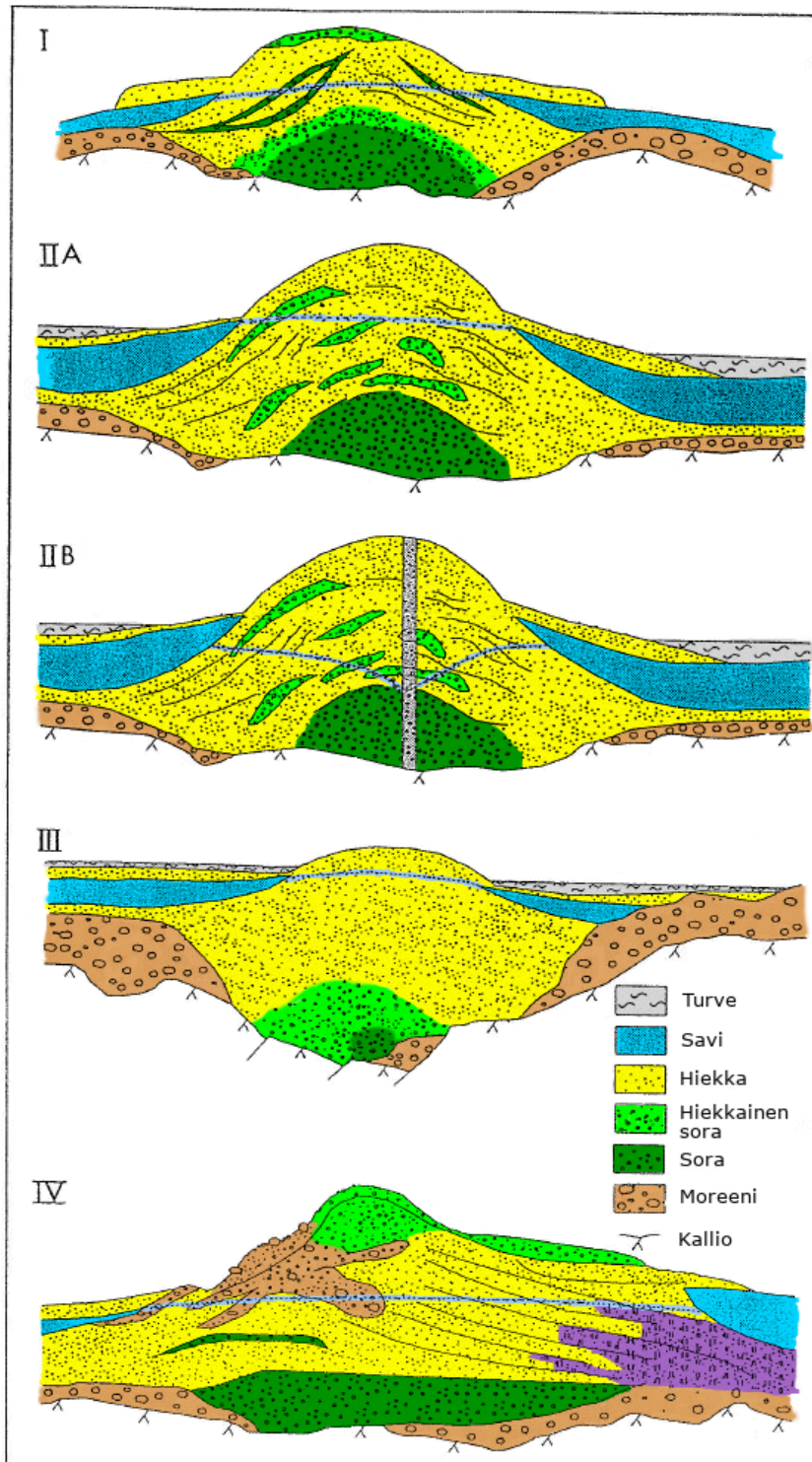
Pohjavedenotto katsotaan merkittäväksi, kun se on vähintään 10 m<sup>3</sup>/d. Liitäntä pohjavesialueiden ja -muodostumien välillä syntyy tämän pohjalta niin, että pohjavesimuodostumat sijaitsevat ympäristöhallinnon kartoittamilla ja luokittelemilla vedenhankintaa varten tärkeillä ja vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla. Pohjavesimuodostumina huomioidaan VMJL:n mukaan myös ne pohjavesialueet, joilla pohjaveden antoisuus riittää ylläpitämään merkittävää ekosysteemiä. Pohjavesimuodostumat ovat siis luokkiin 1, 1E, 2, 2E tai E kuuluvien pohjavesialueiden maa- tai kallioperämuodostumassa olevaa pohjavettä.



Suomessa pohjavesimuodostumat ovat geologiselta alkuperältään pääosin jääkauden sulamisvesien lajittelemia ja kasaamia harjuja ja reunamuodostumia. Eteläisen Suomen pohjavesimuodostumat voidaan jakaa päätyypeiltään matalaan tai syvään veteen kerrostuneisiin pitkittäisharjuihin, Pohjanmaan pitkittäisharjuihin ja Salpausselkätyypisiin reunamuodostumiin (kuva 3). Näillä kullakin on omat tyypilliset ominaispiirteensä (Niemi ym. 1994), joiden pohjalta on laadittu ja ajantasaistettu MODFLOW-ohjelmiston kanssa yhteensopivat pohjavesimallit ([https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_kehittaminen/Vesi/Mallit\\_ja\\_tyokalut/Pohjaveden\\_tyypimallit](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus_kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyypimallit)). Huomioitavaa on, että tyypimallit eivät kata kaikkia Suomessa esiintyviä pohjavesimuodostumia. Malleja ei ole tehty savipeitteisille pohjavesialueille, deltamuodostumille, rantakerrostumille eikä muille luokittelemattomille hiekka- ja soraumuodostumille. Myös pohjoisen Suomen muodostumat ovat niin monimuotoisia, ettei niille ole tehty yleistettyjä tyypimalleja.

## 4 Muita julkaisussa esiintyviä pohjavesikäsitteitä

**Akviferejä** ovat pohjaveden kyllästävät ja vettä hyvin johtavat maa- tai kallioperän muodostumat. Rinnasteinen käsite akviferille on **pohjavesiesiintymä** ja joskus puhutaan myös pohjavesivarastosta. Akviferi on hydraulisesti yhtenäinen muodostuma, joka voi antaa käyttökelpoisia määriä vettä. Akvifereja sisältyy mm. yhtenäisiin hiekka- ja sorakerrostumiin ja kallioperän ruhjevyöhykkeisiin. Jos pohjavesipinta pääsee tasoitumaan esiintymässä vapaasti, puhutaan vapaasta akviferista. Jos yläpuolella olevat tiiviit kerrokset salpaavat esiintymän pohjavettä, kuten esimerkiksi savipeitteisillä alueilla, joille pohjavesi kertyy ympäröiviltä vettä hyvin läpäiseviltä alueilta, kyse on paineellisesta esiintymästä (salpavesi). Joskus esiintymiä voi olla useita päällekkäin ja tällöin tiiviiden kerrosten päälle voi syntyä **orsivesiesiintymä**.



**Kuva 3.** Pohjaveden tyypimuodostumat: Matalaan veteen kerrostuneet harjut (I), syvään veteen kerrostuneet harjut (II A ja II B), Pohjanmaan pitkittäisharjut (III) ja Salpausselkä-tyyppiset reunamuodostumat (IV). (Niemi ym. 1994, Tuominen 2018).

## Liite 3. Pohjavedestä riippuvaliset ekosysteemit, taustaa ja käsitteitä

### 1 Yleistä pohjavedestä riippuvaisista ekosysteemeistä

Valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006, vesienhoitoasetus) määritellään pintavesiekosysteemin olevan pohjavedestä suoraan riippuvainen, kun siihen purkautuu pohjavettä siten, että pohjaveden purkautumisella on merkitystä kyseisen ekosysteemin suojelulle ja säilymiselle. Vastaavasti maaekosysteemi on pohjavedestä suoraan riippuvainen, kun pohjavesi ylläpitää luontotyyppin ominaispiirteitä sekä vaikuttaa sen suojeluun ja säilymiseen.

Klöve ym. (2011) ovat määritelleet pohjavedestä suoraan riippuvaiseksi ekosysteemin, jonka nykyinen muoto, rakenne ja toiminnallisuus on riippuvainen pohjaveden saannista. Rohde ym. (2017) puolestaan määrittelevät pohjavedestä suoraan tai välillisesti riippuvaisiksi ekosysteemeiksi (Groundwater dependent ecosystem, GDE) ne, jotka ovat kaikkien tai joidenkin (elin)vaatimustensa tai ominaisuuksiensa osalta riippuvaisia pohjaveden virtauksesta tai pohjaveden kemiallisista ominaisuuksista.

Luontaisesti pohjavesiesiintymä on tasapainotilassa, jossa kaikki muodostuva pohjavesi purkautuu ympäristöön. Purkautumisalue voi olla osa akviferia (pohjavesivaikutteiset lammet, latvapurot), sijaita akviferin välittömässä läheisyydessä (lähteet, suot) tai olla huomattavan kaukana varsinaisesta pohjaveden muodostumisalueesta (joet, järvet, meret).

Purkautumisalueiden ja pohjaveden rajapinnoilta tavataan pohjavedestä riippuvaisia ekosysteemejä (mm. Isokangas ym. 2017). Olosuhteet rajapinnoilla ovat erityislaatuiset, veden määrän, laadun tai lämpötilan osalta (ks. määritelmät). Olosuhteet suosivat hyvin näihin olosuhteisiin erikoistuneita eliölajeja ja ekosysteemejä. Esimerkiksi lähteissä ns. lähdelajit ovat sellaisia, joiden esiintyminen ja runsaus on jossain elinkierron vaiheessa riippuvaista riittävästä pohjaveden tulosta. Syyt eri lajien pohjavesiriippuvaisuudelle ovat moninaiset, mutta usein pohjaveden tarjoamat vakaat lämpötilaolot ja mikroilmasto ovat keskeisiä tekijöitä lähdelajien esiintymisen säätelyssä.

Puroissa, lähteissä ja soilla on kullakin oma tyypillinen eläin- ja kasvilajisto, joiden olemassaololle pohjavesiyhteys on keskeistä. Tiettyjä pohjavedestä riippuvaisille ekosysteemeille tyypillisiä lajeja voidaan pitää ns. indikaattorilajeina. Näiden lajien esiintyminen on viite siitä, että pohjavedellä on tärkeä rooli kyseisen ekosysteemin esiintymisessä. Esimerkiksi pohjaeläinten osalta koskikorenon toukkaa *Nemurella pictetii*

esiintyy sekä puroissa että lähteissä ja sen on havaittu olevan myös hyvä pohjavesiriippuvaisuuden indikaattori (taulukko 1) (Jyväsjärvi ym., 2018). Laji kuitenkin suosii seisovaa vettä, joten sitä esiintyy lähde-ekosysteemeissä tyypillisesti enemmän kuin puroissa.

Sammalten osalta pohjavesistä riippuvia lajeja on useita (jopa 49 lajia), joista erityisesti purosuikerosammal *Brachythecium rivulare* on yleinen ja tyypillinen laji lähteissä ja puroissa, joissa pohjavesivaikutteisuus on merkittävä. Lähteissä esiintyy myös hehtiirensammalta *Bryum weigeli*, joka on helppo tunnistaa ja siten soveltuu myös indikaattorilajiksi pohjavesiekosysteemeille (Jyväsjärvi ym. 2018).

Ihmistoiminta on suurin uhka pohjavedestä riippuvaisille ekosysteemeille. Vedenotto tai ojitus voi häiritä pohjaveden muodostumisen ja purkautumisen tasapainotilaa tai purkautumisalueita väliaikaisesti tai pysyvästi. Tasapainotilan häiriintyminen on havaittavissa muun muassa vähentyneinä virtaamina lähteissä, puroissa sekä tihkupintojen kuivumisena.

**Taulukko 1.** Indikaattorilajianalyysien perusteella valikoidut pohjavesiriippuvuutta ilmentävät selkärangattaksonit, niiden indikaattoriarvot, p-arvot sekä esiintyminen (%) puroissa ja lähteissä (Jyväsjärvi ym. 2018).

Taksoni	Ryhmä	Indikaattoriarvo	P-arvo	%-purot	%-lähteet
Nemurella pictetii	Koskikorennot	0.875	0.0001	24.7	94.2
Pediciidae-heimo	Vaaksiaiset	0.741	0.0001	0	54.9
Dixidae-heimo	Sinkilähyytset	0.451	0.0001	3.8	23.6
Culicidae-heimo	Hyytset	0.306	0.0001	0	9.3
Anacaena-suku	Kovakuoriaiset	0.267	0.0001	0	7.14
Gammarus lacustris	Äyriäiset	0.242	0.0023	1	6.7
Helophorus-suku	Kovakuoriaiset	0.223	0.0065	1	5.8
Hydrobius-suku	Kovakuoriaiset	0.189	0.0074	0	3.6
Elodes-suku	Kovakuoriaiset	0.177	0.0153	0	3.1
Cylindrotomidae-heimo	Piikkikirsikkäät (Sääsket)	0.177	0.0169	0	3.1

Pohjaveden pilaantuminen voi heikentää pohjaveden laatua paitsi akviferissä, myös purkautuvan pohjaveden osalta. Kuormitus voi olla ihmistoiminnan pistekuormitusta, liuottimia, öljyjä, jätevesiä tms. tai hajakuormitusta maataloudesta, metsätaloudesta, kaivoksista, urbaanista ympäristöstä, tiesuolauksesta yms. (Lehosmaa et al 2018, Rossi et al 2015)

Ilmastonmuutoksen osalta ennustetuissa pohjaveden pitkän aikavälin muutoksissa ovat veden laadun ja muodostumismäärien muutokset mahdollisia, mutta ennusteet epävarmoja. Pohjavesien ja lähteiden lämpötilan nousua on sen sijaan havaittu, jolloin vaikutukset ekosysteemeihin voivat olla nopeita. (Jyväsjärvi et al 2015)

Ekosysteemit voidaan jaotella terrestriaalisiin ja akvaattisiin systeemeihin. Tässä raportissa pohjavesiriippuvaiset ekosysteemit on jaoteltu lähteisiin, suoalueisiin, latvapuroihin ja lähdelampiin. Rajanveto on joiltain osin päällekkäinen; esimerkiksi suoalueet usein sisältävät lähdemäisiä tihkupintoja, ja latvapurot tyypillisesti saavat alkunsa lähteistä. Jaottelulla halutaan korostaa, että pohjavedestä riippuvaisten ekosysteemien kirjo on laaja.

## 2 Lähteet

Lähde mielletään usein selkeimmäksi suoraan pohjavedestä riippuvaiseksi systeemi: se on paikka, jossa pohjaveden pinta kohtaa maanpinnan ja pohjavesi silmin nähtäen purkautuu maasta. Tällainen lähteikkö on piste, jossa vesi purkautuu muodostaen vesialtaan, on allikkolähde. Suurin lähteeksi määritetty kohde Suomessa on Sulaoja lähellä Karigasniemeä, jossa tuhansia kuutioita vettä purkautuu lammen kokoluokan altaaseen. Lähdealue voikin olla alkupiste välillisesti pohjavedestä riippuvaiselle purosysteemille. Pienimmillään lähde voi puolestaan olla niin sanottu tihkupinta, jossa vettä purkautuu vain osan vuotta pohjaveden pinnan vaihtelun mukaan.

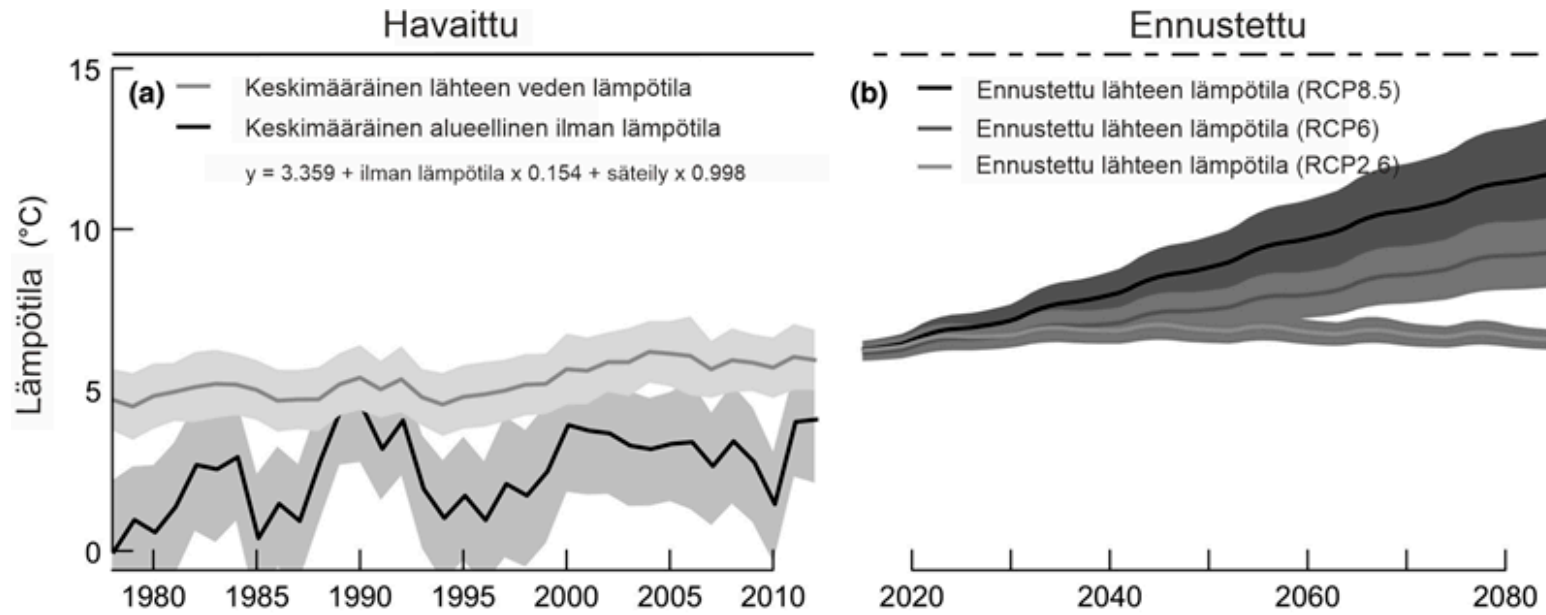
Lähteiköt muodostavat oman, yleensä ympäristöstään erottuvan, erikoistuneen habitattinsa, joilla on niille spesifistä floraa ja faunaa. Tästä syystä lähteet ovat usein biodiversiteetin kannalta tärkeitä kohteita (Cantonati ym. 2012; Virtanen ym. 2009). Lähteen valuma-alueen geologia, pinnanmuodot, pohjaveden muodostumisolosuhteet ja muut hydrogeologiset tekijät määrittävät lähteisiin purkautuvan pohjaveden laatua ja määrää. Nämä puolestaan taas ovat monessa tapauksessa määrääviä tekijöitä ekosysteemin rakenteelle (Kresic & Stevanovic, 2009). Suomessa lähteet ovat pääsääntöisesti mielletty kylmien ja karujen eliöstöjen ympäristöksi, mutta muodostumisalueen geologialla on yhteyttä trofiatasoon. Jos muodostumisalue on kalkkivaikutteinen, lähteikössä voi olla huurressammalia, jotka ovat Suomessa suojeluarvoiltaan merkittäviä. Tasaisesti saatavilla oleva tasalämpöinen (kylmä) vesi tekee lähteiköistä yleensä ympäristöään rehevämpiä alueita.

Lähteikköjä tavataan pohjavesialueiden yhteydessä, mutta myös missä tahansa muualla, missä hydrogeologiset olosuhteet pohjavesien purkautumiselle ovat sopivat. Lähteisiin kohdistuu riskejä niin purkautuvan veden muodostumisalueen kuin itse lähdealueenkin osalta. Maankäyttö lähteen yläpuolella voi vaikuttaa vedenlaatuun esim. ravinteiden tai antropologisten aineiden osalta (Rossi ym. 2015, Lehosmaa ym. 2018). Maankäyttö on puolestaan voinut muokata itse allikon ympäristöä (Lehosmaa ym. 2017). Lähteiden ekosysteemit ovat myös ilmastonmuutoksen kannalta kriittisiä kohteita, koska myös purkautuvan pohjaveden lämpötila on Suomessa nousussa (kuva 1, Jyväsjärvi et al., 2015). Tämä tulee siirtämään kylmään erikoistuneiden lajien elinpiiriä pohjoisemmaksi myös lähteiden osalta.

Lähteiden bakteeriyhteisöjen monimuotoisuuden on todettu heikentyvän jo alhaisissa nitraattipitoisuuksissa. Muutoksen kynnyksarvon on noin 400 µg/l (0,4 mg/l). Kun nitraattipitoisuus kohoaa yli tämän kynnyksarvon, häviävät useat bakteerit äkillisesti. Vain muutama bakteerilaji näyttää hyötävän nitraatin kohoamisesta lähteissä. Bakteereiden häviäminen heikentää lähteiden vedenlaatua. (Lehosmaa ym. 2021)

### 3 Suoalueet

Suot käsitteenä pitää sisällä hyvin laajan kirjon erilaisia ekosysteemejä, joille yhteisenä tekijänä on suhteellisen kostea elinympäristö, jonka seurauksena orgaaninen eli eloperäinen aines hajoaa hitaasti ja muodostuu turvetta. Viileä ilmasto voimistaa tätä ja maan kosteuden vuoksi syntyneet hapettomat olosuhteet edelleen hidastavat hajoamista ja lisäävät turpeen muodostumista. Karkeasti suot jaetaan ombrotrofisiin ja minerotrofisiin soihin. Ombrotrofiset suot ovat tyypillisesti karuja ja saavat vetensä ja ravinteensa sadevedestä. Niiltä vedet purkavat suota ympäröivälle alueelle. Minerotrofiset suot sen sijaan voivat olla pohjavesivaikuttajia, sillä niiden vedet ja ravinteet tulevat merkittävältä osalta suota ympäröivältä valuma-alueelta (Aapala ym. 2013). Soiden vesitalouden kannalta turpeen suuri vedenpidätyskyky, suhteellisen alhainen vedenjohtavuus ja kapillaarisuus mahdollistavat märkyyden säilymisen tasaisena ympäri vuoden. Pitkälle maatuneet syvemmät turvekerrokset sisältävät hyvin pieniä huokosia, joilla on voimakas kyky kapillaarisesti nostaa ja siirtää vettä pohjavesipinnan yläpuolelle. Tämän ilmiön seurauksena suokasvien vaatima tasainen märkyys ja kosteus on turvattu.



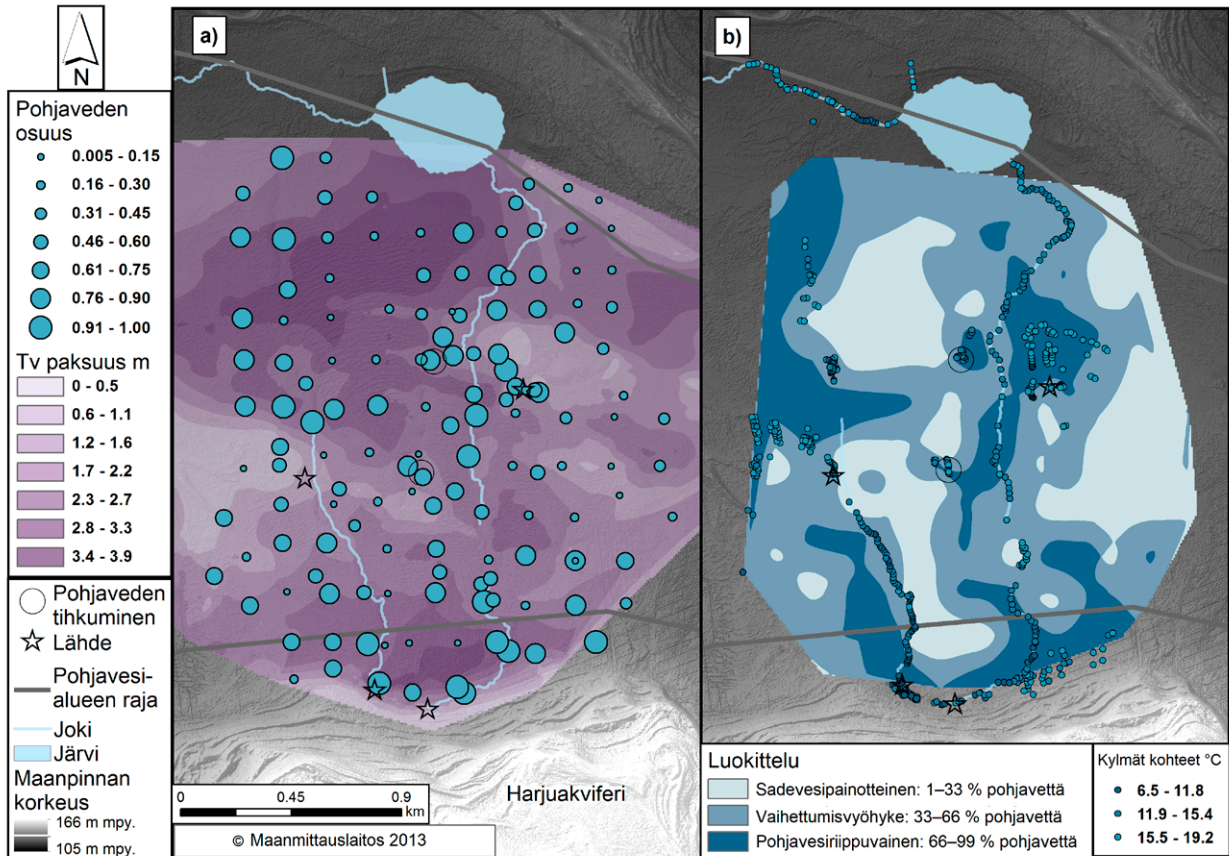
**Kuva 1.** a) Lähdevesien lämpötilan mittauskeskiarvoja 1975–2015. b) Arvio eri ilmastonmuutoskenaarioiden perusteella lämpötilan muutoksesta (muokattu Jyväskylä ym. 2015).

Yleensä suot esiintyvät isoina suoaltaina ja ne koostuvat eri yhdistelmätyypeistä (Kaakinen ym. 2018). Pohjavesivaikutteisuutta voi esiintyä esimerkiksi Etelä-Suomelle tyypillisillä kohosuon reuna-alueiden minerotrofisilla vyöhykkeillä, kun taas niiden keskusta on sadevedestä riippuvaista ombrotrofista suota. Sen sijaan Pohjois-Suomelle tyypillisillä aapasoilla pohjavesivaikutteisuutta voi esiintyä laajasti eri osilla, sillä ne ovat kokonaisuudessa minerotrofisia suotyyppejä (Aapala, 2013). Suon vesiolosuhteet voivat vaihdella paljon ja tyypillisesti märimpiä soita ovat avosuot ja kuivempia ekosysteemejä ovat metsäiset suotyypit kuten korvet ja rämeet. Letot ovat ravinteikkaimpia avosoita, joissa esiintyy ruskosammalia sekä vaateliaita rahkasammal- ja putkilokasvilajeja (mm. Kaakinen ym. 2018).

Voimakkaan rakentamisen ja maankäytön kuten metsätalouden ja maatalouden tarpeisiin toteutetun kuivatuksen sekä turvetuotannon seurauksena suoluonto on uhanalaistunut (Vasander ym. 2003). Esimerkiksi pohjavesivaikutteiset rehevät suot ovat olleet ravinteikkautensa vuoksi haluttua viljelymaata ja sen vuoksi intensiivisen kuivatuksen kohteina (Van Diggelen ym. 2006). Tästä esimerkkinä ovat letot, joita Etelä-Suomessa ei juuri enää esiinny.

Suon sisällä pohjaveden vaikutus voi olla joko pistemäistä purkautumista tai laajemmalle alueelle pohjaveden tihkumista (Hare ym. 2017). Erityisesti harjun ja suon yhdistelmässä pohjaveden suuri gradientti usein aiheuttaa pistemäisiä lähdepurkautumisia harjun ja suon rajapintaan. Tällöin voi muodostua myös suon läpi kulkeva lähteestä alkunsa saava puro (Isokangas ym. 2016). Pohjaveden mitattu osuus vaihtelee aina 0 %:sta 100 %-yksikköön asti (kuva 2), jopa yli 1 km päässä suon reunalta. Suolle syntyvä pohjavesijakauma riippuu pitkälti alueen geologiasta. Esimerkiksi Oulun lähellä olevalla, Viinivaaralta vetensä saavalla Mesisuolla ohjaa heikosti vettä läpäisevän moreeniselänteen muodostuminen keskelle suoaluetta pohjavedet syvemmistä kerroksista suon pintaan (kuva 3).





**Kuva 2.** a) Pohjaveden mitattu osuus vaihtelee aina 0 %:sta 100 %-yksikköön asti (eli 0,005–1,00), jopa yli 1 km päässä suon reunalta (Isokangas ym. 2017). b) Alueellinen pohjaveden rooli jopa saman suoalueen sisällä voi vaihdella paljon. Tutkittu isotooppimenetelmällä (Isokangas ym. 2017) ja pohjavesimallinnuksella (Jaros 2019, Rossi 2014, Ala-aho ym. 2015b) ja lämpökameroilla (Isokangas ym. 2017). Pohjavesimallinnuksella on havaittu, että turvekerroksen paksuuden ja hydraulisten ominaisuuksien tunteminen on tärkeää purkautumisalueiden tunnistamisessa (Autio ym. 2020). Mallinnuksella havaittiin myös, että pohjaveden pinnankorkeuden seuranta soiden läheisyydessä ei ole hyvä indikaattori pohjaveden purkautumisolosuhteiden muutoksista.



**Kuva 3.** Viinivaaralta (kuvan a taka-alalla) vetensä saavalla Mesisuolla (kuva a) heikosti vettä läpäisevän moreeniselänteen muodostuminen keskelle suoaluetta ohjaa pohjavedet syvemmistä kerroksista suon pintaan. Vaaran juurella olevasta lähteestä (kuva b) saa alkunsa Mesioja, joka virtaa suon läpi. Kuvat Pekka Rossi.

## 4 Latvapurot

Veden virtausreiteillä on suuri vaikutus etenkin latvavesistöjen hydrologisiin ja geokemiallisiin prosesseihin ja ekologisiin toimintoihin (Freeman ym., 2007, Finn ym., 2011). Pohjaveden purkaumalla on yleensä merkitystä alivirtaamien ylläpitäjänä (Sophocleous, 2002, Winter, 2007). Lisäksi pohjavesi eroaa pintavesistä geokemiallisilta ominaisuuksiltaan (Bertrand ym., 2012; Krycklan refs). Pohjaveden purkaumat ylläpitävätkin omalaatuista pohjavesistä riippuvaista lajistoa (Jyväsjärvi ym. 2015).

Kaikilla pohjaveden virtauksiin kohdistuvilla muutoksilla voi olla merkittävä vaikutus latvavesistöjen paikallisten virtausten laatuun ja määrään. Vaikutus on merkittävä

etenkin lähellä pohjavesialuetta, jonka jälkeen pintaveden osuus virtaamasta yleensä kasvaa ja pohjaveden rooli asteittain vähenee (Isokangas ym. 2019). Pohjavesistä riippuvaisissa virtaekosysteemeissä monet lajit ovat riippuvaisia pohjaveden ylläpitämisestä olosuhteista. Nämä olosuhteet ovat i) tasaiset virtaama olosuhteet, ii) vakaa lämpötila ja iii) veden laatu (Bertrand ym., 2012). Erityisesti herkillä kesän ja talven matalavirtaisilla jaksoilla pohjaveden purkaumat luovat tasaisen virtaaman ja lämpötilan suojavaikuteita eliöstölle (Younger, 2006, Dugdale ym., 2013, Snyder ym., 2015). Pohjavesivaikutteisten latvapurojen merkitys tulee kasvamaan muuttuvan ilmaston myötä ja ääriolosuhteiden lisääntyessä.

Pohjavesivaikutteiset latvapurot ovat herkkiä paikalliselle maankäytölle mukaan lukien metsätalouden hakkuut ja ojitukset (Rossi ym., 2012, Rossi ym., 2014, Saarinen ym., 2013, Eskelinen ym., 2016). Toimenpiteet voivat paikallisesti alentaa pohjavesipintoja ja siten muuttaa purkautuvan pohjaveden määrää, virtausreittejä, veden laatua ja virtojen ekologiaa (Poff ja Zimmerman, 2010). Tämä korostaa tarvetta huomioida pohjavesistä riippuvaiset latvapurot paremmin metsätalouden toimenpiteissä, jotta niitä voidaan paremmin suojella ja hallita niiden vedenlaatua ja virtausolosuhteita.

Metsätalouden ojitus vaikuttaa merkittävästi etenkin paikallisiin pohjaveden purkaumien muutoksiin ja erityisesti purkauma kohtiin (kuva 4). Jos virtaama luonnollisissa lähteissä vähenee ojituksen seurauksena, se korvaantuu ojiin purkautuvalla vedellä, eli kokonaispohjavalunta (puroon tulevan pohjaveden määrä) purossa pysyy samana tai kasvaa (Kupiainen 2010). Vastaavasti, veden virtaaminen ojaverkostossa luonnollisten lähdeuomien sijaan voi lisätä ravinteiden huuhtoutumista, ja täten vaikuttaa pohjavesistä riippuvaisiin puroekosysteemeihin (Eskelinen refs).

Hakkuut ja maanmuokkaukset etenkin turvealueilla lisäävät ravinteiden ja hiilen huuhtoutumista latvavesistöihin ja vaikuttavat vedenlaatuun, lämpötilaan sekä voivat vaikuttaa edelleen latvavesistöjen lajistoihin ja elinolosuhteisiin. Pohjaveden muodostumisalueilla vastaavasti hakkuut ja maanmuokkaukset vaikuttavat pohjaveden muodostumiseen ja laatuun ja sitä kautta viiveellä latvapurojen olosuhteisiin. Asiasta ei kuitenkaan ole varmennettuja vaikutuksia puroekosysteemitasolla.



a)



b)



**Kuva 4.** Lähdemäinen pohjavesipurkauma turvekerrokseen kaivetussa metsäojassa. Lisääntyneen virtaaman lisäksi purkaumasta kulkeutuva hiekka ja ruskea rautasakka tekevät a) purkautumiskohtan tai b) pohjavesivaikuttaisen ojan tai puron tunnistettavaksi. Kuvat Pekka Rossi ja Pertti Ala-aho.

## 5 Pohjavesivaikuttaiset järvet ja lammet

Suomen hydrogeologisissa olosuhteissa järvet ja lammet ovat tyypillisesti yhteydessä pohjaveteen. Poikkeuksen muodostavat orsivesilammet, joissa lampi muodostuu huonosti vettäläpäisevien maakerrosten päälle, varsinaisen alueellisen pohjaveden pinnan jäädessä erilleen järvestä, järven ”alle”. Järvet voivat joko vastaanottaa pohjavettä (pohjaveden virtaus järveen päin, kuva 5) tai muodostaa pohjavettä (virtaus järvestä pohjaveteen päin) järven pohjan läpi. Tyypillisesti järvi sekä vastaanottaa että muodostaa pohjavettä eri osissa järveä (”läpivirtausjärvi”).

Pohjaveden rooli voi olla merkittävä vesi ja ravinnetaseessa (Ala-aho ym. 2013, 2015, Meiniikmann ym. 2013, LAbaugh ym. 1997)). Pohjaveden rooli järvien ja lampien vesitaseessa riippuu voimakkaasti järveä ympäröivistä hydrogeologisista olosuhteista. Järven sijaitessa tasaisessa maastossa (gradientti järven ja pohjaveden välillä pieni), moreenimailla (maaperän vedenjohtavuus heikko) ja jos järvessä on tulevia ja poistuvia merkittäviä virtavesiuomia, pohjaveden rooli vesitaseessa voi jäädä merkityksettömän pieneksi. Vastaavasti, jos järvi sijaitsee kumpuilevassa maastossa (gradientti järven ja pohjaveden välillä suuri), sora- tai hiekkamailla (maaperän vedenjohtavuus hyvä), ja järvessä ei ole tulo- tai lähtöuomia, pohjaveden rooli järvessä ja järven ekosysteemissä korostuu (Vainu ym. 2015). Tällaiset olosuhteen vallitsevat Suomen oloissa tyypillisesti harjuakviferien päällä ja reunoilla sijaitsevilla järvissä ja lammissa. Lähdelammet on Suomessa määritelty omaksi luontotyyppiksi, joka on arvioitu vaarantuneeksi etenkin Etelä-Suomessa (Ilmonen ym. 2008).

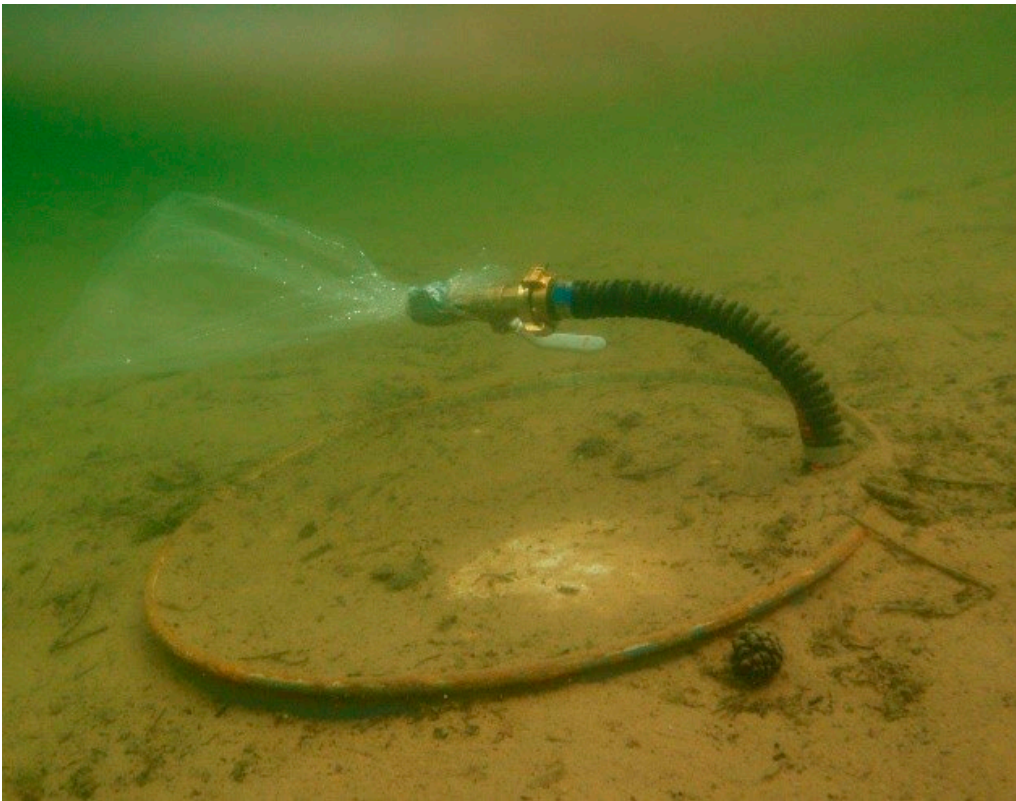


**Kuva 5.** Vähäinen lumi tai sulat alueet järvien rantojen tuntumassa talvisin voivat viitata ympäristöään lämpimämmän pohjaveden purkautumiseen näissä kohdin. Kuva Rokuan pohjavesialueelta Ahveroisen lammesta keskitalvella ja lopputalvesta kohdissa, joissa tunnettuja pohjavesipurkauksia. Kuvat Pekka Rossi ja Pertti Ala-aho.

Pohjaveden roolin ymmärtämistä järvien vesitaseessa ja ekosysteemeissä vaikeuttaa se, että pohjaveden ja järven välistä vuorovaikutusta on vaikea määrittää luotettavasti. Virtausnopeudet ovat yleensä pieniä, ja siten vaikeasti havaittavissa. Suotautumismittaus on pitkään käytetty menetelmä, jolla virtausnopeutta voidaan määrittää suoralla mittauksella järven pohjasta (kuva 6). Veden isotooppimenetelmät, lämpökamerakuvaus ja matemaattinen mallinnus ovat lisääntyvissä määrin käytettyjä menetelmiä vuorovaikutuksen tutkimiseen. Isokangas ym. (2015) määrittivät vesitaseen 67 järvelle Rokuan harjualueella käyttäen isotooppimenetelmiä, ja havaitsivat että alueella järvien vedestä 39–98 % oli pohjavettä.

Järvi-pohjavesi vuorovaikutuksen tutkimusta vaikeuttaa myös suuri alueellinen vaihtelu pohjaveden purkautumisnopeudessa ja määrässä (Ala-aho ym. 2013, Härkönen 2012, Uusitalo 2019, Rautio ja Korkka-Niemi 2015). Ala-aho ym. (2015b) käyttivät lämpökameroita Rokuan harjualueen järvissä tunnistamaan pohjaveden purkautumispaikkoja, ja vertailivat tuloksia numeeriseen mallinnukseen. Purkautuminen voi olla hyvinkin lähdemäistä. Vaihteleva pohjaveden purkautuminen vaikuttaa ekosysteemien alueelliseen esiintymiseen järvessä, jolloin pohjavedestä riippuvaista lajistoa tavataan

pohjaveden purkautumiskohdissa (Rosenberry ym. 2016, refs). Purkautuvan pohjaveden määrä vaihtelee myös ajallisesti, purkautumisen ollessa suurinta korkeilla pohjaveden pinnoilla (Ala-aho ym. 2015b). Tällä on havaittu olevan vaikutusta kausittaiseen vaihteluun ekosysteemeissä (Naranjo ym. 2019). Biologinen ja limnologinen tietämys harju- ja lähdelampien ekosysteemeistä on Suomen oloissa toistaiseksi vähäistä (Ilmonen ym. 2008).



**Kuva 6.** Järven ja pohjaveden vuorovaikutusta voi määrittää suotautumismittareilla, joilla voidaan arvioida järveen tulevan tai järvestä poistuvan pohjaveden virtausta. Kuva Riku Eskelinen.

## Liite 4. Eri tahojen pohjavesisuositukset metsätalouteen

### 1 Tapio Oy:n Metsänhoidon suositukset

Tapio Oy:n vesiensuojelun ohjeistuksessa (Joensuu ym. 2019) huomioidaan metsänhoitotoimien osalta ojitus, lannoitus, vesien johtaminen, maanmuokkaus, kantojen nosto, öljyvahinkojen välttäminen, kulutus, metsäteiden rakentaminen sekä maa-ainestenotto (taulukko 1).

Tapio Oy:n metsänhoidon suositusten pääteoksessa (Äijälä ym. 2019) suositukset vastaavat pääpiirteissään vesiensuojelun ohjeistusta. Pääteoksessa on huomioitu myös metsäpaloihin varautuminen sekä jatkuva kasvatus, jonka osalta todetaan sen voivan vähentää ojaston kunnostustarvetta ja siitä syntyvää vesistökuormitusta. Toisaalta tiedostetaan, että tällä hetkellä ei ole pystytty vielä määrittelemään, millainen puuston määrä olisi pohjavedenpinnan säätelyn kannalta riittävä erityyppisillä kasvupaikoilla.

Jatkuva kasvatuksen todetaan säilyttävän puustoisuutta, jolla voidaan säädellä turvemaiden vesitaloutta ja hiilensidontaa. Pohjavedenpinnan säätelyllä todetaan puolestaan olevan vaikutusta turvemaiden kasvihuonekaasujen päästöihin; metaanipäästöjä syntyy pohjavedenpinnan ollessa korkealla ja pohjavedenpinnan alenemisen seurauksena kuivuva turve hajoaa, jolloin hiili vapautuu siitä hiilidioksidina. Kasvava puusto sitoo kuitenkin enemmän hiiltä kuin turpeesta vapautuu (viitattu Nieminen ym. 2018).

Kantojen noston osalta molemmissa ohjeistuksissa ei korjuun katsota soveltuvan 1- ja 2-luokan pohjavesialueille, koska se voi aiheuttaa ravinteiden huuhtoutumista pohjavesiin. Poikkeuksena todetaan kuitenkin männynjuurikäävän vaivaamat uudistusalat, joilta kantojen korjuu on suositeltavaa. Hakkuutähteiden korjuun osalta todetaan 1- ja 2-luokan pohjavesialueiden soveltuvan korjuukohteiksi (Äijälä ym. 2019).

Vesiensuojelun ohjeistuksessa kasvinsuojeluaineiden käytön osalta ei pohjavesialueita nosteta erikseen esille (Joensuu ym.2019). Suositusten pääteoksessa (Äijälä ym.2019) todetaan, ettei kasvinsuojeluaineita käytetä pohjavesialueilla eikä niiden käyttöä suositella 1- ja 2-luokan pohjavesialueilla. Molemmissa ohjeistuksissa huomioidaan vesistöjen ja pienvesien varsille jätettävät suojakaistat.



**Taulukko 1. Tapio Oy:n vesiensuojelun ohjeistukseen (Joensuu ym. 2019) sekä Tapio Oy:n Metsänhoidon suosituksiin (Äijälä ym. 2019) sisältyvät pohjavesiin liittyvät ohjeet.**

Toimenpide	Suositus pohjavesialueille
Ojitus (nykyisin tehdään vain ojien kunnostamista)	<p>Pohjavesialueella tapahtuvasta vähäisestäkin ojituksesta on aina ilmoitettava ELY-keskukselle 60 vuorokautta ennen toimenpiteen aloittamista.</p> <p>Huolehditaan, ettei kunnostusojituksella vähennetä pohjavesiesiintymien antoisuutta tai muutoin huononnetta niiden käyttökelpoisuutta.</p> <p>Kunnostusojittamatta <b>jätetään</b> (Äijälä ym. 2019) / <b>suositellaan jätettäväksi</b> (Joensuu ym.2019) 1- ja 2-luokan pohjavesialueet, mikäli ojat jouduttaisiin kaivamaan turvekerroksen alla olevaan kivennäismaakerrokseen alkuperäistä ojasyvyyyttä syvemmäksi.</p> <p>Aiemmin ojitetuilla turvepintaisilla pohjavesialueen osilla voidaan usein perata oja aiheuttamatta pohjavesihaittoja, kun perkausta ei uloteta alkuperäistä kuivatussyvyyttä syvemmälle. Tällöin varmistetaan, että vanha kuivatus ei ole aiheuttanut pohjaveden purkautumista.</p> <p>Perusteltua olisi selvittää mahdollinen paineellisen pohjaveden esiintyminen.</p> <p>ELY-keskukseen otetaan yhteys, mikäli kunnostusojitukseen kuuluu pohjavesiluokkaan E kuuluvia alueita. Tällöin lähialueilla saattaa olla muuhun lainsäädäntöön perustuvia suojelukohteita, kuten esimerkiksi vesilain 2 luvun 11 §:n nojalla suojeltuja pienvesi-ekosysteemejä.</p> <p>Kunnostusojitusalueen ulkopuolelle rajataan metsälain 10 §:ssä ja luonnonsuojelulaissa suojellut kohteet (Joensuu ym.2019).</p>
Lannoitus	<p>1- ja 2-luokan pohjavesialueita ei lannoiteta.</p> <p>Mikäli tarvitaan terveyslannoitusta, sen pohjavesivaikutukset tulee arvioida ja tarvittaessa tulee olla yhteydessä ELY-keskukseen lannoitusedellytysten selvittämiseksi.</p>
Vesiensuojelu (pohjaveden suojelu)	<p>On tärkeää estää ravinteiden, kiintoaineksen ja kemikaalien päätyminen pinta- ja pohjavesiin (Äijälä ym. 2019).</p> <p>Ota vesiensuojelu huomioon, kun toimit pohjavesialueella.</p> <p>Suoalueiden pinta- ja pohjavesien pääsy pohjavesialueille on estettävä.</p> <p>Happamalla sulfaattimaillo vältetään kuivatussyvyyden lisäämistä tai pidättäydytään kunnostusojituksesta (Joensuu ym. 2019).</p>
Kasvinsuojeluaineet	<p>Kasvinsuojeluaineita ei käytetä pohjavesialueilla, eikä 1- ja 2-luokan pohjavesialueilla suositella torjunta-aineiden käyttöä. (Äijälä ym. 2019)</p> <p>Suomessa voidaan käyttää ainoastaan Turvallisuus- ja kemikaalivirasto TUKES:n hyväksymiä kasvinsuojeluaineita. Ammattikäytössä on työntekijällä ja yrittäjällä oltava aina kasvinsuojelututkinto (Joensuu ym. 2019).</p>



Toimenpide	Suositus pohjavesialueille
Puun korjuu	Metsikön sijainti pohjavesialueella ei rajoita puuston käsittelyä. Hakkuissa ja muissa metsätalouden toimenpiteissä tulee noudattaa pohjavesien määrän ja hyvän laadun turvaavia suosituksia. (Äijälä ym. 2019)
Kantojen nosto	1- ja 2-luokan pohjavesialueilla ei suositella kantojen nostoa. Kannonnoston ulkopuolelle jätetään vesistöjen ja pienvesien suojakaistat ja ojien penkereet.
Hakkuutähteet	Pohjavesialueet, luokat 1 ja 2, soveltuvat korjuukohteeksi. (Äijälä ym. 2019).
Maanmuokkaus	1-, 2- ja E- luokan pohjavesialueille suositellaan vain kevennyttä maanmuokkausta kuten kevyt laikutus tai äestys. Mikäli maanpintaa peittää moreenikerros, alueella voidaan käyttää myös laikku- ja kääntömätästystä sillä edellytyksellä, että muokkausjälki ei ulotu moreenikerroksen läpi. Turvemaiden pohjavesialueilla voidaan tehdä naveromätästystä, jos naverot eivät ulotu kivennäismaahan asti. Myös kääntömätästys on turvemaiden suositeltava menetelmä (Joensuu ym. 2019). Turvemaiden pohjavesialueilla voidaan tehdä navero- tai ojitusmätästystä, jos naverot ja ojat eivät ulotu turvekerroksen alla olevaan kivennäismaahan (Äijälä ym. 2019). Paineellisen pohjaveden alueilla järeä maanmuokkaus, kuten esimerkiksi ojitus- tai naveromätästys, voi aiheuttaa pohjaveden purkautumisriskin. Tästä syystä ojitus- ja naveromätästystä ei suositella käytettävän näillä pohjavesialueilla. (Joensuu ym. 2019) Poikkeustapauksissa veden vaivaamalla tiiviillä maapohjilla voi olla tarpeen käyttää ojitusmätästystä uuden metsän aikaansaamiseksi. Tällöin tulee varmistua, että toimenpiteestä ei aiheudu vesilaissa kiellettyjä seurauksia. Ilmoitus ELYlle 60 vrk ennen. (Joensuu ym. 2019)
Koneet ja öljytuotteet	Huolehdi koneiden, laitteiden ja niissä olevien letkujen kunnosta, suojaa öljyastiat kuljetuksen ajaksi, hävitä jäteöljyt ja tyhjät öljykannut asianmukaisesti, älä huolla metsäkoneita pohjavesialueilla, pidä koneessa aina mukana öljyntorjuntaa varten liittyvää imeytyskalustoa ja vie jäteöljyt pois metsästä asianmukaisesti hävitettäväksi. (Joensuu ym. 2019, osin myös Äijälä ym. 2019) Vahinkojen ympäristöhaittoja voidaan pienentää käyttämällä mineraaliöljyn sijaan biohajoavia öljyjä. (Äijälä ym. 2019)
Kulutus	Ei suositella kulotusta metsänhoidollisten tavoitteiden saavuttamiseksi, mutta luonnonhoidollinen kulutus voi poikkeuksellisesti tulla kyseeseen. Yhteys ELYyn.

Toimenpide	Suositus pohjavesialueille
Metsäpalot	Huomioidaan metsäpalovaroitukset hakkuiden toteutuksessa. Varmistetaan metsäammattilaisten metsäpalon sammutuksen osaaminen. Ylläpidetään metsäalan ja pelastustoimen yhteistyötä. (Äijälä ym. 2019)
Metsätiet	Metsälain määrittelemän erityisen tärkeän elinympäristön kiertäminen tai 11 §:n mukaisen poikkeusluvan haku Suomen metsäkeskukselta. Suovalueiden pinta- ja pohjavesien pääsy pohjavesialueille on estettävä. Suovesien virtausmuutoksia vältetään esimerkiksi rakentamalla pengertie. Tie on linjattava riittävän kauas lähteistä ja hetteistä, jotta tien rakentaminen ja käyttö ei aiheuta pohjaveden pilaantumisvaaraa eikä haitallista pohjaveden purkautumista. (Joensuu ym. 2019)
Maa-ainestenotto	Suojakerrokset pohjavesipinnan yläpuolelle, työkoneiden huoltopaikat ja polttoainevarastot pohjavesialueiden ulkopuolelle. (Joensuu ym. 2019)
Pohjavesi-riippuvaiset ekosysteemit	Vesistöjen rannoilla ja pienvesistöjen, kuten purojen, norojen, lampien ja lähteiden varsilla, jätetään vähintään 5 metrin suojakaista, jossa maan pintaa ei rikota. (Joensuu ym. 2019)

## 2 Metsähallitus Metsätalous Oy:n ympäristöopas

Metsähallituksen ympäristöoppaassa (Kaukonen ym. 2018) korostetaan vesienhoito-suunnitelmien huomioimista ja muistutetaan metsätaloudelle toimenpideohjelmassa asetetuista vesistökuormituksen vähentämistavoitteista. Oppaassa ohjeistetaan useissa kohdin tarvittaessa tarkistamaan pohjavesialueiden rajauksen ja luokituksen ajantasaisuus alueelliselta ympäristöviranomaiselta tai ympäristöhallinnon paikkatietopalvelusta. Ympäristöoppaassa ei ole vielä huomioitu VMJL:n mukaista luokitusta, vaan pohjavesialueiden osalta puhutaan I ja II luokan alueista (taulukko 2).

**Taulukko 2. Metsähallituksen Metsätalous Oy:n ympäristöoppaan pohjavesiin liittyvät suositukset (Kaukonen ym. 2018).**

Toimenpide	Suositus pohjavesialueille
Ojitus (nykyisin tehdään vain ojien kunnostamista)	<p>Pohjavesialueilla ja sulfaattimailla tehdään aina 60 vrk ennen aiottuja toimenpiteitä ojitusilmoitus alueelliselle ympäristöviranomaiselle.</p> <p>Luokkien I ja II pohjavesialueilla sijaitsevat ojitusalueet jätetään pääsääntöisesti kokonaan kunnostamatta.</p> <p>Jos pohjavesialueella on paksaturpeista turvemaata, jolla on kunnostusojitustarve, selvitetään kunnostusojitusmahdollisuus ennen toimenpiteiden suunnittelua alueelliselta ympäristöviranomaiselta.</p> <p>Pohjaveden purkautumisen välttämiseksi luokkien I ja II pohjavesialueiden rajan ulkopuolelle jätetään 30–60 metriä leveä reunavyöhyke, jolla ei kaiveta.</p> <p>Mikäli I- tai II- luokan pohjavesialueen karttarajaus ulottuu edellä mainittua reunavyöhykkeen leveyttä laajemmalti ojitetun paksaturpeisen (turpeen paksuus yli 90 cm) turvemaan puolelle, alueen rajaus ja ojien perkausmahdollisuus tarkistetaan alueelliselta ympäristöviranomaiselta.</p>
Lannoitus	<p>Puuston kasvun lisäämiseen tähtääviä lannoituksia ei tehdä I–II luokan pohjavesialueilla. Mahdollisia ovat vain erityistapauksissa metsän terveyden ylläpitämiseksi tarpeelliset lannoitukset, ei kuitenkaan tuhkalla.</p> <p>Terveyslannoituksesta pohjavesialueella ollaan tarvittaessa yhteydessä alueelliseen ympäristöviranomaiseen.</p> <p>Lannoitteet varastoidaan ja levitetään siten, että niiden pääsy suoraan vesistöihin ja ojavesiin estetään. Lannoitevarastoa ei saa sijoittaa pohjavesialueelle eikä 50 metriä lähemmäksi vesistöä.</p>
Vesiensuojelu	<p>Leveän suoja-vyöhykkeen (-&gt;30 m) jättäminen sinne, missä pohjavesi on korkealla, sekä pinta- ja pohjavesien purkukohtiin, edistää monessa tapauksessa sekä vesiensuojelua että monimuotoisuutta. Puustoinen suojavyöhyke pyritään rajaamaan vaihtelevan levyiseksi hyödyntäen maaston, puuston ja muun kasvillisuuden luonnollisia vaihtumiskohtia.</p>
Kasvinsuojelu- aineiden käyttö	<p>Torjunta-aineiden käyttö on ehdottomasti kielletty pohjavesialueilla ja kaikilla vesiensuojelun suojavyöhykkeillä.</p>
Puun korjuu	<p>Puutavaran koneellisen hakkuun ja lähikuljetuksen huono ajoitus aiheuttaa haitallista maanpinnan rikkoutumista, puun juurien vaurioitumista ja syöpymiselle alttiita ajourapainumia. Kun routaa ei ole, suometsien ja soistumien puunkorjuussa kiintoaine-erosion ja ravinteiden huuhtoutumisen riski on suuri, varsinkin kevään ja syksyn kelirikkoaikana. Vahingollisinta eroosio ja huuhtoutuminen ovat vesistöjen lähellä ja pohjavesialueilla.</p>

Toimenpide	Suositus pohjavesialueille
Kantojen nosto	<p>Kantojen korjuu ohjeistetaan tarpeen mukaan erikseen.</p> <p>Energiapuun korjuussa noudatetaan monimuotoisuuden ylläpidon, vesiensuojelun ja maisemanhoidon huomioon ottavia toimintatapoja.</p>
Maanmuokkaus	<p>Maanmuokkauksesta pohjavesialueilla tai sulfaattimailla on tehtävä aina ojituseroitus, kun muokattavalta alalta johdetaan pois vesiä (ojitusmätästys). Ilmoitus tehdään alueelliselle ympäristöviranomaiselle 60 vrk ennen aiottuja toimenpiteitä.</p> <p>Maanmuokkausta vältetään I ja II luokan pohjavesialueilla. Mikäli muokkaus on kuitenkin välttämätöntä, paras menetelmä on vain kivennäismaan pintaa paljastava kevyt laikutus tai äestys.</p> <p>Jos pohjavesialueella maanpintaa peittää moreenikerros, voidaan käyttää äestystä, katkoäestystä ja myös laikku- ja kääntömätästystä sillä edellytyksellä, että muokkausjälki ei ulotu moreenikerroksen läpi.</p> <p>Pohjavesialueen turvemaalla maanmuokkaus on mahdollista, kun muokkausjälki ei yllä kivennäismaahan saakka. Mikäli pohjavesialueella on tarve tehdä muokkausta, joka sekoittaa kivennäismaakerroksia, on oltava yhteydessä alueelliseen ympäristöviranomaiseen.</p> <p>Jos pohjavesialueella on vedenottamo, maanmuokkauksesta on aina sovittava vedenottamon haltijan (useimmiten kunta) kanssa.</p>
Koneet ja öljytuotteet	<p>Pohjavesialueella toimittaessa kiinnitetään erityistä huomiota polttoainesäiliöiden, koneen letkujen sekä poltto ja voiteluaineastioiden kuntoon. Huolto- ja korjaustöiden tekoa vältetään pohjavesialueella. Tankkauspaikat ja/tai polttoainesäiliöt sijoitetaan pohjavesialueiden ulkopuolelle, jollei siitä ole kohtuutonta vaivaa.</p> <p>Kaikki pohjavesialueella tapahtuvat öljy-, polttoaine- ja maalivahingot ilmoitetaan hätäkeskukseen, joka ilmoittaa tilanteesta edelleen alueen pelastustoimelle sekä tarvittaessa Suomen ympäristökeskuksen päivystäjälle?. Vahingosta ilmoitetaan aina myös työmaan metsänhoito/korjuuesimiehelle ja MOH-alueen ympäristöasiantuntijalle. On suositeltavaa ottaa yhteyttä myös kunnan ympäristöviranomaiseen.</p>
Kulotus	<p>Luonnonhoidollinen kulotuskin voi tulla kyseeseen I ja II luokan pohjavesialueilla. Silloin tapauksesta on aina sovittava alueellisen ympäristöviranomaisen kanssa.</p>
Metsätiet	<p>Metsätiet linjataan kantaville maapohjille, mikäli suinkin mahdollista. Purojen ja kosteiden notkojen ylityksiä on vältettävä. Tietä ei ole suositeltavaa sijoittaa lähelle vesistöä tai pohjavesialueelle. Myös lähteet kierretään riittävän kaukaa.</p> <p>Mikäli pohjavesialueelle tehdään uusi tie, tulee siitä aina pyytää lausunto alueelliselta ympäristöviranomaiselta. Tien peruskorjauksesta vastaava lausunto tarvitaan I-luokan pohjavesialueella.</p>

### 3 Suomen FSC-metsänhoidon standardi

Forest Stewardship Council (FSC) ilmoittaa olevansa riippumaton, taloudellista hyötyä tavoittelematon järjestö, joka on perustettu edistämään maailman metsien vastuuntuntoista käyttöä. FSC:n kuuluu 8 % Suomen metsistä, joista osa kuuluu myös PEFC järjestelmään (tilanne joulukuun 2019, <https://fsc.org/en/page/facts-figures>). Nykyinen voimassaoleva standardi on vuodelta 2011 (Suomen FSC-standardi, 2011). FSC-sertifikaatin indikaattorit uudistetaan noin 5 vuoden välein ja viimeisin uudistaminen on alkanut vuonna 2019 ja jatkuu edelleen vuonna 2021. (Piirainen 2019)

Sertifiointiprosessissa ja siihen kuuluvassa konsultoinnissa korostetaan todettuja suojelevarvoja ja vaihtoehtoja niiden ylläpitämiseen. Määritellessään metsätalousalueellaan olevia arvoja, hankkii metsänomistaja tarvittavat tiedot eri asiantuntijoilta, viranomaisilta (mm. ELYt, SYKE) ja sidosryhmiltä. Korkean suojelevarvon omaavien alueiden osalta metsänomistaja hankkii tiedot alueiden sijainnista sekä vaihtoehtoista korkean suojelevarvon säilyttämiseksi tai lisäämiseksi. Hän myös huomioi määritelmän mukaisten korkean suojelevarvon alueiden mahdolliset vaikutukset metsätalouden harjoittamiseen. I ja II-luokan pohjavesialueet kuuluvat korkean suojelevarvon alueisiin.

Pääosin pohjavesiin liittyvät indikaattorit sisältyvät standardin periaatteeseen 6, jonka tavoitteena on metsän toiminnan ja eheyden ylläpitäminen suojelemalla luonnon monimuotoisuutta ja siihen liittyviä arvoja, vesivarvoja, maaperää sekä ainoalaatuisia ja herkkiä ekosysteemejä ja alueita. Pääperiaatteena vesiensuojelussa on, että metsätalouden toimenpiteet tulee suunnitella siten, etteivät ne heikennä pienvesistöjen tilaa tai pohjavesien laatua.

Standardin uudistustarve arvioidaan viiden vuoden välein ja standardia ollaan parhailaan uudistamassa. Uuden standardin odotetaan tulevan voimaan vuonna 2022. Voimassa oleva standardi ja tietoa uudistamisesta: <https://fi.fsc.org/en/node/27992>

### 4 PEFC-metsäsertifioinnin kriteerit

PEFC on kansainvälinen metsäsertifiointijärjestelmä, joka kertoo edistävänsä ekologisesti, sosiaalisesti, taloudellisesti ja kulttuurillisesti kestävää metsätaloutta. Metsäsertifioinnin tavoitteena olisi todentaa metsien kestävä hoito ja käyttö. PEFC-merkki kertoo, että tuotteeseen käytetty raaka-aine on peräisin PEFC-kriteerein hoidetuista metsistä. PEFC-sertifioinnin piiriin kuuluvaa metsää on Suomessa 18,5 miljoonaa hehtaaria, mikä on 92 prosenttia talouskäytössä olevista metsistä (<https://pefc.fi/pefc-numeroina/>, Piirainen 2019).

Tällä hetkellä (2021) voimassa olevat kriteereitä voi tarkastella: [http://pefc.fi/wp-content/uploads/2016/09/PEFC\\_FI\\_1002\\_2014\\_Metsaesertifoinnin\\_kriteerit\\_20141027.pdf](http://pefc.fi/wp-content/uploads/2016/09/PEFC_FI_1002_2014_Metsaesertifoinnin_kriteerit_20141027.pdf) sivulla. Myös PEFC-kriteeristöä ollaan uusimassa. Tietoa voimassa olevasta sertifiointista sekä uudistamistilanteesta: <https://pefc.fi/metsanomistajalle/>

## 5 Pohjavesialueiden metsänkäyttöilmoitukseen liittyvä ohjeistus

Metsälain mukaisen metsänkäyttöilmoituksen mukaisen kohdealueen sijaitessa pohjavesialueella, lähettää Metsäkeskus ilmoituksen tehneelle taholle metsätalouden pohjaveden suojelua koskevan ohjeen (taulukko 3). Ohje lähtee myös paikallisen ELY-keskuksen nimissä ja on koko Suomen osalta vakiomuotoinen. Ohje sisältää suosituksia.

## 6 Metsätalouden kannustejärjestelmä

Kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisista valtion varoista rahoitetaan puuntuotantoa turvaavia metsänhoito- ja metsänparannustöitä ja biologista monimuotoisuutta ylläpitävää luonnonhoitoa ja -suojelua KEMERA-tuen muodossa. Nykyinen tukijärjestelmä on näillä näkymin voimassa vuoden 2023 loppuun ja uuden tukijärjestelmän on tarkoitus tulla voimaan vuonna 2023 tai 2024. KEMERA-lakia sovelletaan metsälain pohjalta ja tukea voi saada pääsääntöisesti kaavojen maa- ja metsätalousalueille sekä virkistyskäyttöön osoitetuille alueille.

Nykyisessä tukijärjestelmässä tukea on voinut saada metsänhoidollisiin investointeihin kuten terveyslannoitukseen, investointeihin metsätalouden fyysiseen infrastruktuuriin kuten suometsien hoito- ja metsätiehankkeisiin sekä biologisen monimuotoisuuden turvaamiseen esimerkiksi luontoarvoiltaan merkittävien kohteiden säilyttämiseen luonnontilaisina. Metsäluonnon hoitohankkeet on toimeenpantu Suomen metsäkeskuksen hankehakumenettelynä ja hakuun on valittu METSO-ohjelman tavoitteiden mukaisia elinympäristöjen hoito- ja kunnostuskohteita sekä metsätalouden vesistöhaittoja estäviä ja korjaavia toimenpiteitä. Tietoa siitä, miten paljon näistä toimista on kohdistunut pohjavesialueiden metsiin ei ole ilmoitettu.

**Taulukko 3. Metsäkäyttöilmoituksiin liittyvässä Metsäkeskuksen ohjeessa olevat pohjavesisuositukset.**

Toimenpide	Suositus pohjavesialueille
Ojitus (nykyisin tehdään vain ojien kunnostamista)	Pohjavesialueilla sijaitsevat ojitusalueet suositellaan jätettävän pääsääntöisesti kokonaan kunnostamatta. Pohjaveden purkautumisen välttämiseksi pohjavesialueiden rajan ulkopuolelle suositellaan jätettävän 30–60 metriä leveä reunavyöhyke, jolla ei kaiveta.
Lannoitus	Pohjavesialueilla ei suositella käytettävän lannoitteita. Erityistapauksissa metsän terveyden ylläpitämiseksi tarpeellisten lannoitusten pohjavesivaikutukset tulee arvioida ja olla tarvittaessa yhteydessä ELY-keskukseen lannoitusedellytysten selvittämiseksi.
Kasvinsuojelu-aineiden käyttö	Kemiallisia kasvinsuojeluaineita ei suositella käytettävän pohjavesialueilla. Kasvinsuojeluaineen soveltuvuudesta pohjavesialueelle on tarkemmat ohjeet tuotepakkauksessa.
Puun korjuu	Pohjavesialueilla suositetaan pieniä uudistamisalueita.
Kantojen nosto	Pohjavesialueilla ei suositella kantojen nostoa.
Maanmuokkaus	Mekaanisten maanmuokkausmenetelmien käyttöä pohjavesialueilla vältetään. Mikäli maanmuokkaus on välttämätöntä, pohjavesialueilla suositellaan vain kevennettyä maanmuokkausta, kuten kivennäismaan pintaa paljastavaa kevyttä laikutusta tai äestystä. Pohjaveden suojelun kannalta on tärkeää, ettei maanpintaa paljasteta liikaa, eikä muokkausta uloteta kivennäismaan pintaa syvemmälle.
Koneet ja öljytuotteet	Metsäkoneissa on aina oltava öljyvahinkoje ensitorjuntavälineistö. Kaikki pohjavesialueella tapahtuvat öljy- ja polttoainevahingot ilmoitetaan pelastusviranomaiselle. Öljyvahinkojen ympäristöhaittoja voidaan pienentää käyttämällä mineraaliöljyn sijaan biohajoavia öljyjä. Öljyvahinkojen välttämiseksi huoltopaikat ja polttoainetarastot suositellaan sijoitettavan pohjavesialueiden ulkopuolelle. Koneiden tankkaukset suositellaan myös tekemään pohjavesialueiden ulkopuolella. Vedenottamoiden lähistölle (lähisuojavyöhykkeille) ei sijoiteta koneiden huolto- ja tankkauspaikkoja.
Kulotus	Pohjavesialueilla ei suositella kulotusta metsänhoidollisista syistä.

Metsätalouden kannustejärjestelmää pohtinut METKA-työryhmä (MMM 2021) esitti kannustejärjestelmään muutoksia, joilla on mahdollisia heijastevaikutuksia myös pohjaveteen. Kaikki toimenpiteet tulee suunnitella ja toteuttaa tavoitteisiin nähden tarkoituksenmukaisella ja perustellulla tavalla niin, että monimuotoisuus, hiilensidonta, vesiensuojelu ja luonnonhoito otetaan huomioon ja ympäristölle aiheutuvat haitat minimoidaan. Pohjavesiin vaikuttavia toimenpiteitä ovat ojien kunnostuksen toteuttamisen tuesta luopuminen, terveyslannoitus, osaamisen varmistaminen erityisesti suometsän hoidon suunnittelussa, metsäteiden kunnossapidon korostaminen, kulutuksen lisäämisen tavoitteet sekä digitaalisaation mahdollisuuksien hyödyntäminen. Metsien biologisen monimuotoisuuden turvaamiseen sisältyvät keinot (järeän puuston ja lahoppuuston säästö, sekapuustoisuuden suosiminen, monimuotoisuudelle arvokkaita pienalueiden ja vaihettumisvyöhykkeiden säästäminen) tukevat erityisesti pohjavedestä riippuvaisen ekosysteemien elinvoimaisuutta ja välillisesti myös alueen pohjaveden suojelua. Metsäteiden kunnossapidolla varmistetaan myös paremmat mahdollisuudet metsäpalojen torjuntatoimille.

METKA-työryhmä tuo raportissaan (MMM 2021) esiin mahdollisuudet suometsien puuston kasvun lisäämisen terveyslannoituksella. Yleensä terveyslannoituksella tarkoitetaan tuhkalannoitusta sekä boorin puutteen korjaamiseksi tarvittava boorilannoitusta. Puuston kasvun kannalta otollinen lannoituskohde olisi harvennettu nuori kasvatusmetsä, jossa tuhkalannoituksen arvioidaan vaikuttavan puuston kasvuun jopa kymmeniä vuosia. On esitetty, että suometsässä tuhkalannoitus voisi olla jollakin kohteilla tarkoituksenmukaisempi vaihtoehto kuin ojien kunnostus. Työryhmä huomauttaa kuitenkin, että toimenpiteet on räätälöitävä vastaamaan kunkin kohteen ominaispiirteitä ja muulle luonnolle aiheutuvia haittoja välttäen. Ryhmä katsoo, että suometsien kasvun edellyttävän huomattavasti enemmän tietotaitoa kuin kivennäismailla toimimisen. Vaihtoehtoja ja haasteita katsotaan puuntuotannon osalta löytyvän kasvatusmallien ja hakkuutapojen monipuolistamisen, puuston uusiutumisen, ravinnetalouden edistämisen ja ylläpidon sekä vesitalouden järjestämisen osalta. Tärkeässä roolissa toimenpiteiden kohdentamisessa nähdään Metsäkeskuksen avoimet aineistot mm. hermistä ja monimuotoisuudelle arvokkaista kohteista.

Avoin ja riittävä tieto mahdollistaa myös muissa kuin suometsissä arvokkaiden elinympäristöjen ja muiden herkkien kohteiden turvaamisen metsänhoidossa sekä tehokkaiden vesiensuojelun toimenpiteiden suunnittelun. Aineistojen kattavuutta esitetään edelleen parannettavan edellyttämällä toimijoilta rahoituksen kannalta tarpeellisen tiedon toimittamista sähköisesti Metsäkeskukselle. Yleisenä tavoitteena nähdään muutoinkin mahdollisimman kattava sähköinen asiointi.

Puunkorjuuta tehdään yhä enemmän ympärivuotisesti ja yhä järeämmällä kalustolla. Tämä asettaa suurempia vaatimuksia metsätiestölle. Tämän johdosta METKA-työ-



ryhmä katsoo, että metsäteiden kunnossapito vähentää kuljetuksista aiheutuvia päästöjä edistäten näin ilmastonmuutoksen torjumista ja esittää metsäteiden kunnossapitoon kannustimia.

## 7 Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelu 2022–2027

Ympäristöministeriö asetti vuonna 2019 vesienhoidon kolmannen kauden 2022–2027 toimenpiteiden suunnittelun opastusta varten viisi toimialakohtaista työryhmää, joista yksi käsitteli metsätaloutta ja turvetuotantoa. Metsätalouden sektorille esitetyistä vesienhoidon toimenpiteistä osa liittyy suoraan tai välillisesti pohjavesiin. Ohjauskeinojen määrittelyssä on pyritty kiinnittämään aiempaa enemmän huomiota konkreettisuuden sekä toteutumisen seurantamahdollisuuksiin. Kuten aiemminkin toimenpiteet on jaettu myös tällä suunnittelukaudella perustoimenpiteisiin, muihin perustoimenpiteisiin ja täydentäviin toimenpiteisiin.

Täydentäviin toimenpiteisiin kuuluu ojitusten haittojen ehkäisy pohjavesialueilla ja suunnitelmat tehdään pohjavesialuekohtaisesti. Jos ojat ovat herkkiä eroosiolle palvelee niiden kunnostamatta jättäminen myös vesiensuojelua. Kohteiksi soveltuvat myös alueet, joissa puustoa on riittävästi haihduttamiseen. Puiden kasvulle suotuisana pohjavedenpinnan tason katsotaan säilyvän, jos alueella on Etelä-Suomessa puustoa 120 m<sup>3</sup>/ha ja Pohjois-Suomessa 150 m<sup>3</sup>/ha. Tietyin edellytyksin voi ojitetuilla turveilla tulla kyseeseen myös metsän jatkuva kasvatus. Mahdollisuuksia siirtää ojien kunnostusta myöhempään ajankohtaan on katsottu olevan myös lisäämällä puumas- san kasvua tuhkalannoituksella. Toisaalta työryhmä toteaa, että tärkeillä pohjavesialueilla olevia soita ei lannoiteta lainkaan.

Ojitusten haittojen ehkäisemiseen pohjavesialueilla ehdotetaan käytännön toimenpiteiksi matalamman ojasyvyyden käyttämistä, ojien täyttöä, vesien johtamisen muuttamista sekä humuspitoisen pintaveden pohjaveteen pääsyn estämistä.

Suunnittelussa korostetaan riskinarviointityökalun käyttöä ojien kunnostamisen vaikutusten arviointiin. Tärkeänä pidetään, että toimijoiden käyttöön on kehitetään paikkatietoaineistoja ja työkaluja, jotta toimenpiteiden vaikutuksia voidaan arvioida jo ennakolta. ELY-keskuksen pohjavesiasiantuntijan työtä katsotaan voitavan helpottaa lisäämällä sähköiseen ojitusilmoituslomakkeeseen pohjavesialuetta ja sen olosuhteita kuvaavia kohtia, jotka tuovat tarkempaa tietoa suunnittelun kohteena olevan alueen tilanteesta.

Työryhmä arvioi ojitusten haittojen ehkäisemisellä pohjavesialueilla olevan myönteisiä vaikutuksia myös pintavesien ekologiseen tilaan, kuivuusriskeihin, monimuotoisuuden ja maisemaan.

Ilmastokestävyyden osalta työryhmä arvioi ojitusten haittojen ehkäisyä pohjavesialueilla toimenpiteittäin. Vain rankkasateiden ja kuivuuskausien yleistymisen katsotaan vaikuttavan kuivatustarpeeseen ja olevan riippuvainen paitsi pohjaveden virtaussuunnista myös siitä, ollaanko muodostumisalueella vai reunavyöhykkeellä. Harkinnassa ratkaisee pohjaveden pilaamiskielto, niin pitkään joustava kun pohjaveden laatua ei vaaranneta.

Arviossa toimenpiteiden vaikutukseen maan hiilivaraston lisäämisessä tai kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä, työryhmä toteaa ojitusten haittojen ehkäisemisen olevan pohjavesialueilla neutraalin mikäli se tehdään pohjavesien suojelun kannalta. Työryhmän näkemyksen mukaan ojasyvyyden madaltaminen vähentäisi hiilidioksidipäästöjä ja maltillinen vedenpinnan nosto kuivatusalueella vaikuttaisi positiivisesti kasvihuonekaasutaseeseen.

## Liite 5. Paikkatietoanalyysit

Timo Räsänen, Luonnonvarakeskus (Luke)

### 1 Aineistot ja menetelmät

Paikkatietoanalyysien tavoitteena oli tuottaa tilastotietoa pohjavesialueiden metsätalousmaista ja erityisesti turvemaiden ojituksesta. Analyysit tehtiin käyttäen ArcMap 10.6.1. ja R Statistical Computing Software -ohjelmistoja ja paikkatietoaineistoja useasta eri lähteestä.

#### 1.1 Analyysiyksiköt

Suomen pohjavesialuilla tapahtuvaa metsätaloutta tarkasteltiin pohjavesialueluokkaryhmittäin (taulukko 1) ja tulokset raportoitiin aluehallintovirastoittain (kuva 1).

#### 1.2 Aineistot

Analyyseissä käytetyt aineistot on esitelty taulukossa 2. Aineistot ladattiin verkosta kesä-syyskuussa 2020. Aineistot muunnettiin analyysejä varten rasterimuotoisiksi 16 tai 20 metrin resoluution, jotka vastaavat monilähteisen valtakunnan metsieninventointiaineiston (MVMi) resoluutioita.

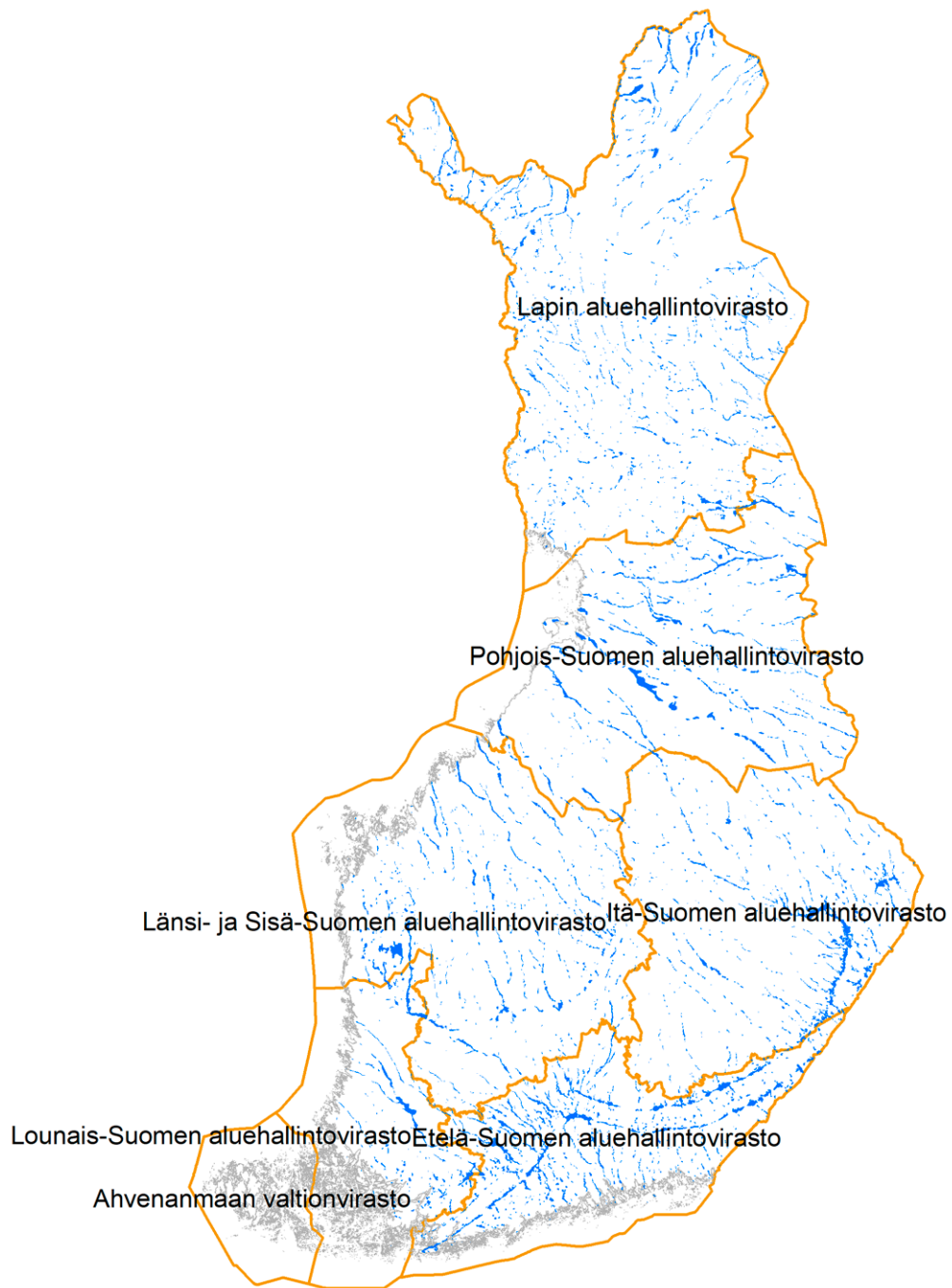
#### 1.3 Ojitetun alueen määrittely

Analyyseissä jouduttiin määrittelemään ojaviiva-aineistosta ojitusalue turvemailla, eli alue jolla ojalla on kuivattava vaikutus. Ojan kuivatusetäisyydeksi turvemailla valittiin 40 metriä perustuen seuraaviin seikkoihin: (1) Etelä-Savossa tehtyjen analyysien mukaan sarkavälien on havaittu vaihtelevan 25:stä 72 metriin (Antti Leinonen, Metsäkeskus) ja jotta suurimmalla sarkavälillä ojitetut alueet tulisivat määriteltyä kokonaisuudessaan ojitetuksi alueeksi, on ojan kuivatusvaikutusetäisyydeksi valittava vähintään 36 metriä; (2) turvemailla tehtyjen simulaatioiden (Leena Stenberg, Luke) mukaan ojan kuivatusvaikutus vähenee keskimäärin jyrkästi 10 metriin saakka mutta näkyy noin 40 metriin saakka, jonka jälkeen vaikutus on hyvin vähäinen. Simulaatioissa käytettiin eri ojasyvyyksiä ja turvelaatuja; (3) Laiho ym. (2016) määrittelee ojitusalueen myös 40 m etäisyyden mukaan julkaisussa Heikkotuottoiset ojitetut suometsät – Missä ja paljonko niitä on? ja (4) asiantuntijamielipiteen mukaan ojan vaikutus voi olla jopa 50 metriä (Kristian Karlson, Luke).

Ojitetun alueen määrittelyyn liittyy myös epävarmuuksia liittyen oja-aineiston kattavuuteen. Käytetty oja-aineisto on Maanmittauksen maastotietokannasta ja siinä on mitä todennäköisimmin puutteita. Aineisto on kuitenkin ainoa koko maan kattava oja-aineisto ja siten paras käytettävissä oleva.

### Taulukko 1. Pohjavesialueiden luokat ja niiden ryhmittely.

Pohjavesialue- luokat ja ryhmät	Kuvaus
<b>Ryhmä 1</b>	
1-luokka	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue, jonka vettä käytetään tai jota on tarkoitus käyttää yhdyskunnan vedenhankintaan taikka talousvetenä enemmän kuin keskimäärin 10 kuutiometriä vuorokaudessa tai yli viidenkymmenen ihmisen tarpeisiin
2-luokka	Muu vedenhankintakäyttöön soveltuva pohjavesialue, joka pohjaveden antoisuuden ja muiden ominaisuuksiensa perusteella soveltuu 1 kohdassa tarkoitettuun käyttöön
I-luokka	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue (vanha, mutta voimassa oleva päällekkäinen luokitus)
II-luokka	Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue
<b>Ryhmä 2</b>	
III-luokka	Muu pohjavesialue
<b>Ryhmä 3</b>	
E-luokka	Pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen
1E-luokka	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen
2E-luokka	Muu vedenhankintakäyttöön soveltuva pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maaekosysteemi on suoraan riippuvainen



**Kuva 1.** Suomen pohjavesialueet (sininen) ja aluehallintovirastojen alueet (keltaoranssi).

**Taulukko 2. Paikkatietoanalyysissä käytetyt aineistot. Aineistot on ladattu verkosta kesä-syyskuussa 2020.**

Aineisto	Lähde	Kuvaus
Pohjavesialueet	Suomen Ympäristökeskus (SYKE)	Vektoriaineisto; Pohjavesialueluokat: 1, 2, E, 1E, 2E, I, II, ja III
Turvemaat	Maanmittauslaitos (MML), Maastotietokanta	Vektoriaineisto; Suo, jossa turvepaksuus > 30 cm (ylä-Lapissa myös ohuemmat)
Metsä-, jouto- ja kitumaa	Luonnonvarakeskus, Monilähteinen valtakunnan metsien inventointi (MVMI)	Rasteriaineisto, resoluutio 16 m;
Ojat	Maanmittauslaitos (MML), Maastotietokanta	Viiva-aineisto; Virtavesiviiva, jossa yli 5, 2–5 m ja metsämaille alle 2 metriä leveät ojat
Sulfaattimaat	Geologian tutkimuslaitos (GTK) ja Suomen Ympäristökeskus (SYKE)	Vektoriaineisto; Sulfaattimaiden esiintymistodennäköisyysluokat: hyvin pieni, pieni, kohtalainen, suuri
Luonnonsuojelualueet	Suomen Ympäristökeskus (SYKE)	Vektoriaineisto; yksityiset ja valtion suojelualueet, sekä erämaa-alueet
Natura-alueet	Suomen Ympäristökeskus (SYKE)	Vektoriaineisto; Luokat: Lintudirektiivin mukaiset erityiset suojelualueet (SPA), Erityisen suojelutoimien alue luontodirektiivin mukaisesti (SAC), Jäsenvaltion ehdotus luontodirektiivin perusteella suojeltavaksi alueeksi (SCI)
Erityisen tärkeät elinympäristöt (Ete)	Metsäkeskus	Vektoriaineisto
Puuston tilavuus	Luonnonvarakeskus, Monilähteinen valtakunnan metsien inventointi (MVMI)	Rasteriaineisto, resoluutio 16/20 m; kaikki, mänty, kuusi, koivu ja muu lehtipuu [m <sup>3</sup> /ha]
Vesistöt	Maanmittauslaitos (MML), Maastotietokanta	Vektoriaineisto; Vakavesi- ja virtavesialueet
Taajamat	Maanmittauslaitos (MML), Maastotietokanta	Vektoriaineisto; Taajama
Pellot	Maanmittauslaitos (MML), Maastotietokanta	Vektoriaineisto; Pelto

## 1.4 Puuston tilavuus ja metsänkäytön intensiteetti

Puuston tilavuuden muutosta ja metsänkäytön intensiteettiä arvioitiin MVMI aineistolla, joka perustuu koealahavaintoihin ja niiden yleistyksen kaukokartoitusmenetelmien. Tilavuuden muutosta tarkasteltiin vuosien 2009 ja 2017 välillä ja muutos tässä raportissa tarkoittaa nettomuutosta, joka sisältää puuston kasvun ja poistuman. Metsänkäytön intensiteettiä arvioitiin mahdollisilla avohakkuilla vuosien 2009 ja 2017 välillä. Mahdolliset avohakkuut määritettiin MVMI puuston tilavuus aineistosta pinta-alana, jossa oli tapahtunut yli 90 %:n tilavuuspoistuma. Yli 90 % poistuma on myös nettomuutos ja sisältää mahdollisen puuston kasvun hakkuiden jälkeen. MVMI aineistolla tehtyihin analyysihin liittyy aineiston luonteesta johtuvia epävarmuuksia ja siksi absoluuttisten arvojen tulkintaa on tehtävä epävarmuudet huomioon ottaen. Sen sijaan suhteelliset vertailut eri analyysialueiden välillä ovat luotettavampia.

## 2 Tulokset

### 2.1 Pohjavesialueiden jakauma aluehallintovirastoittain

Luokiteltuja pohjavesialueita on Suomessa yli 5 000 ja niiden kokonaispinta-ala on 12 470 km<sup>2</sup>. Näistä 36 % (5 930 km<sup>2</sup>) kuuluu pohjavesiluokkiin 1 ja I, 40 % (4 670 km<sup>2</sup>) luokkiin 2 ja II ja 24 % (1 770 km<sup>2</sup>) luokkaan III. Tämän lisäksi 13 % (3 440 km<sup>2</sup>) pohja-vesialuista on E luokitus (E, 1E tai 2E). Pohjavesialueluokkien jakautuminen aluehallintovirastojen alueilla on esitetty taulukossa 3.

### 2.2 Pohjavesialueiden ja niitä reunustavien alueiden ominaisuuksia

Pohjavesialueista 1 563 km<sup>2</sup> (13 %) on turvemaata ja 8 600 km<sup>2</sup> (69 %) on määritelty metsämaaksi (taulukko 4). Turvemetsämaata pohjavesialueilla on 927 km<sup>2</sup> (7,4 %), josta on ojitettu 663 km<sup>2</sup> (72 %). Suhteutettuna pohjavesialueiden kokonaisalaan ojitettua turvemetsämaata on 5 %. Pohjavesialueita reunustavasta 40 metrin vyöhykkeestä turvemetsämaata on 193 km<sup>2</sup> (14 %) ja siitä on ojitettu 113 km<sup>2</sup> (58 %). Suhteutettuna 40 metrin vyöhykkeiden kokonaisalaan ojitettua turvemetsämaata on 8 %.

Sulfaattimaita esiintyy pohjavesialuilla mahdollisesti 165 km<sup>2</sup> (1,3 %) ja ojitettuja turvemetsämaalla sijaitsevia sulfaattimaita 6,5 km<sup>2</sup> (0,1 %) (taulukko 4). Pohjavesialueita reunustavasta 40 metrin vyöhykkeestä mahdollisesti 25,9 km<sup>2</sup> (1,9 %) on sulfaattimaita ja 1,5 km<sup>2</sup> (0,1 %) ojitettuja turvemaalla sijaitsevia sulfaattimaita.

**Taulukko 3.** Pohjavesialueiden määrä ja pinta-ala pohjavesiluokittain aluehallintovirastojen (AVI) alueilla. Taulukossa myös luokkien suhteelliset osuudet (%) kokonaismäärästä ja -pinta-alasta. Huomaa, että sarakkeiden prosenttien kokonaissumma on suurempi kuin 100, sillä 1E ja 2E-alueet on laskettu mukaan luokkaan 1 ja 2.

Pohjavesialue	Etelä-Suomi (1)		Lounais-Suomi (2)		Itä-Suomi (3)		Länsi- ja Sisä-Suomi (4)		Pohjois-Suomi (5)		Lappi (6)	
	Määrä [kpl]	Pinta-ala [km <sup>2</sup> ]	Määrä [kpl]	Pinta-ala [km <sup>2</sup> ]	Määrä [kpl]	Pinta-ala [km <sup>2</sup> ]	Määrä [kpl]	Pinta-ala [km <sup>2</sup> ]	Määrä [kpl]	Pinta-ala [km <sup>2</sup> ]	Määrä [kpl]	Pinta-ala [km <sup>2</sup> ]
Kaikki	912	2725,6	257	768,8	688	1924,7	763	1868,1	603	2296,8	1839	2884,2
Luokka 1 ja I	379	1547,2	144	581,4	241	823,4	483	1332,3	256	1226,4	297	422,9
Luokka 1 ja I	42 %	57 %	56 %	76 %	35 %	43 %	63 %	71 %	42 %	53 %	16 %	15 %
Luokka 2 ja II	494	1106,7	108	176,5	418	1047,5	257	514,1	340	1029,6	395	791,3
Luokka 2 ja II	54 %	41 %	42 %	23 %	61 %	54 %	34 %	28 %	56 %	45 %	21 %	27 %
Luokka III	33	66,0	0	0,0	26	51,5	16	14,7	5	2,9	1104	1631,5
Luokka III	4 %	2 %	0 %	0 %	4 %	3 %	2 %	1 %	1 %	0 %	60 %	57 %
E-tunnuksellisia	100	541,5	47	341,6	145	765,9	77	447,5	119	947,3	183	394,3
E-tunnuksellisia	11 %	20 %	18 %	44 %	21 %	40 %	10 %	24 %	20 %	41 %	10 %	14 %



Pohjavesialueista 991,6 km<sup>2</sup> (8 %) on luonnonsuojelualueita, 1572,8 km<sup>2</sup> (13 %) Natura-alueita ja erittäin tärkeitä elinympäristöjä 42,6 km<sup>2</sup> (0,3 %) (taulukko 4). Pohjavesialueita reunustavasta 100 metrin vyöhykkeestä 272 km<sup>2</sup> (8 %) on luonnonsuojelualueita, 358,9 km<sup>2</sup> (10 %) Natura-alueita ja erittäin tärkeitä elinympäristöjä 12,1 km<sup>2</sup> (0,3 %). (Huomaa, että luonnonsuojelualueet ja Natura-alueet ovat usein päällekkäisiä alueita.) Tilastot aluehallintovirastoittain on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 4.** Suomen pohjavesialueiden ja niitä reunustavien alueiden maaluokkaan, kasvupaikkaan, happamiin sulfaattimaihin ja luonnonsuojeluun liittyviä tilastoja. Taulukossa myös suhteelliset osuudet (%) pohjavesialueiden kokonaisalasta. Puskurivyöhykkeiden osalta suhteelliset osuudet (%) ovat puskurivyöhykkeiden kokonaisalasta.

	1+2 ja I+II	III	1E+2E+E	Kaikki
<b>Pohjavesialueet</b>				
Kokonaisala, km <sup>2</sup>	7263,5	1766,5	3438,2	12468,2
<b>Turvamaa-alueet pohjavesialueilla</b>				
Kokonaisala, km <sup>2</sup>	906,1	228,5	428,7	1563,4
Kokonaisala, %	12,5 %	12,9 %	12,5 %	12,5 %
Metsämaa, km <sup>2</sup>	605,3	37,1	284,2	926,6
Metsämaa, %	8,3 %	2,1 %	8,3 %	7,4 %
Kitu- ja joutomaa, km <sup>2</sup>	263,9	180,6	134,7	579,2
Kitu- ja joutomaa, %	3,6 %	10,2 %	3,9 %	4,6 %
Ojitettu metsämaa, km <sup>2</sup>	440,0	17,2	205,6	662,7
Ojitettu metsämaa, %	6,1 %	1,0 %	6,0 %	5,3 %
<b>Kivennäismaa-alueet pohjavesialueilla</b>				
Metsämaa, km <sup>2</sup>	4568,9	746,8	2356,9	7672,5
Metsämaa, %	62,9 %	42,3 %	68,5 %	61,5 %
Kitu- ja joutomaa, km <sup>2</sup>	71,2	636,3	64,0	771,5
Kitu- ja joutomaa, %	1,0 %	36,0 %	1,9 %	6,2 %

	1+2 ja I+II	III	1E+2E+E	Kaikki
<b>Sulfaattimaa-alueet pohjavesialueilla</b>				
Sulfaattimaa-ala, km <sup>2</sup>	156,4	0,0	8,8	165,2
Sulfaattimaa-ala, %	2,2 %	0,0 %	0,3 %	1,3 %
Ojitetut sulfaattimaat turvemetsämaalla, km <sup>2</sup>	5,7	0,0	0,8	6,5
Ojitetut sulfaattimaat turvemetsämaalla, %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %
<b>Muu ala pohjavesialueilla</b>				
Vesistö, km <sup>2</sup>	355,8	94,1	155,3	605,3
Vesistö, %	4,9 %	5,3 %	4,5 %	4,9 %
Taajama, km <sup>2</sup>	169,8	17,9	50,2	237,9
Taajama, %	2,3 %	1,0 %	1,5 %	1,9 %
Pelto, km <sup>2</sup>	551,7	7,1	134,8	693,7
Pelto, %	7,6 %	0,4 %	3,9 %	5,6 %
<b>40 m puskurivyöhyke</b>				
Kokonaisala, km <sup>2</sup>	871,4	232,6	264,0	1367,9
Turvemetsämaa, km <sup>2</sup>	137,5	10,2	45,6	193,3
Turvemetsämaa, %	15,8 %	4,4 %	17,3 %	14,1 %
Ojitettu turvemetsämaa, km <sup>2</sup>	81,3	4,1	27,7	113,0
Ojitettu turvemetsämaa, %	9,3 %	1,7 %	10,5 %	8,3 %
Sulfaattimaa, km <sup>2</sup>	24,1	0,0	1,7	25,9
Sulfaattimaa, %	2,8 %	0,0 %	0,7 %	1,9 %
Ojitettu sulfaattimaa, km <sup>2</sup>	1,2	0,0	0,2	1,5
Ojitettu sulfaattimaa, %	0,1 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %

	1+2 ja I+II	III	1E+2E+E	Kaikki
<b>Luonnonsuojelu pohjavesialueilla</b>				
Suojelualue, km <sup>2</sup>	166,3	654,5	170,8	991,6
Suojelualue, %	2,3 %	37,1 %	5,0 %	8,0 %
Natura alue, km <sup>2</sup>	441,9	666,8	464,2	1572,8
Natura alue, %	6,1 %	37,7 %	13,5 %	12,6 %
Ete-alue, km <sup>2</sup>	24,9	1,5	16,1	42,6
Ete-alue, %	0,3 %	0,1 %	0,5 %	0,3 %
<b>Luonnonsuojelu 100 m:n puskurivyöhykkeellä</b>				
Puskurivyöhykkeen ala, km <sup>2</sup>	2214,2	587,5	666,2	3467,8
Suojelualue, km <sup>2</sup>	52,1	194,9	25,0	272,0
Suojelualue, %	2,4 %	33,2 %	3,8 %	7,8 %
Natura alue, km <sup>2</sup>	112,2	200,2	46,4	358,9
Natura alue, %	5,1 %	34,1 %	7,0 %	10,3 %
Ete-alue, km <sup>2</sup>	7,9	0,6	3,6	12,1
Ete-alue, %	0,4 %	0,1 %	0,5 %	0,3 %

**Taulukko 5.** Pohjavesialueiden ja niitä reunustavien alueiden maaluokkaan, kasvupaikkaan, happamiin sulfaattimaihin ja luonnonsuojeluun liittyviä tilastoja aluehallintovirastoittain. Taulukossa myös suhteelliset osuudet (%) pohjavesialueiden kokonaisalasta. Puskurivyöhykkeiden osalta suhteelliset osuudet (%) ovat puskurivyöhykkeiden kokonaisalasta.

	Etelä-Suomi (1)			Lounais-Suomi (2)			Itä-Suomi (3)			Länsi- ja Sisä-Suomi (4)			Pohjois-Suomi (5)			Lappi (6)		
	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E
<b>Pohjavesialueet</b>																		
Kokonaisala, km <sup>2</sup>	2118	66	541	427	-	342	1107	51	766	1406	15	448	1346	3	947	858	1631	394
<b>Turvemaa-alueet pohjavesialueilla</b>																		
Kokonaisala, km <sup>2</sup>	127,8	4,4	35,5	33,9	-	39,8	110,2	4,3	61,9	195,3	1,2	67,7	304,1	0,9	160,8	134,8	217,8	63,0
Kokonaisala, %	6 %	7 %	7 %	8 %		12 %	10 %	8 %	8 %	14 %	8 %	15 %	23 %	30 %	17 %	16 %	13 %	16 %
Metsämaa, km <sup>2</sup>	113,6	4,0	31,9	27,6	-	35,6	89,0	3,8	52,7	154,9	1,0	57,1	166,8	0,3	84,0	53,4	27,9	22,9
Metsämaa, %	5 %	6 %	6 %	6 %		10 %	8 %	7 %	7 %	11 %	7 %	13 %	12 %	11 %	9 %	6 %	2 %	6 %
Kitu- ja joutomaa, km <sup>2</sup>	8,4	0,2	2,5	4,9	-	3,3	14,5	0,3	7,1	33,3	0,1	9,5	127,5	0,5	73,8	75,3	179,4	38,6
Kitu- ja joutomaa, %	0 %	0 %	0 %	1 %		1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	1 %	2 %	9 %	18 %	8 %	9 %	11 %	10 %
Ojitettu metsämaa, km <sup>2</sup>	83,2	3,3	22,4	19,2	-	27,2	61,9	2,7	34,9	125,5	0,7	49,8	120,8	0,2	58,7	29,4	10,3	12,5
Ojitettu metsämaa, %	4 %	5 %	4 %	4 %		8 %	6 %	5 %	5 %	9 %	5 %	11 %	9 %	7 %	6 %	3 %	1 %	3 %

	Etelä-Suomi (1)			Lounais-Suomi (2)			Itä-Suomi (3)			Länsi- ja Sisä-Suomi (4)			Pohjois-Suomi (5)			Lappi (6)		
	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E
<b>Kivennäismaa-alueet pohjavesialueilla</b>																		
Metsämaa, km <sup>2</sup>	1311,4	38,3	346,6	233,9	-	244,2	746,2	38,4	563,2	862,3	8,7	294,3	825,6	1,5	655,4	589,4	659,8	253,1
Metsämaa, %	62 %	58 %	64 %	55 %		71 %	67 %	75 %	74 %	61 %	59 %	66 %	61 %	53 %	69 %	69 %	40 %	64 %
Kitu- ja jouto- maa, km <sup>2</sup>	7,5	0,0	5,1	4,0	-	3,2	0,8	0,0	0,6	3,3	0,0	0,4	11,4	0,0	7,3	44,1	636,2	47,4
Kitu- ja jouto- maa, %	0 %	0 %	1 %	1 %		1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	5 %	39 %	12 %
<b>Sulfaattimaa pohjavesialueilla</b>																		
Sulfaattimaa- ala, km <sup>2</sup>	53,6	0,0	2,7	20,2	-	3,2	0,0	0,0	0,0	31,3	0,0	0,2	37,6	0,0	0,3	13,7	0,0	2,3
Sulfaattimaa- ala, %	3 %	0 %	0 %	5 %		1 %	0 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	3 %	0 %	0 %	2 %	0 %	1 %
Ojitetut sulfaattimaat turvemetsä- maalla, km <sup>2</sup>	0,5	0,0	0,1	0,3	-	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	1,1	0,0	0,6
Ojitetut sulfaattimaat turvemetsä- maalla, %	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

	Etelä-Suomi (1)			Lounais-Suomi (2)			Itä-Suomi (3)			Länsi- ja Sisä-Suomi (4)			Pohjois-Suomi (5)			Lappi (6)		
	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E
<b>Muu ala pohjavesialueilla</b>																		
Vesistö, km <sup>2</sup>	84,8	3,7	11,1	9,5	-	5,5	113,1	4,8	40,4	48,6	2,9	7,3	65,0	0,4	74,3	34,7	82,4	16,8
Vesistö, %	4 %	6 %	2 %	2 %		2 %	10 %	9 %	5 %	3 %	20 %	2 %	5 %	14 %	8 %	4 %	5 %	4 %
Taajama, km <sup>2</sup>	101,7	8,9	24,9	14,0	-	3,0	10,0	0,0	9,7	25,7	8,9	10,0	14,9	0,0	2,6	3,5	0,0	0,0
Taajama, %	5 %	14 %	5 %	3 %		1 %	1 %	0 %	1 %	2 %	61 %	2 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Pelto, km <sup>2</sup>	232,7	1,0	45,8	77,1	-	17,1	41,0	1,1	28,5	144,1	0,7	31,9	48,3	0,0	10,0	8,5	4,4	1,5
Pelto, %	11 %	2 %	8 %	18 %		5 %	4 %	2 %	4 %	10 %	5 %	7 %	4 %	0 %	1 %	1 %	0 %	0 %
<b>40 m Puskurivyöhyke</b>																		
Kokonaisala, km <sup>2</sup>	224,9	6,2	40,5	56,1	-	20,5	151,8	6,6	62,3	178,4	2,9	32,9	140,3	0,6	63,4	119,9	216,3	44,3
Turvemetsämaa, km <sup>2</sup>	24,6	0,9	5,0	6,2	-	4,9	30,2	1,1	12,7	29,3	0,3	6,5	32,1	0,1	11,1	15,2	7,9	5,3
Turvemetsämaa, %	11 %	14 %	12 %	11 %		24 %	20 %	16 %	20 %	16 %	10 %	20 %	23 %	16 %	18 %	13 %	4 %	12 %
Ojitettu turvemetsämaa, km <sup>2</sup>	14,4	0,6	3,0	3,6	-	3,0	18,4	0,7	8,1	19,1	0,2	4,5	18,5	0,1	6,3	7,2	2,5	2,8
Ojitettu turvemetsämaa, %	6 %	10 %	7 %	6 %		15 %	12 %	10 %	13 %	11 %	7 %	14 %	13 %	9 %	10 %	6 %	1 %	6 %
Sulfaattimaa, km <sup>2</sup>	5,9	0,0	0,5	4,5	-	0,4	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,1	3,7	0,0	0,1	3,3	0,0	0,6
Sulfaattimaa, %	3 %	0 %	1 %	8 %		2 %	0 %	0 %	0 %	4 %	0 %	0 %	3 %	0 %	0 %	3 %	0 %	1 %
Ojitettu sulfaattimaa, km <sup>2</sup>	0,1	0,0	0,0	0,1	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2
Ojitettu sulfaattimaa, %	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

	Etelä-Suomi (1)			Lounais-Suomi (2)			Itä-Suomi (3)			Länsi- ja Sisä-Suomi (4)			Pohjois-Suomi (5)			Lappi (6)		
	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E	1+2 ja I+II	III	1E+ 2E+ E
<b>Luonnonsuojelu</b>																		
Suojelualueet, km <sup>2</sup>	26,0	1,3	7,7	13,0	-	13,3	26,9	0,9	10,6	22,0	0,4	17,8	39,9	1,0	68,6	38,5	650,9	52,8
Suojelualueet, %	1 %	2 %	1 %	3 %		4 %	2 %	2 %	1 %	2 %	3 %	4 %	3 %	35 %	7 %	4 %	40 %	13 %
Natura alueet, km <sup>2</sup>	95,5	1,7	38,3	20,5	-	108,8	113,7	0,9	58,2	54,5	1,4	34,1	86,5	1,0	156,7	71,2	661,9	68,0
Natura alueet, %	5 %	3 %	7 %	5 %		32 %	10 %	2 %	8 %	4 %	9 %	8 %	6 %	33 %	17 %	8 %	41 %	17 %
Ete-alueet, km <sup>2</sup>	5,14	0,05	1,25	0,51	-	0,40	5,46	0,28	5,23	4,55	0,01	2,07	8,81	0,00	6,47	0,44	1,19	0,72
Ete-alueet, %	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %	0 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %
<b>Luonnonsuojelu 100 m:n puskurivyöhykkeellä</b>																		
Puskurivyöhykkeen ala, km <sup>2</sup>	570,3	15,8	102,5	142,9	-	51,8	382,4	16,5	155,2	454,2	7,6	82,9	357,2	1,6	160,0	307,3	546,0	113,8
Suojelualueet, km <sup>2</sup>	6,4	0,2	1,5	3,5	-	3,0	6,7	0,2	2,3	7,2	0,0	3,9	13,5	0,3	8,5	14,7	194,3	5,7
Suojelualueet, %	1 %	1 %	1 %	2 %		6 %	2 %	1 %	2 %	2 %	0 %	5 %	4 %	16 %	5 %	5 %	36 %	5 %
Natura alueet, km <sup>2</sup>	19,7	1,0	5,3	5,4	-	6,1	29,0	0,4	6,8	13,1	0,4	5,5	23,7	0,2	14,3	21,3	198,3	8,3
Natura alueet, %	3 %	6 %	5 %	4 %		12 %	8 %	2 %	4 %	3 %	5 %	7 %	7 %	15 %	9 %	7 %	36 %	7 %
Ete-alueet, km <sup>2</sup>	1,3	0,0	0,3	0,3	-	0,2	1,9	0,1	1,2	1,5	0,0	0,4	2,7	0,0	1,2	0,2	0,4	0,2
Ete-alueet, %	0 %	0 %	0 %	0 %		0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %

## 2.3 Puusto, puuston tilavuuden muutos ja metsänkäytön intensiteetti

Männyn, kuusen ja lehtipuun suhteelliset osuudet koko maan tasolla ovat hyvin samansuuruiset pohjavesialueryhmissä 1+2+I+II ja 1E+2E+E (taulukko 6). Turve- ja kivennäismetsämaalla männyn tilavuudet ovat näissä pohjavesialueryhmissä samaa luokkaa, mutta kivennäismailla kuusta on 26–46 % enemmän ja lehtipuuta 10–20 % vähemmän kuin turvemaiilla. Luokan III pohjavesialueiden puulajijakauma poikkeaa muista ryhmistä ja tämä selittyy näiden alueiden pohjoisella sijainnilla. Tarkemmat aluehallintovirastokohtaiset puulajijakaumat on esitetty taulukossa 7.

Metsämaalla sijaitsevan puuston keksimääräinen tilavuus (m<sup>3</sup>/ha) oli vuosina 2009 ja 2017 noin 5 % pienempi pohjavesialueilla kuin koko maassa (taulukko 8). Puuston tilavuus kasvoi vuosien 2009 ja 2017 välillä yhtä paljon (10 %) pohjavesialueilla kuin koko maassa. Suhteellisesti katsottuna suurin pohjavesialueilla tapahtuva kasvu tapahtui Länsi- ja Sisä-Suomen (+16 %) ja Lapin alueilla (12 %) ja pienin kasvu Etelä-Suomen (6 %) ja Pohjois-Suomen alueilla (8 %). Puuston tilavuuden kasvu on ollut myös hitaampaa Pohjois-Suomen ja Itä-Suomen alueen pohjavesialueilla kuin näiden alueiden kaikilla metsämailla.

Avohakkuita indikoivan yli 90 %:n poistuman perusteella metsänkäytön intensiteetti on suurinta Etelä-Suomen pohjavesialueilla ja pienintä Lapissa (taulukko 9). Pohjois-Suomi on ainoa alue, jossa metsänkäytön intensiteetti on suurempi pohjavesialueilla kuin koko alueella.

**Taulukko 6.** Männyn, kuusen ja lehtipuun keskimääräinen tilavuus Suomen pohjavesialueilla vuonna 2017.

	1+2 ja I+II	III	1E+2E+E
<b>Turvemetsämaa</b>			
Mänty, m <sup>3</sup> /ha	68	52	69
Kuusi, m <sup>3</sup> /ha	21	16	25
Lehtipuu, m <sup>3</sup> /ha	22	16	22
<b>Kivennäismetsämaa</b>			
Mänty, m <sup>3</sup> /ha	67	60	67
Kuusi, m <sup>3</sup> /ha	30	25	31
Lehtipuu, m <sup>3</sup> /ha	20	25	181



**Taulukko 7. Männyn, kuusen ja lehtipuun keskimääräinen tilavuus Suomen pohjavesialueilla vuonna 2017.**

	Etelä-Suomi (1)			Lounais-Suomi (2)			Itä-Suomi (3)			Länsi- ja Sisä-Suomi (4)			Pohjois-Suomi (5)			Lappi (6)		
	1+2 ja I+II	III	1E+2 E+E	1+2 ja I+II	III	1E+2 E+E	1+2 ja I+II	III	1E+2 E+E	1+2 ja I+II	III	1E+2 E+E	1+2 ja I+II	III	1E+2 E+E	1+2 ja I+II	III	1E+2 E+E
<b>Turvemetsämaa</b>																		
Mänty, m <sup>3</sup> /ha	75	75	75	76	-	83	77	78	78	75	72	76	65	50	60	41	37	42
Kuusi, m <sup>3</sup> /ha	36	21	43	25	-	30	21	30	23	15	21	21	10	16	11	17	12	18
Lehtipuu, m <sup>3</sup> /ha	32	25	32	25	-	26	21	26	23	20	17	20	17	16	15	18	13	18
<b>Kivennäismetsämaa</b>																		
Mänty, m <sup>3</sup> /ha	65	76	62	65	-	69	79	69	73	70	81	71	68	73	69	57	59	57
Kuusi, m <sup>3</sup> /ha	51	26	54	36	-	29	34	40	41	32	45	39	12	28	11	13	9	12
Lehtipuu, m <sup>3</sup> /ha	32	26	30	25	-	18	23	40	26	21	45	20	9	28	6	9	9	8

**Taulukko 8.** Keskimääräinen metsämaan puuston tilavuus ja muutos aluehallintovirastojen alueilla ja niillä sijaitsevilla pohjavesialueilla ajanjaksolla 2009–2017.

	Tilavuus koko alueella 2009 [m <sup>3</sup> /ha]	Tilavuus pohjavesi- alueilla 2009 [m <sup>3</sup> /ha]	Tilavuus koko alueella 2017 [m <sup>3</sup> /ha]	Tilavuus pohjavesi- alueilla 2017 [m <sup>3</sup> /ha]	Muutos koko alueella [%]	Muutos pohjavesi- alueilla [%]
Etelä-Suomi (1)	146	140	152	148	4,1	5,7
Lounais-Suomi (2)	132	113	141	124	6,9	9,9
Itä-Suomi (3)	122	124	138	136	13,0	9,4
Länsi- ja sisä- Suomi (4)	117	107	133	123	13,5	15,9
Pohjois-Suomi (5)	83	80	98	87	17,0	8,1
Lappi (6)	63	67	71	75	13,6	11,8

**Taulukko 9.** Arvio metsämaan metsänkätön intensiteetistä aluehallintovirastojen alueilla ja niillä sijaitsevilla pohjavesialueilla ajanjaksolla 2009–2017. Intensiteettiä on arvioitu alalla, jossa puustossa on tapahtunut yli 90 % poistuma. Tämä ala indikoi avohakkuuta.

	Metsä- maa-ala koko alueella [km <sup>2</sup> ]	Metsä- maa-ala pohjave- sialueilla [km <sup>2</sup> ]	Yli 90 %:n poistuma koko alueella [km <sup>2</sup> ]	Yli 90 %:n poistuma pohjave- sialueilla [km <sup>2</sup> ]	Yli 90 %:n poistuma koko alu- eella [%]	Yli 90 %:n poistuma pohjavesi- alueilla [%]
Etelä-Suomi (1)	20978,8	1807,7	1005,1	81,2	4,8	4,5
Lounais-Suomi (2)	11289,7	516,6	433,5	17,8	3,8	3,4
Itä-Suomi (3)	41320,9	1482,6	1597,8	57,2	3,9	3,9
Länsi- ja sisä- Suomi (4)	42072,6	1353,6	1487,5	46,7	3,5	3,5
Pohjois-Suomi (5)	43697,0	1758,6	1327,2	69,4	3,0	3,9
Lappi (6)	52058,6	1570,4	856,3	24,3	1,6	1,5

## Liite 6. Esimerkkejä KUNNOS-mallin soveltamisesta eri pohjavesimuodostumiin

### 1 Esimerkkikohteiden perustiedot

KUNNOS-työkalun soveltuvuutta ojitusten vaikutusten sekä pohjaveden kulkeutumisen arviointiin testattiin viidellä eri pohjavesialueella (taulukko 1). Patamäen pohjavesialue sijoittuu Kokkolan kaupungin ja Kruunupyyn kunnan alueelle. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus on yhteistyössä SYKE:n kanssa seurannut vuosina 2016–2020 Kokkolan kaakkoispuolella sijaitsevan Patamäen alueen pohjaveden tilannetta ojituksen jälkeen (ks. luku 7.2.1 kuva 7 ja luku 7.2.2). KUNNOS-mallilla laskettiin purkautumisalueiden sijainti ja tutkittiin ojituksen vaikutusta pohjavedenpinnan alenemiin.

**Taulukko 1. KUNNOS-mallin soveltamiskohteiden ominaisuuksia.**

Pohjavesialue	Muodostuvan pohjaveden määrä m <sup>3</sup> /d	Koko alueen pinta-ala km <sup>2</sup>	Muodostumisalueen pinta-ala km <sup>2</sup>	Luokka	ELY	Muodostuman tyyppi
Patamäki	11 000	26,78	21,18	(1)	EPO	Antikliininen (pukava)
Rokua	61 000	139,40	93,85	(1E)	POP	Antikliininen (pukava)
Hyypän alue*	31 200	114,32	23,71	(1E)	EPO	Synkliininen (keräävä), peitteinen keräävä
Rahkosenharju	2 000	4,47	2,97	(1)	EPO	Antikliininen (pukava)
Taavetti	3 830	6,11	4,78	(1)	KAS	Antikliininen (pukava)

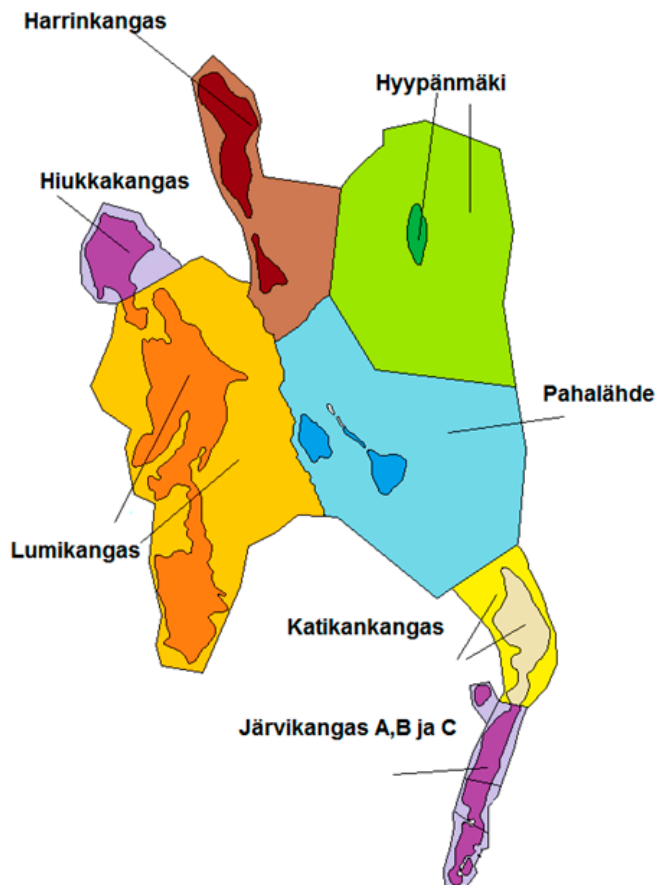
(1): Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue

(1E): Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue, jonka pohjavedestä pintavesi- tai maa-ekosysteemi on suoraan riippuvainen

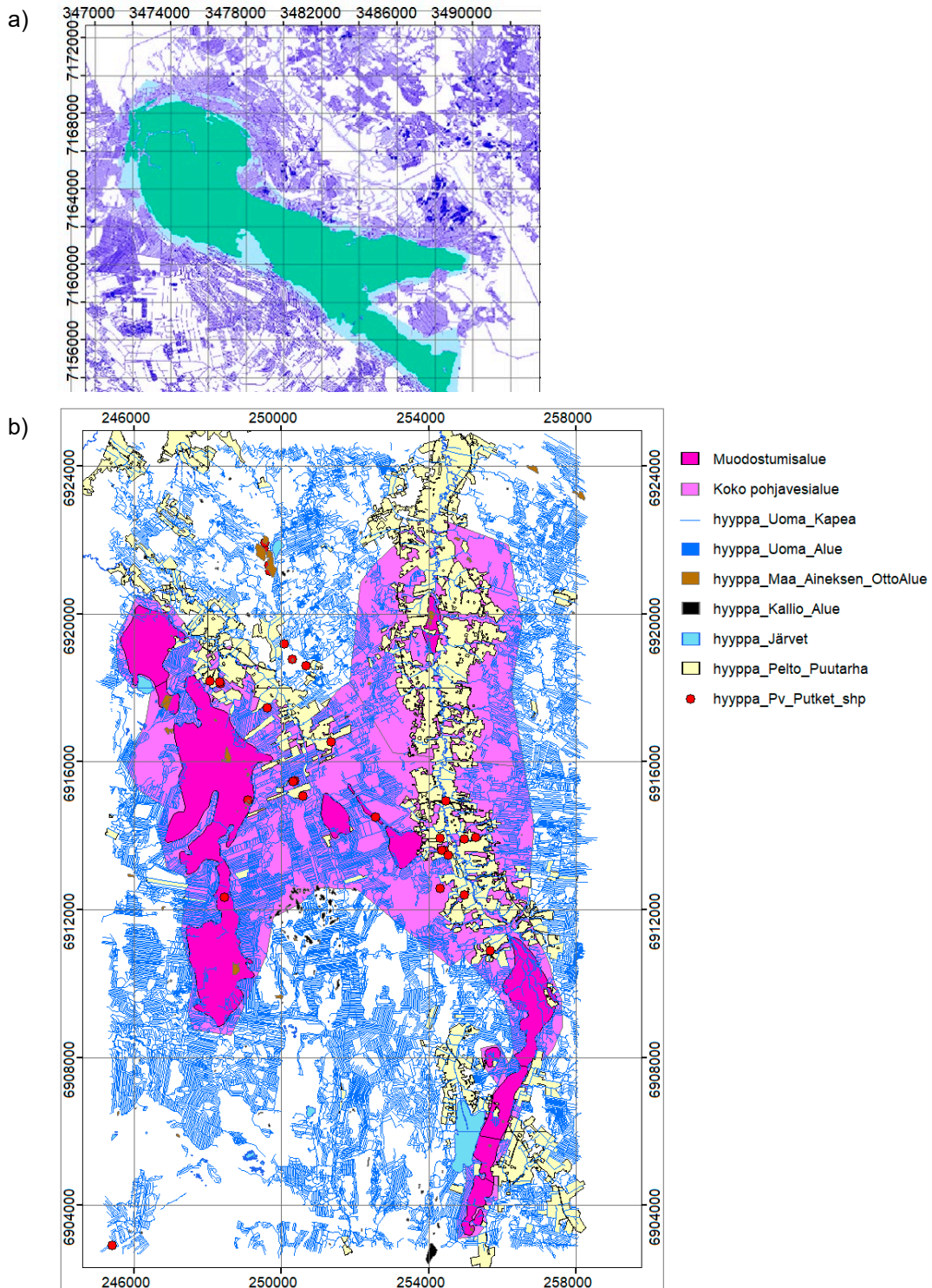
\*) Hyypän alue koostuu yhdeksästä luokitellusta pohjavesialueesta (kuvio 1). Pahalähde ja Harrinkangas ovat peitteisiä ja kerääviä pohjavesialueita. Hyypänmäki, Katikankangas ja Lumikangas ovat kerääviä alueita. Hiukkakangas ja Järvikangas A, B ja C ovat pukavia pohjavesialueita.

Muhoksen ja Vaalan kunnissa sijaitseva Rokuan pohjavesiesiintymä on yksi Suomen suurimmista yhtenäisistä pohjavesialueista ja sen tutkimuksia on esitelty luvuissa 7.2.3-5. Rokuan alueella on tutkittu pohjaveden laatua ja määrää sekä ojavesien laatua ojitetuilla alueilla. KUNNOS-mallilla arvioitiin pohjaveden purkautumisalueiden sijainti ja testattiin altistumiskohteiden laskentaa kahdelle kohteelle.

Kauhajoen alueella sijaitsevan Hyypän mallinusalueen pinta-ala on erittäin suuri ja siihen on yhdistetty kuvassa 1 esitety yhdeksän luokiteltua esiintymää. Hyypän alue poikkeaa Patamäen ja Rokuan alueista erityisesti siitä syystä, että pohjavesialueiden sisällä – ei kuitenkaan varsinaisella muodostumisalueelle – on erittäin paljon metsäojituksia, joista osa on kunnostuksen tarpeessa (kuva 2). Hyypän alueella muodostumisalueen pinta-ala 23.7 km<sup>2</sup> on vain n. 20 % esiintymien yhteenlasketusta kokonaispinta-alasta, joka on 114 km<sup>2</sup>. KUNNOS-mallia sovellettiin Pahalähteen ja Hyypänmäen esiintymille, jotka molemmat ovat kerääviä esiintymiä. Pahalähde on lisäksi luokiteltu peitteiseksi esiintymäksi. Mallilla testattiin kulkeutumisreittien laskentaa neljältä eri ojitusalueelta.



**Kuva 1.** Hyypän mallinusalueella olevat pohjavesiesiintymät.



**Kuva 2.** a) Rokuan pohjavesialueen uomaverkosto ja b) Hyypän alueen uomaverkosto. Rokuan alue on purkava ja Hyypän alue pääosin keräävä tai peitteinen ja keräävä. Hyypän pohjavesialueella on erittäin paljon metsäojia, joista osa on kunnostuksen tarpeessa.

Rahkosenharju on Kokkolan alueella sijaitseva melko pieni esiintymä, jolla on toteutettu kunnostusojituksia, jotka ovat alentaneet pohjavedenpintoja lähistöllä olevissa mittauspisteissä. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus toimitti mallin testausta varten lähtötietoja, joiden avulla kohdistettiin ojitusalueet. Rahkosenharjulla KUNNOS-mallilla laadittiin erityisesti purkautumisalueiden sijainti suhteessa ojituskohteisiin ja arvioitiin ojitusten vaikutus pohjavedenpinnan alenemiin.

Luumäellä sijaitsevan Taavetin pohjavesialueen rajausta on muuttunut v. 2020 aikana. Tapion siemenviljelyalue sijaitsee uuden pohjavesirajauksen sisällä. KUNNOS-mallilla arvioitiin voivatko siemenviljelyalueelta lähtöisin olevat pohjavedet kulkeutua Taavetin vedenottamolle, joka sijaitsee pohjavesialueen eteläreunalla.

Esimerkkitapauksissa esitetyt ojitukset eivät ole toteutettuja tai suunniteltuja lukuun ottamatta Patamäen kohteella olevaa aluetta (kuva 3, Avohakkuu ja ojitusalue). Ojituskohteiden valinnan tarkoitus on havainnollistaa KUNNOS-työkalun käyttöä vaikutusten arvioinnissa.

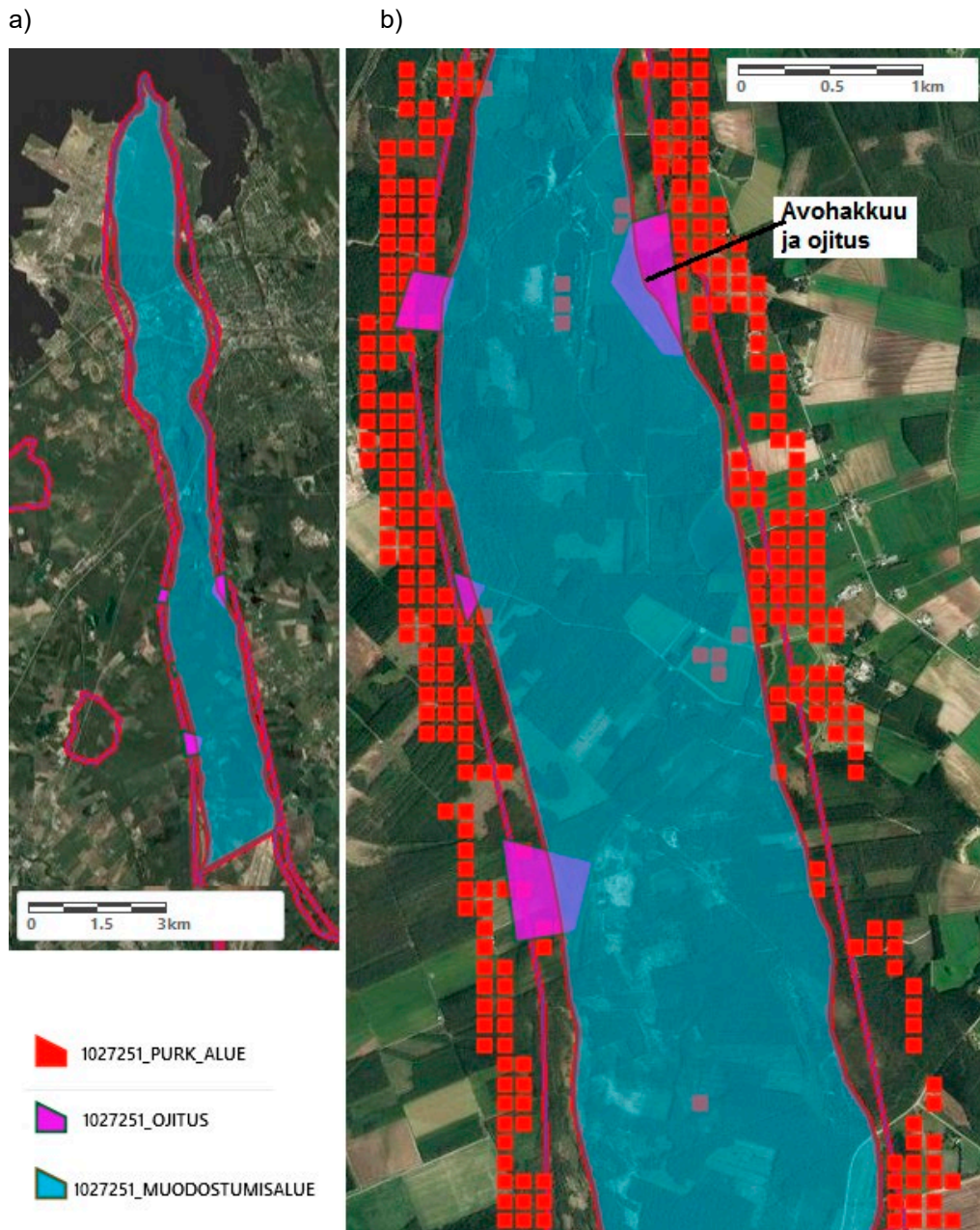
## 2 Sovellus Patamäen pohjavesialueelle

Kuvassa 3a on esitetty Patamäen pohjavesialueen rajausta ja kuvassa 3b KUNNOS-mallin testauksessa käytetyt neljä ojitusalueita. Kohdealueista ojitus on toteutettu vain yhdellä alueella ja muut ovat mukana kulkeutumisreittien ja purkautumisalueiden testausta varten. Patamäen seuranta-alueen hakkuu toteutettiin alkuvuodesta 2015. Ojitusilmoituksen mukaan ojien kunnostus tehtiin syys-lokakuussa 2015. Kuvan 3b tulosten mukaan kaikilla neljällä ojitusalueella on myös pohjaveden purkautumisalueita.

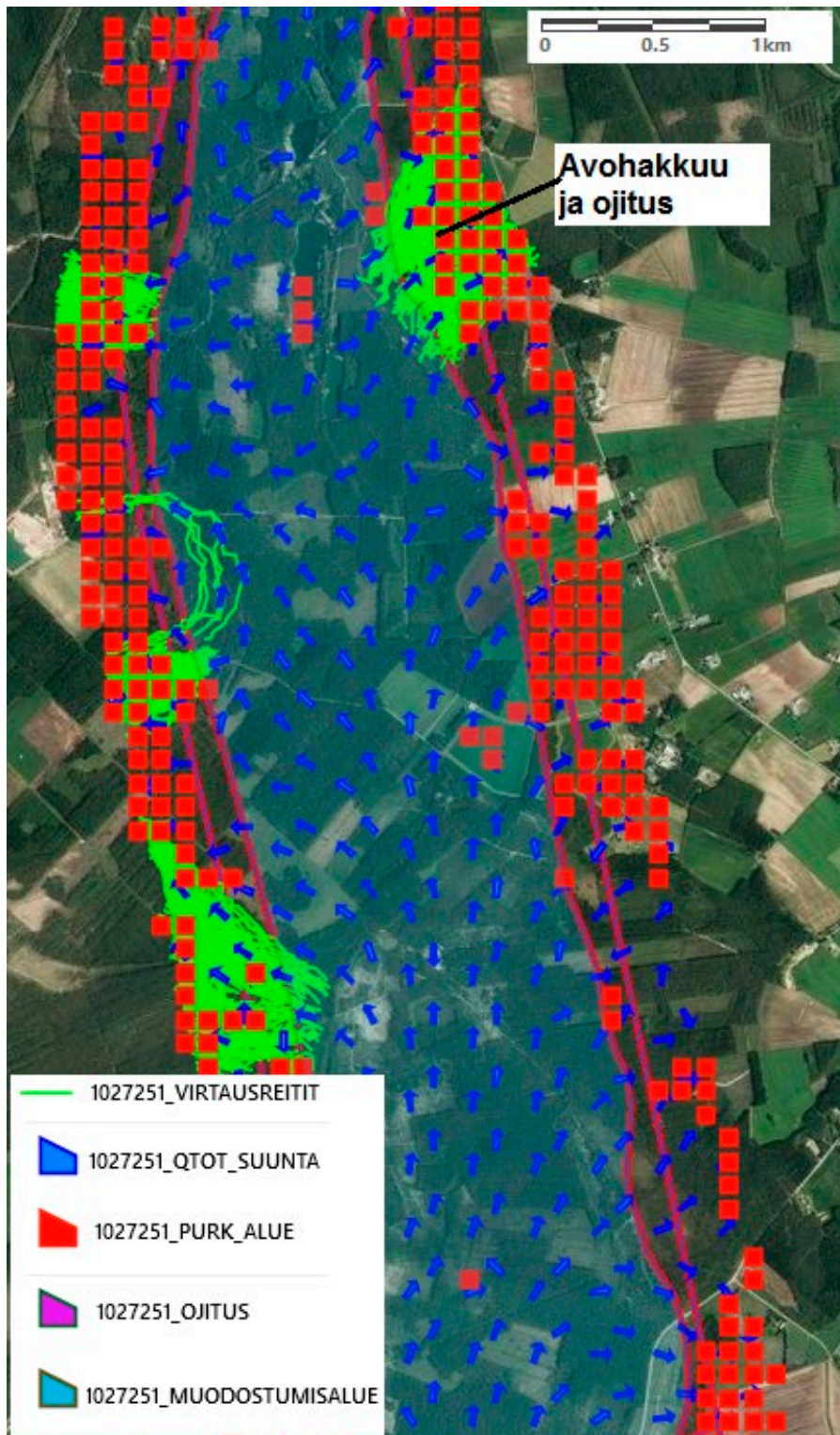
KUNNOS-mallin tulosten mukaan (kuva 4) ojitusalueilta lähtevät pohjaveden kulkeutumisreitit ovat pituudeltaan lyhyitä ja reittien päätepisteet sijaitsevat joko esiintymän reuna-alueilla tai alueen ulkopuolella. Sekä mallitulokset, että seuranta-alueelta ja sen läheisyydestä mitatut pohjavedenpinnan tiedot (luku 7.2.1) tukevat käsitystä että pohjavesiä purkautuu ympäröiville alueille. Päävirtaussuunta harjussa on luode-pohjoiseen eli kohti Kokkolaa, mutta paikallisia virtaussuuntia on myös harjun reuna-alueille idän ja lännen suuntaan.

Patamäen alueella tehtiin v. 2015 pohjavesialueen rajauksen sisällä sekä avohakkuu että metsäojien perkaus. Toimenpiteet ajoittuivat hyvin lähelle toisiaan. Avohakkuu nostaa pohjavedenpintoja, sillä haihdunta pienenee. Metsäojien perkaus puolestaan alentaa pohjavedenpintoja, sillä kuivatus tehostuu. Patamäen alueella kunnostusojitus sijoittuu ydinharjun itäpuolelle (kuva 4). Mallinnuksessa oletettiin, että ojien perkaus ja avohakkuu tehtiin samalla alueella (avohakkuun tarkka rajausta ei ollut tiedossa).





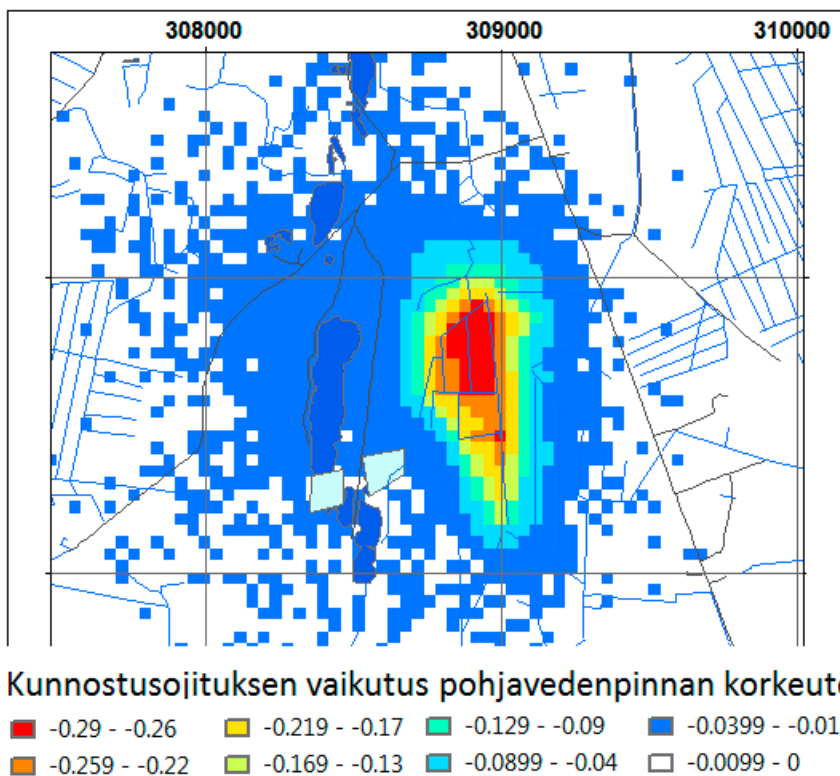
**Kuva 3.** a) Patamäen pohjavesialueen alueen rajausta ja muodostumisalue (vasemmanpuoleinen kuva) ja b) Laskentaan valittujen ojitusalueiden sijainti ja pohjaveden KUNNOS-työkalulla mallinnetut purkautumisalueet. Patamäen seuranta-alueen hakkuu toteutettiin alkuvuodesta 2015 (kuvassa esitetty ”Avohakkuu ja ojitus”-alue). Ojitusilmoituksen mukaan ojien kunnostus tehtiin syys-lokakuussa 2015.



**Kuva 4.** KUNNOS-mallilla lasketut ojitusalueilta lähtevät virtausreitit ja pohjaveden purkautumisalueet. Kuvassa on esitetty myös pohjaveden virtaussuunnat ja toteutetun avohakkuun ja ojituksen sijainti.



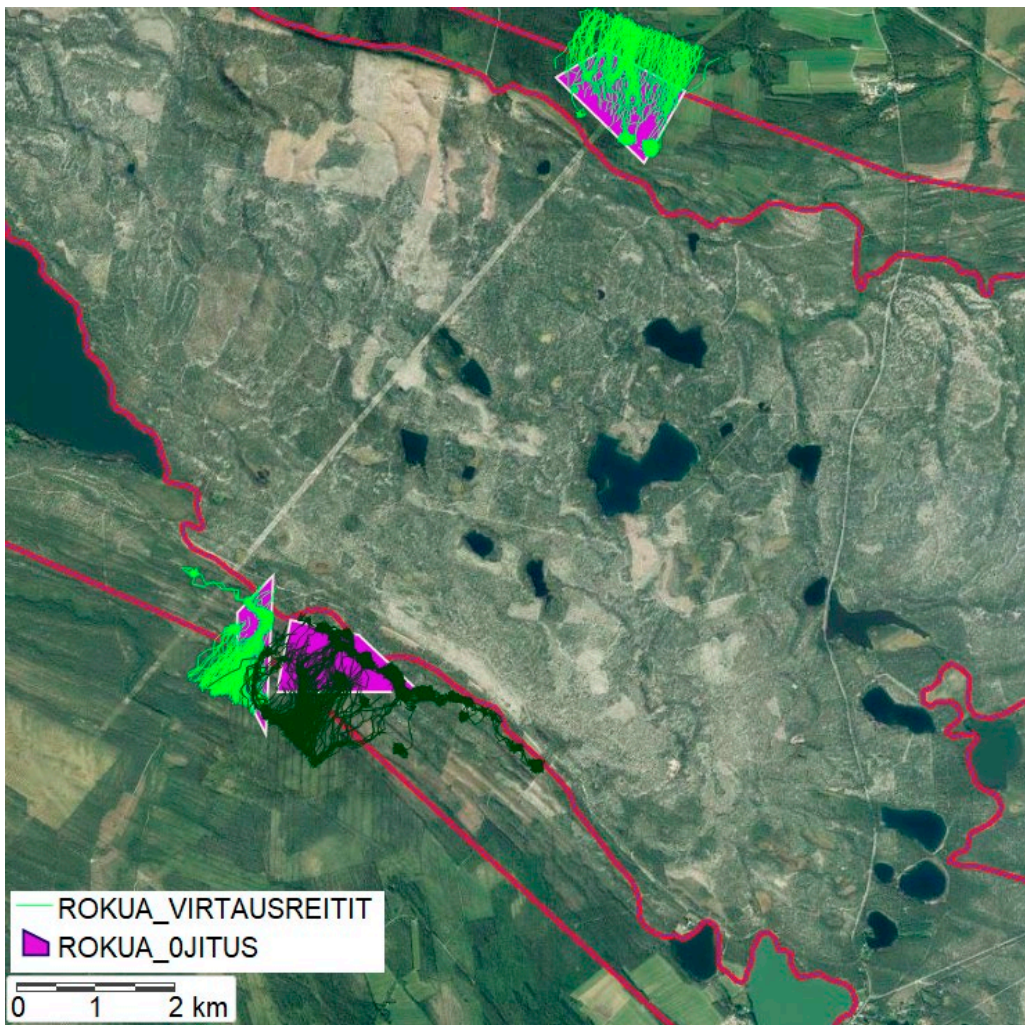
Mallin avulla tutkittiin samanaikaisen avohakkuun ja kunnostusojituksen mahdollisia yhteisvaikutuksia. Toimenpiteiden jälkeisinä vuosina avohakkuun ja kunnostusojituksen vaikutukset kumoavat toisiaan, kun ne tehdään samanaikaisesti. Kuvassa 5 on esitetty KUNNOS-mallilla lasketut arviot avohakkuun ja kunnostusojituksen yhteisvaikutuksesta ojitusalueen pohjavedenpinnan korkeuksiin. Kahden toimenpiteen arvioitu yhteisvaikutus on suurimmillaan n. 0.3 m alenema pohjavedenpinnan korkeudessa. Mallitulosten mukaan kunnostusojitus ilman avohakkuuta olisi alentanut pohjavedenpintoja suurimmillaan n. 0.4 m.



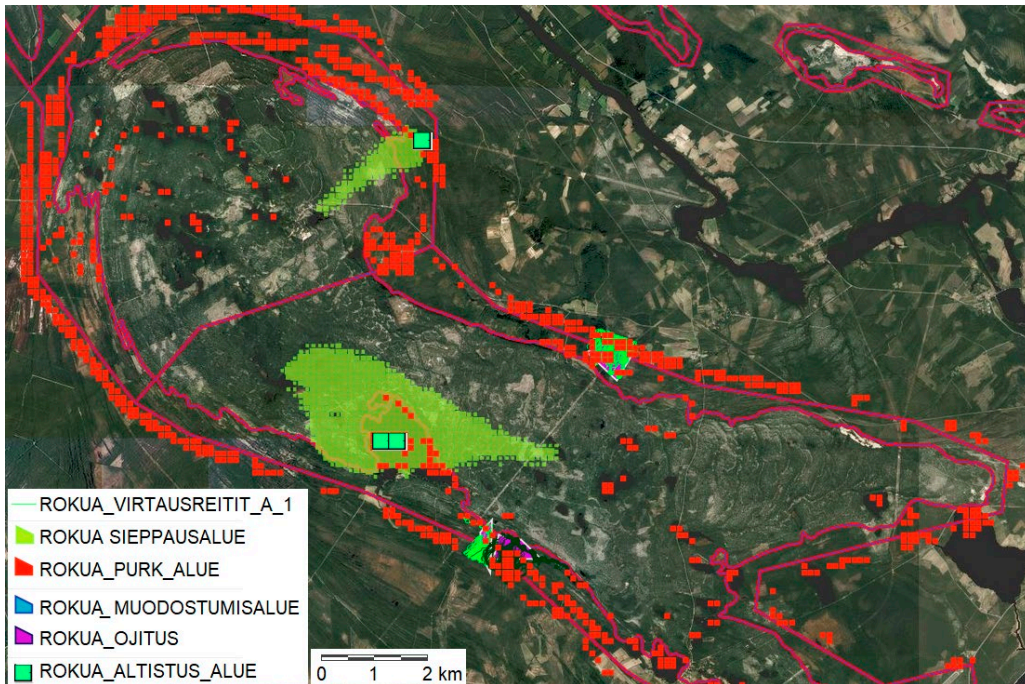
**Kuva 5.** Patamaen alueen avohakkuun ja kunnostusojituksen yhteisvaikutus pohjavedenpinnan korkeuteen. Negatiivinen muutos tarkoittaa sitä, että toimenpide alentaa pohjavedenpinnan korkeuksia. Kunnostusojitus ilman avohakkuuta olisi alentanut mallin laskennan mukaan pohjavedenpintoja suurimmillaan n. 0.4 m.

### 3 Sovellus Rokuan pohjavesialueella

Rokuan pohjavesialueella KUNNOS-mallilla arvioitiin kolmelta ojitusalueelta lähtevät pohjaveden kulkeutumisreitit (kuva 6), laskettiin purkautumisalueiden sijainti ja tulostettiin kahden altistumisreitin sieppausalueet (kuva 7). Rokuan esiintymä on purkava, joten kulkeutumisreitit ovat lyhyitä, jos ojitusalueet sijaitsevat esiintymän reuna-alueilla.



**Kuva 6.** Kolmen ojitusalueen sijainti ja alueilta lähtevät kulkeutumisreitit.



**Kuva 7.** Rokuan pohjavesiesiintymän mallinnettujen purkautumisalueiden sijainti ja kahden altistusalueen sieppausalueet eli alueet, joilta kohteille todennäköisimmin virtaa pohjavettä. Eteläinen altistumisalue on lampi/järvi, jonne esiintymän pohjavettä purkautuu. Pohjoinen altistumisalue on lähde.

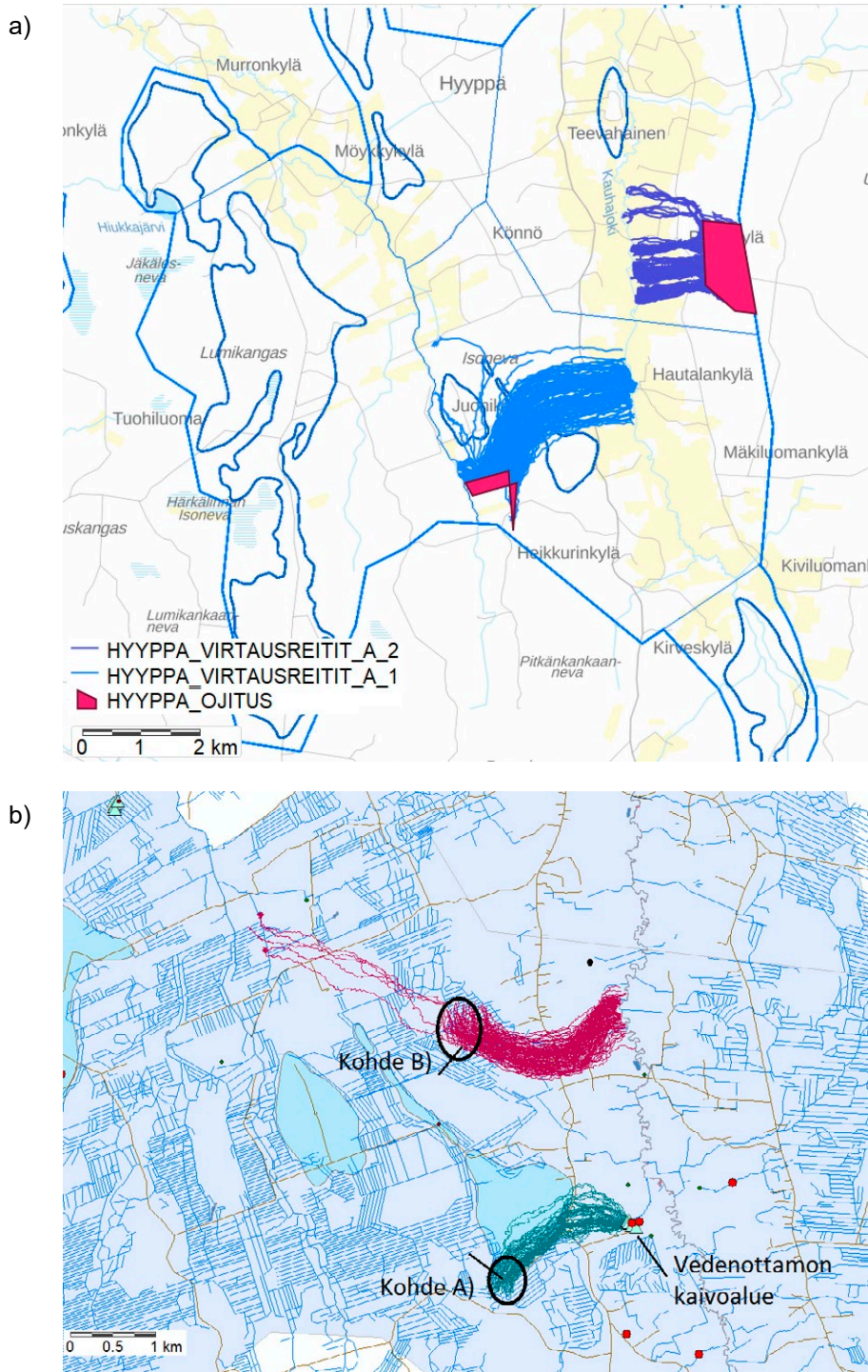
## 4 Sovellus Hyypän alueen pohjavesiesiintymille

Hyypän alueen yhdeksästä luokitellusta esiintymästä (kuva 1) useimmat ovat kerääviä. Kuvassa 8 on esitetty mallinnettujen pohjaveden purkautumisalueiden sijainti. Purkautumisalueiden sijainti on keräävillä esiintymillä paljon hajanaisempi kuin antiklinalisilla esiintymillä kuten Patamäki ja Rokua. Kuvan tulosten perusteella purkautumisalueita on paljon alueen läpi etelästä pohjoiseen virtaavan Kauhajoen varrella.

Keräävillä esiintymillä kunnostusojitusten vaikutusten arviointia ei voi tehdä pelkästään purkautumisalueiden avulla, vaan mallilla on myös arvioitava ojitusalueilta lähtevien pohjaveden kulkeutumisreittien päätepisteet. Kuvassa 9 on esitetty neljältä hypoteettiselta ojituskohdeelta lähtevät pohjaveden kulkeutumisreitit. Kolmen kohteen kulkeutumisreittien päätepisteet ovat Kauhajoessa, mutta alemman kuvan kohteen A) kulkeutumisreittien päätepisteet ovat Pahalähteen vedenottamon kaivoalueella. Kunnostusojituksen toteuttaminen alueella A) lisäisi riskiä, että pohjavedenottamolle virtaisi ojitusalueelta lähteviä pohjavettä.





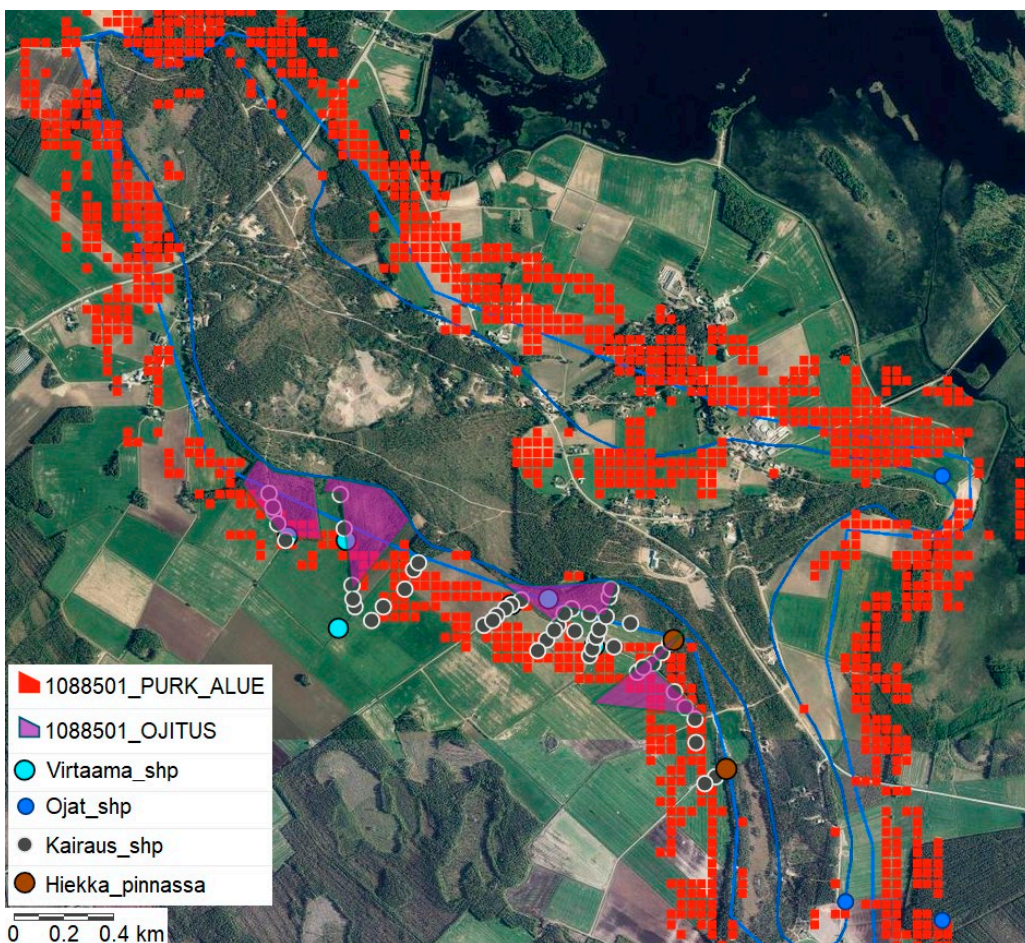


**Kuva 9.** Hyypän alueen ojituskohteilta lähtevät pohjaveden kulkeutumisreitit. a) Reittien päätepisteet ovat Kauhajoessa. b) Reitin A) päätepisteet sijaitsevat vedenottamon kaivoalueella ja reitin B) päätepisteet Kauhajoessa. Ojituskohteet eivät ole toteutettuja tai suunniteltuja, vaan niiden tarkoitus on havainnollistaa, miten mallia voidaan käyttää arvioitaessa ojitusten aiheuttamaa riskiä esimerkiksi pohjavedenottamolle.



## 5 Sovellus Rahkosenharjun pohjavesialueelle

Kokkolan kaupungin alueella sijaitsevalla Rahkosenharjun esiintymällä on havaittu pohjavedenpinnan alenemia kun alueen esiintymän eteläpuolella on tehty ojen kunnostuksia. Ojitusten tarkka sijainti ei ollut tiedossa, mutta kuvassa 10 on esitetty Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen toimittamia lähtötietoja, joiden avulla kohdistettiin kuvaan merkityt neljä ojitusaluetta. Kuvassa on ojavirtaamien mittauspisteet, kairauspisteet ja kaksi paikkaa, jossa hiekka on pinnassa.



**Kuva 10.** KUNNOS-mallin testauksessa käytetyt ojituskohdeet (tarkka sijainti ei ollut tiedossa) ja purkautumisalueiden sijainti. Kuvassa on esitetty Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen toimittamia lähtötietoja: kairauspisteiden, virtaamamittauspisteet (Virtaama\_shp), ojavirtaamien mittauspäikat (Ojat\_shp) ja päikat, joissa hiekka on pinnassa.

Rahkosenharjulla KUNNOS-mallilla laskettiin erityisesti purkautumisalueiden sijainti suhteessa ojituskohteisiin ja arvioitiin ojitusten vaikutus pohjavedenpinnan alenemiin. Kuvan 10 tulosten mukaan kaikilla neljällä ojituskohteella on pohjaveden purkautumis-alueita. Purkautumisalueet, joilla turvekerrokset puuttuvat tai ne ovat hyvin ohuet, aiheuttavat suuremman riskin sille, että pohjaveden purkautuminen kasvaa.

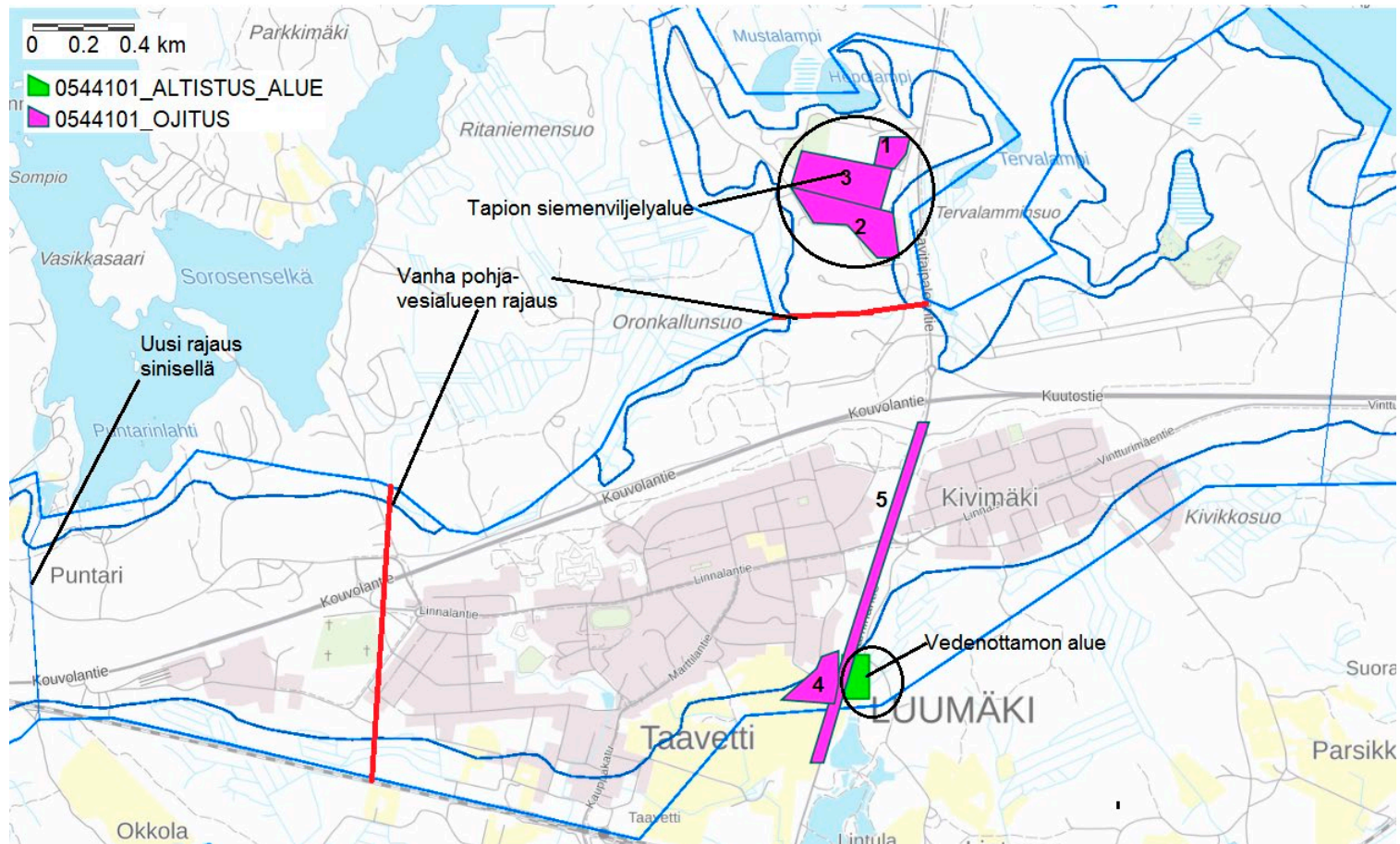
Mallitulosten mukaan ojitusten syventäminen lisäsi pohjaveden purkautumista Rahkosenharjun esiintymästä n. 100–150 m<sup>3</sup>/d, mutta käytettävissä ei ollut pohjaveden pumppaustietoja, eikä myöskään tietoa ojituksen tarkasta sijainnista tai perkaus-syvyyksistä, joten arvio ojitusten vaikutuksista sisältää paljon epävarmuutta.

## 6 Sovellus Taavetin pohjavesialueelle

Kuvassa 11 on esitetty Taavetin pohjavesialueen vanha ja uusi raja. Tapion siemenviljelyalue sijaitsee uuden pohjavesirajauksen sisällä. Siemenviljelyalue on ollut 1960-luvulta vuosituhannen vaihteeseen asti taimitarha, jolla on tuotettu pääasiassa avomaalla kuusen ja männyn taimia ja käytetty ao. aikana luvallisia mutta myöhemmin käytöstä poistettuja kasvinsuojeluaineita. KUNNOS-mallilla arvioitiin voivatko siemenviljelyalueelta lähtöisin olevat pohjavedet kulkeutua Taavetin vedenottamolle, joka sijaitsee pohjavesialueen eteläreunalla. Vedenotto on tällä hetkellä n. 500 m<sup>3</sup>/d ja nykyisen rajauksen alueella muodostuvan pohjaveden määrä on Pohjavesitietojärjestelmän mukaan 3 830 m<sup>3</sup>/d (POVET, SYKE 2021).

KUNNOS-mallilla voidaan laskea kulkeutumisreitit myös muille kuin ojien kunnostuskohteille edellyttäen, että riskialueet sijaitsevat pohjavesialueen rajauksen sisäpuolella. Laskentaesimerkissä ojitusalueeksi on merkitty Tapion siemenviljelyalue ja riskialueiksi peltolohko vedenottamon läheltä, sekä n. 1 000 m:n tieosuus Savitaipaleen suuntaan menevältä tieltä (kuva 11). Malli tarvitsee lähtötietona myös altistumisalueen rajauksen. Altistumisalueen rajauksen on oltava riittävän suuri, niin että sen sisällä ovat myös vedenottamon pumppauskaivot (arvio).

Kulkeutumisreitit lasketaan mallintamalla ensin pohjavedenpinnan korkeudet koko alueelta ja laskemalla sen jälkeen virtausnopeudet ja -suunnat. Taavetin alueelta on käytettävissä pohjavesihavaintoja ja mallin vedenjohtavuudet kalibroitiin vertaamalla mitattuja ja laskettuja arvoja toisiinsa. Taavetin esiintymälle mallin selitysaste on hyvä ( $R^2=0.93$ ), joten virtausnopeuksien suunnat ovat luotettavat.

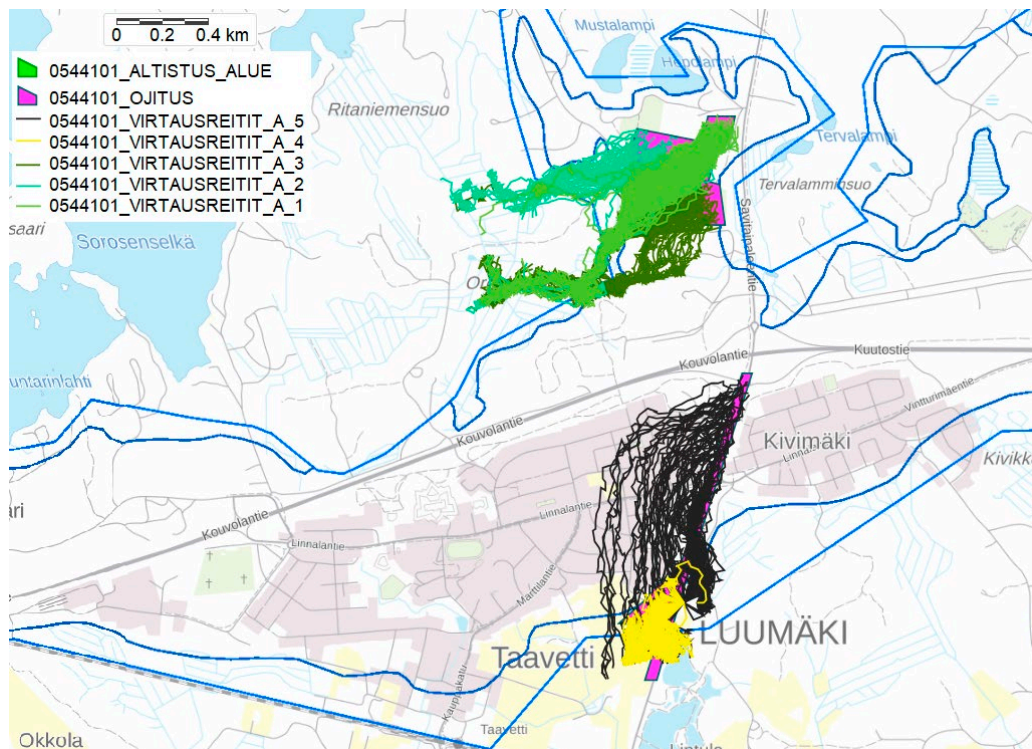


**Kuva 11.** Taavetin pohjavesialueen uusi (sininen viiva) ja vanha raja (punainen viiva). KUNNOS-mallin testauksessa käytettyjen viiden ojitusalueen/riskialueen sijainnit ja numerot on esitetty kuvassa. Alueet 1–3 sijaitsevat Tapion taimitarhan alueella, alue 4 on vedenottamon länsipuolella sijaitsevalla pellolla ja alue 5 noudattelee alueen läpi etelä-pohjoissuunnassa kulkevan Savitaipaleentien linjausta. Vedenottamon alue on merkitty kuvaan (altistumisalue).



Kuvassa 12 on esitetty KUNNOS-mallilla lasketut todennäköiset kulkeutumisreitit sekä Tapion siemenviljelykohteelle, että kahdelle muulle riskialueelle. Mallin mukaan siemenviljelyalueelta lähtevien kulkeutumisreittien päätepisteet ovat pohjavesialueen ulkopuolella olevat ojat ja pienet purot. Taavetin esiintymässä on länsi-itäsuunnassa vedenjakaja niin, että Tapion siemenviljelyalue sijaitsee Kymijoen vesistöalueella ja vedenottamo Urpalanjoen vesistöalueella. Vedenjakajan sijainti noudattaa likimain kuvassa 12 esitetyn Kouvolantien linjausta. On siis epätodennäköistä, että siemenviljelyalueen pohjavedet kulkeutuisivat vedenottamolle. Kahden muun rajatun kohteen alueilta lähtevistä kulkeutumisreiteistä osa päättyisi laskennan mukaan vedenottamolle.

Kuvassa 13 on esitetty sekä mallinnetut pohjaveden purkautumisalueiden sijainnit, että KUNNOS-työkalulla laskettu altistumiskohteen eli vedenottamon sieppausalue olettaen, että pumpattu vesimäärä olisi nelinkertainen nykyiseen vedenottoon verrattuna.



**Kuva 12.** Ojitusalueelta (Tapion siemenviljelyalue) ja riskialueilta (peltolohko ja Savitaipaleentie) lähtevien virtausreittien kulkeutumis suunnat.



Valtioneuvoston asetuksessa vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006, vesienhoitoasetus) määritellään pintavesiekosysteemin olevan pohjavedestä suoraan riippuvainen, kun siihen purkautuu pohjavettä siten, että pohjaveden purkautumisella on merkitystä kyseisen ekosysteemin suojelulle ja säilymiselle. Vastaavasti maaekosysteemi on pohjavedestä suoraan riippuvainen, kun pohjavesi ylläpitää luontotyyppin ominaispiirteitä sekä vaikuttaa sen suojeluun ja säilymiseen. KUNNOS-mallilla voidaan laskea arvio pohjaveden purkautumisalueiden sijainnista (kuva 13) ja verrata näitä tietoja pohjavedestä riippuvaisten pintavesiekosysteemien ja maaekosysteemien sijaintiin.

## Lähteet

- Aapala, K., Similä, M. & Penttinen, J. 2013. Ojitettujen soiden ennallistamisopas. <https://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/show/1601>
- Adane, Z., Nasta, P., Zlotnik, V. & Wedin D. 2018. Impact of grassland conversion to forest on groundwater recharge in the Nebraska Sand Hills. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, S. 171–183. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.01.001>
- Ahtiainen, M. & Huttunen, M. 1999. Long-term effects of forestry managements on water quality and loading in brooks. *Boreal Environment Research* 4: 101–114. <http://www.borenv.net/BER/archive/pdfs/ber4/ber4-101-114.pdf>
- Ahti, E. & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Teoksessa: Trettin, C., Jurgensen, M., Grigal, D., Gale, M. & Jeglum, J. (toim.) *Northern Forested Wetlands: Ecology and Management*. CRC Press, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. s. 449–457
- Ala-aho, P., Rossi, P.M. & Kløve, B. 2013. Interaction of esker groundwater with headwater lakes and streams. *Journal of Hydrology*. 500:144–156. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.014>
- Ala-aho, P., Rossi, P.M. & Kløve, B. 2015a. Estimation of temporal and spatial variations in groundwater recharge in unconfined sand aquifers using Scots pine inventories. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (4): 1961–1976. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1961-2015>
- Ala-aho, P., Rossi, P.M., Isokangas, E. & Kløve, B. 2015b. Fully integrated surface–subsurface flow modelling of groundwater–lake interaction in an esker aquifer: Model verification with stable isotopes and airborne thermal imaging. *Journal of Hydrology* 522 (2015): 391–406. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.054>
- Alapassi, M., Rintala, J. & Sipilä, P. 2001. Maa-ainesten ottaminen ja ottamisalueiden jälkihoito. Ympäristöministeriö, Ympäristöopas 85. Oy Edita Ab, Helsinki 2001. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40806/YO\\_85.pdf](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40806/YO_85.pdf)
- Allen, A. & Chapman, D. 2001. Impacts of afforestation on groundwater resources and quality. *Hydrogeology Journal* 9, 390–400. <https://doi.org/10.1007/s100400100148>

- Asmala, E., Carstensen, J. & Räike, A., 2019. Multiple anthropogenic drivers behind upward trends in organic carbon concentrations in boreal rivers. *Environmental Research Letters* 14, 124018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4fa9>
- Autio, A., Ala-aho, P., Ronkanen, A.-K., Rossi, P.M. and Kløve, B. 2020. Implications of peat soil conceptualization for groundwater exfiltration in numerical modeling: A study on a hypothetical peatland hillslope. *Water Resources Research* 56(8), e2019WR026203. <https://doi.org/10.1029/2019WR026203>
- Barquín, J. & Scarsbrook, M. 2008. Management and conservation strategies for coldwater springs. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18:580–591. <https://doi.org/10.1002/aqc.884>
- Bertrand, G., Goldscheider, N., Gobat, J.-M. & Hunkeler, D. 2012. From multi-scale conceptualization to a classification system for inland groundwater-dependent ecosystems. *Hydrogeology Journal* (2012) 20: 5–25. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0791-5>
- Britschgi, R., Rintala, J. & Puharinen, S. 2018. Pohjavesialueet – opas määrittämiseen, luokitukseen ja suojelusuunnitelman laadintaan. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2018. Ympäristöministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161164>
- Cantonati, M., Füreder, L., Gerecke, R., Jüttner, I., & Cox, E.J. 2012. Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science*, 31(2), 463–480. <https://doi.org/10.1899/11-111.1>
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia* (2005) 143: 1–10. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00442-004-1788-8.pdf>
- Davis, S. & DeWiest, R., 1966. *Hydrogeology*, New York: John Wiley, 463 p.
- Dugdale, S.J., Bergeron, N.E. & St-Hilaire, A. 2013. Temporal variability of thermal refuges and water temperature patterns in an Atlantic salmon river. *Remote Sensing of Environment* (2013) 136: 358–373. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.018>
- Eronen, M. 1974. The history of the Litorina Sea and associated Holocene events. *Societas Scientiarum Fennicae, Commentationes Physico-Mathematicae* 44, 79–195.



- Eskelinen, R., Ala-aho, P., Rossi, P.M. & Kløve B. 2015. A GIS-based method for predicting groundwater discharge areas in esker aquifers in the Boreal region. *Environmental Earth Sciences*, 74, 4109–18. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-4491-7>
- Eskelinen, R., Ronkanen, A.-K., Marttila, H., Elina Isokangas, E. & Bjørn Kløve, B. 2016. Effects of soil frost on snowmelt runoff generation and surface water quality in drained peatlands. *Boreal Environmet Research* 21: 556–570. [helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/225823/ber21-5-6-556.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/225823/ber21-5-6-556.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Härkönen, L., Huttunen, M., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sallantausta, T., Sarkkola, S., Tattari, S. & Ukonmaanaho, L. 2021. Drainage for forestry increases N, P and TOC export to boreal surface waters. *Science of Total Environment* 762, 144098. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144098>
- Finér, L., Lepistö, A., Karlsson, K., Räike, A., Tattari, S., Huttunen, M., Härkönen, L., Joensuu, S., Kortelainen, P., Mattsson, T., Piirainen, S., Sarkkola, S., Sallantausta, T. & Ukonmaanaho, L. 2020. Metsistä ja soilta tuleva vesistökuormitus 2020. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 2020:6. 77 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-826-7>
- Finér, L., Mattsson, T., Joensuu, S., Koivusalo, H., Laurén, A., Makkonen, T., Nieminen, M., Tattari, S., Ahti, E., Kortelainen, P., Koskiaho, J., Leinonen, A., Nevalainen, R., Piirainen, S., Saarelainen, J., Sarkkola S. & Vuollekoski, M., 2010. Metsäisten valuma-alueiden vesistökuormituksen laskenta. *Suomen ympäristö* 10/2010. 33 s. <http://hdl.handle.net/10138/37973>
- Finn, D.S., Bonada, N., Múrria, C. & Hughes, J.M. 2011. Small but mighty: headwaters are vital to stream network biodiversity at two levels of organization. *Journal of the North American Benthological Society* (2011) 30 (4). <https://doi.org/10.1899/11-012.1>
- Freeman, M.C., Pringle, C.M. & Jackson, C. R. 2007. Hydrologic Connectivity and the Contribution of Stream Headwaters to Ecological Integrity at Regional Scales. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, Paper No. J06011. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x>

Futter, M. N., Ring, E. Högbom, L. Entenmann, S. & Bishop, K. H. 2010. Consequences of nitrate leaching following stem-only harvesting of Swedish forests are dependent on spatial scale. *Environmental Pollution* 158: 3552–3559.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.08.016>

Hare, D. K., Boutt, D. F., Clement, W. P., Hatch, C. E., Davenport, G., & Hackman, A. 2017. Hydrogeological controls on spatial patterns of groundwater discharge in peatlands. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6031–6048.

<https://doi.org/10.5194/hess-21-6031-2017>

Heikkilä, H., Kukko-oja, K., Laitinen, J., Rehell, S. & Sallantausta, T. 2001. Arvio Viinivaaran pohjavedenottohankkeen vaikutuksista Olvassuon Natura 2000 -alueen luontoon. Metsäntutkimuslaitos. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 799. 55 s.

<http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1769-2>

Heiskanen, M., Bergström, I., Kosenius, A.-K., Laakso, T., Lindholm, T., Mattsson, T., Mäkipää, R., Nieminen, M., Ojanen, P., Rankinen, K., Tolvanen, A., Viitala, E.-J. & Peltoniemi, M. 2010. Suomettien hoidon tuet ja niiden ilmasto-, vesistö- ja biodiversiteetti-vaikutukset. Kestävän metsätalouden määräaikaisen rahoituslain (Kemera-lain) mukaisten tukien tarkastelu. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 27/2020. Luonnonvarakeskus. 80 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-953-8>

Henriksen, A. & Kirkhusmo, A.H. 2000. Effects of clear-cutting of forest on the chemistry of a shallow groundwater aquifer in southern Norway. *Hydrology and Earth System Sciences* 4(2): 323–331. <https://doi.org/10.5194/hess-4-323-2000>

Huang, T., Pang, Z., Yang, S. & Yin, L. 2020. Impact of Afforestation on Atmospheric Recharge to Groundwater in a Semiarid Area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125 (9), e2019JD032185. <https://doi.org/10.1029/2019JD032185>

Huuskonen, S., Hynynen, J. & Valkonen, S. (toim.) 2014. Metsänkasvatus – menetelmät ja kannattavuus. Metsäkustannus. 205 s.

Hynynen, J., Rantala, S & Valkonen, S. (toim.) 2005. Tuottava metsänkasvatus. Metsäkustannus, 221 s.

Hynynen, J., Huuskonen, S. & Kojola, S. (toim.) 2017. METSÄ 150: Metsänkasvatuksen keinot lisätä puun tuotantoa kestävästi ja kannattavasti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 16/2017. Luonnonvarakeskus. 89 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-377-2>



- Hyvärinen, H., Donner, J., Kessel, H. & Raukas, A. 1988. The Litorina Sea and Limnaea Sea in the Northern and Central Baltic. Julkaisussa: Donner, J. and Raukas, A. (toim.) Problems of the Baltic Sea History, Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III 148:13–23.
- Härkönen J. 2012. Lämsänjärven tilan selvitys ja kunnostusmahdollisuuksien kartoitus. Diplomityö. Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta.
- Ilmonen, J., Leka, J., Kokko, A., Lammi, A., Lampolahti, J., Muotka, T., Rintanen, T., Sojakka, P., Teppo, A., Toivonen, H., Urho, L., Vuori, K.-M. & Vuoristo, H. 2008. Sisävedet ja rannat. Julkaisussa: Raunio, A., Schulman, A. & Kontula, T. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus – Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. Suomen ympäristö 8/2008. S. 75–109
- Ilmonen, J., Mykrä, H., Virtanen, R., Paasivirta, L. & Muotka, T. 2012. Responses of spring macroinvertebrate and bryophyte communities to habitat modification: community composition, species richness and red-listed species. *Freshwater Science*, 31 (2012), pp. 657–667, <https://doi.org/10.1899/10-060.1>
- Ilmonen, J. 2008. *Crunoecia irrorata* (Curtis) (Trichoptera: Lepidostomatidae) and conservation of boreal springs: Indications of clustering of red-listed species. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18(1), 6–18. <https://doi.org/10.1002/aqc.808>
- Isokangas, E., Rozanski, K., Rossi, P.M., Ronkanen, A.-K. & Kløve, B. 2015. Quantifying groundwater dependence of a sub-polar lake cluster in Finland using an isotope mass balance approach. *Hydrology and Earth System Sciences* 19, 1247–1262. <https://doi.org/10.5194/hess-19-1247-2015>
- Isokangas, E., Rossi, P., Ronkanen, A.-K., Marttila, H., Rozanski, K. & Kløve, B. 2017. Quantifying spatial groundwater dependence in peatlands through a distributed isotope mass balance approach. *Water Resources Research* 53(3): 2524–2541, <https://doi.org/10.1002/2016WR019661>
- Isokangas, E., Ronkanen, A.-K., Rossi, P.M., Marttila, H. & Kløve, B. 2019. A tracer-based method for classifying groundwater dependence in boreal headwater streams. *Journal of Hydrology* (2019) 577. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.029>
- Jaros, A., Rossi, M.P., Ronkanen, A.-K., & Kløve, B. 2019. Parameterisation of an integrated groundwater-surface water model for hydrological analysis of boreal aapa

mire wetlands. *Journal of Hydrology*, 575: 175–191, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.094>

Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. 2012. Hyvän metsänhoidon suositukset – Vesiensuojelu. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion julkaisuja.

Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. 2019. Metsänhoidon suositukset vesiensuojeluun, työopas. Tapion julkaisuja.

Jyväsjärvi, J., Marttila, H., Rossi, P.M., Ala-aho, P., Olofsson, B., Nisell, J., Backman, B., Ilmonen, J., Virtanen, R., Paasivirta, L., Britschgi, R., Kløve, B. & Muotka, T. 2015. Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems. *Global Change Biology* (2015) 21: 4561–4569. <https://doi.org/10.1111/gcb.13067>

Jyväsjärvi, J., Virtanen, R., Ilmonen, J., Paasivirta, L. & Muotka, T. 2018. Identifying taxonomic and functional surrogates for spring biodiversity conservation. *Conservation Biology*, Volume 32, No. 4, 883–893. <https://doi.org/10.1111/cobi.13101>

Kaakinen, E., Kokko, A., Aapala, K., Autio, O., Eurola, S., Hotanen, J.-P., Kondelin, H., Lindholm, T., Nousiainen, H., Rehell, S., Ruuhijärvi, R., Sallantausta, T., Salminen, P., Tahvanainen, T., Tuominen, S., Turunen, J., Vasander, H. & Virtanen, K. 2018. Suot. Teoksessa: Kontula, T. & Raunio, A. (toim.). Suomen luontotyyppien uhanalaisuus 2018. Osa II – luontotyyppien kuvaukset. Suomen ympäristö 5/ 2018. s. 321–474.

Kangas, M. 2013. Rikkoutumisien ennaltaehkäiseminen työkonehydrauliikassa öljy-analyysin avulla. Turun ammattikorkeakoulu, Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma, Autotekniikka, opinnäytetyö, 71 s. +liitteet.

Karjalainen, T.P., Rossi P.M., Ala-Aho, P., Eskelinen, R., Reinikainen, K., Kløve, B., Pulido-Velazquez, M. & Yang, H. 2013. A decision analysis framework for stakeholder involvement and learning in groundwater management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 5141–53. <https://doi.org/10.5194/hess-17-5141-2013>

Kaukonen, M., Eskola, T., Herukka, I., Karppinen, H., Karvonen, L., Korhonen, I., Kuokkanen, P. & Ervola, A. 2018. Metsätalous Oy:n ympäristöopas. 2. korj. painos 130 s. Metsähallitus. <https://julkaisut.metsa.fi/>

Keesstra, S.D., Geissen, V., Mosse, K., Piirainen, S., Scudiero, E., Leistra, M. & van Schaik, L. 2012. Soil as a filter for groundwater quality. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4(5): 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.007>

- Keränen, J. 2021. Metsätalouden vaikutukset pohjaveteen. Diplomityö. Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta. <http://jultika.oulu.fi/Record/nbnfioulu-202103181390>
- Kivimäki, A.-L., Lahti, K., Loikkanen, H., Lindholm, J., Ahonen, J., Backman, B., Kaipainen, T., Luoma, S., Pullinen, A., Kiirikki, M., Oksanen, A. & Pönni, J. 2017. Pohjavesien yhteistarkkailun kehittäminen – Loppuraportti. Julkaisu 77/2017. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. 54 s. [http://www.vhvsy.fi/files/upload\\_pdf/9523/Julkaistu%2077-2017%20POVEYTKE\\_loppuraportti.pdf](http://www.vhvsy.fi/files/upload_pdf/9523/Julkaistu%2077-2017%20POVEYTKE_loppuraportti.pdf)
- Kløve, B., Ala-aho, P., Bertrand, G., Boukalova, Z., Ertürk, A., Goldscheider, N., Ilmonen, J., Karakaya, N., Kupfersberger, H., Kværner, J., Lundberg, A., Mileusnic, M., Moszczyńska, A., Muotka, T., Preda, E., Rossi, P., Siergieiev, D., Šimek, J., Wachniew, P., Angheluta, V. & Widerlund, A. 2011. Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends. *Environmental Science & Policy* 14 (7), 770–781. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.04.002>
- Kritzberg, E. S. 2017. Centennial-long trends of lake browning show major effect of afforestation. *Limnology and Oceanography Letters*, 2(4), 105–112. <https://doi.org/10.1002/lol2.10041>
- Kubin, E. 1995. Site preparation and leaching of nutrients. Julkaisussa: Ritari ym. (toim.), Northern Silviculture and Management. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 567: 55–62.
- Kubin, E. 1998. Leaching of nitrate nitrogen into the groundwater after clear felling and site preparation. *Boreal Environment Research*, 3 (1): 3–8.
- Kubin, E., Křeček, J. & Palán, L., 2017. Effects of Forest Practices on Water Resources Recharge in Boreal Climate. *Environmental Processes*, 4 (3): 509–522. <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0249-4>
- Kuokkanen, T.J., Närhi, J., Saukkoriipi, J., Vuoti, S., Vähäoja, P., Lauhanen, R. & Kolppanen, R. 2003. Metsäkoneiden hydrauliiikkaöljyjen biohajoavuus maaperässä sekä niiden eräitä raskasmetallipitoisuuksia ja fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2003: 291–299. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2016111628885>
- Kupiainen, V. 2010. Pohjaveden purkautuminen metsäojiin Rokuan harjualueella ja ojan kunnostus padottamalla. Diplomityö. Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. <https://www.finna.fi/Record/oy.9911035703906252>

LaBaugh, J. W., Rosenberry, D. O., & Winter, T. C. 1995. Groundwater contribution to the water and chemical budgets of Williams Lake, Minnesota, 1980–1991. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(4), 754–767.

<https://doi.org/10.1139/f95-075>

Laine, J., Vasander, H., Hotanen, J.-P., Nousiainen, H., Saarinen, M. & Penttilä, T. 2018. Suotyypit ja turvekankaat – kasvupaikkaopas. Luonnonvarakeskus. Helsingin yliopisto, Metsäkustannus. 160 s.

Laine, T., Luoranen, J. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2019. Metsämaan muokkaus: kirjallisuuskatsaus maanmuokkauksen vaikutuksista metsänuudistamiseen, vesistöihin sekä ekologiseen ja sosiaaliseen kestävyteen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 58/2019. Luonnonvarakeskus. 83 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-813-5>

Laitamäki, J. 2019. Moreenipohjaveden taustapitoisuuksien seurantaan soveltuvien lähteiden kartoitus (MORE-hanke) – Pilottina Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen toimialue. Raportteja 19/2019. Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Seinäjoki. 36 s. <https://www.doria.fi/handle/10024/171450>

Lehosmaa, K., Jyväsjärvi, J., Virtanen, R., Ilmonen, J., Saastamoinen, J. & Muotka, T. 2017. Anthropogenic habitat disturbance induces a major biodiversity change in habitat specialist bryophytes of boreal springs. *Biological Conservation*, 215: 169–178.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.010>

Lehosmaa, K., Jyväsjärvi, J., Ilmonen, J., Rossi, P., Paasivirta, L. & Muotka, T. 2018. Groundwater contamination and land drainage induce divergent responses in boreal spring ecosystems. *Science of The Total Environment*, 639: 100–109,

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.126>

Lehosmaa, K., Muotka, T., Pirttilä A.M., Jaakola, I., Rossi, P.M. & Jyväsjärvi, J., 2021. Bacterial communities at groundwater-surface water ecotone: gradual change or abrupt transition points along a contamination gradient? *Environmental Microbiology*.

<https://doi.org/10.1111/1462-2920.15708>

Loukola-Ruskeeniemi, K. 1992. Geochemistry of Proterozoic metamorphosed black shales in eastern Finland, with implications for exploration and environmental studies. Dissertation. Helsingin yliopisto, Geologian tutkimuslaitos, Espoo. 54 s.

[https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej\\_009.pdf](https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_009.pdf)

Luoranen, J., Saksa, T. & Finér, L., Tamminen, P. 2007. Metsämaan muokkausopas. Gummerus Kirjapaino Oy. 75 s.

- Luoranen, J., Saksa, T. & Uotila, K. 2012. Metsänuudistaminen. Metsäkustannus. 150 s.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2021. Metsätalouden kannustejärjestelmä 2020-luvulla, työryhmän muistio. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2021:2. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-397-8>
- Maastoliikennelaki 1710/1995. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1995/19951710>
- Mannerkoski, H., Finér, L., Piirainen, S. & Starr, M., 2005. Effect of clear-cutting and site preparation on the level and quality of groundwater in some headwater catchments in eastern Finland. *Forest Ecology and Management*, 220 (1–3): 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.008>
- Mattbäck, S., Boman, A. & Österholm, P. 2017. Hydrochemical impact of coarse-grained post-glacial acid sulfate soil materials. *Geoderma* 308:291–301. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.05.036>
- Mattos, T.S., de Oliveira, P.T.S., Lucas, M.C. & Wendland, E., 2019. Groundwater recharge decrease replacing pasture by Eucalyptus plantation. *Water (Switzerland)*, 11 (6), 1213. <https://doi.org/10.3390/w11061213>
- Meinikmann, K., Lewandowski, J., & Nützmann, G. 2013. Lacustrine groundwater discharge: Combined determination of volumes and spatial patterns. *Journal of Hydrology*, 502, 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.021>
- Metsätalous- ja turvetuotantotiimi. 2020. Metsätalouden ja turvetuotannon vesiensuojelun opasluonnos. Vaikuta Vesiin, Vesienhoidon toimenpiteiden suunnittelu vuosille 2022–2027. [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesiensuojelu/vesienhoidon\\_suunnittelu\\_ja\\_yhteistyö/Suunnitteluopas](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesiensuojelu/vesienhoidon_suunnittelu_ja_yhteistyö/Suunnitteluopas)
- Milkovic, M., Paruelo, J.M. & Noretto, M.D., 2019. Hydrological impacts of afforestation in the semiarid Patagonia: A modelling approach. *Ecohydrology*, 12 (6), e2113. <https://doi.org/10.1002/eco.2113>
- Munthe, J. & Hultberg, H., 2004. Mercury and methylmercury in runoff from a forested catchment – Concentrations, fluxes, and their response to manipulations. *Water, Air, and Soil Pollution, Focus* 4: 607–618. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0952-2\\_41](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0952-2_41)
- Mustonen, S. & Seuna, P. 1971. Metsäojituksen vaikutuksesta suon hydrologiaan. *Vesihallitus*, Helsinki. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 2. 63 s.

Määttänen, I. 2011. Biohajoavien öljyjen käyttö. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. 30 s.+ liitteet.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31220/Biohajoavien%20hydrauliolijyen%20kaytto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Naranjo, R. C., Niswonger, R. G., Smith, D., Rosenberry, D., & Chandra, S. 2019. Linkages between hydrology and seasonal variations of nutrients and periphyton in a large oligotrophic subalpine lake. *Journal of hydrology*, 568, 877–890.

<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.033>

Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. Tielaitoksen selvityksiä 66/1994. 60 s. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf1/3200275-tiesuol\\_pohjavesivaik\\_sim\\_tyyppimuodostumissa.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf1/3200275-tiesuol_pohjavesivaik_sim_tyyppimuodostumissa.pdf)

Nieminen, T.M, Hökkä, H., Ihalainen, A. & Finér, L. 2016. Metsänhoito happamilla sulfaattimailla. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 12 /2016. Luonnonvarakeskus 42 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-190-7>

Nieminen, M., Sallantausta, T., Ukonmaanaho, L., Nieminen, T.M. & Sarkkola, S., 2017. Nitrogen and phosphorus concentrations in discharge from drained peatland forests are increasing. *Science of the Total Environment* 609: 974–981.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.210>

Nieminen, M., Sarkkola, S., Hellsten, S., Marttila, H., Piirainen, S., Sallantausta T. & Lepistö, A. 2018a. Increasing and Decreasing Nitrogen and Phosphorus Trends in Run-off from Drained Peatland Forests – Is There a Legacy Effect of Drainage or Not? *Water, Air, and Soil Pollution* 229(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3945-4>

Nieminen, M., Hökkä, H., Laiho, R., Juutinen, A., Ahtikoski, A., Pearson, M., Kojola, S., Sarkkola, S., Launiainen, S., Valkonen, S., Penttilä, T., Lohila, A., Saarinen, M., Hahti, K., Mäkipää, R., Miettinen, J. & Ollikainen, M. 2018b. Could continuous cover forestry be an economically and environmentally feasible management option on drained boreal peatlands? *Forest Ecology and Management*, 424: 78–84.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.046>

Nieminen, M., Sarkkola, S., Hahti, K., Sallantausta, S., Koskinen, M. & Ojanen, P., 2020. Metsäojitetettujen soiden typpi- ja fosforikuormitus Suomessa. *Suo* 71, 1–13.

<http://www.suo.fi/article/10398>

Nygren, M. 2011. Metsänkylvöopas – Kylvön biologiaa ja tekniikkaa. Metsäntutkimuslaitos. 85 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-40-2328-6>

Ojanen, P. & Minkkinen, K. 2019. The dependence of net soil CO<sub>2</sub> emissions on water table depth in boreal peatlands drained for forestry. *Mires and Peat* 24(27): 1–8. <https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1751>

Paalijärvi, M. & Valjus, T. 2016. Patamäen pohjavesialueen geologisen rakenteen selvitys, I-vaihe (2007–2008). Geologian tutkimuskeskuksen Arkistoraportti 47/2016. [https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/47\\_2016.pdf](https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/47_2016.pdf)

Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Vakkilainen, P. & Äijö, H. (toim.). 2016. Maan vesi- ja ravinnetalous – Ojitus, kastelu ja ympäristö. Salaojayhdistys ry. [https://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/web\\_maanvesijaravinnetalous\\_B5\\_2016.pdf](https://salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2016/05/web_maanvesijaravinnetalous_B5_2016.pdf)

Palviainen, M., Finér, L., Kurka, A.-M., Mannerkoski, H., Piirainen, S. & Starr, M. 2004. Decomposition and nutrient release from logging residues after clear-cutting of mixed boreal forest. *Plant and Soil* 263: 53–67. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000047718.34805.fb>

Palviainen, M., Finér, L., Laiho, R., Shorohova, E., Kapitsa, E. & Vanha-Majamaa, I. 2010. Carbon and nitrogen release from decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps. *Forest Ecology and Management* 259:390–398. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.034>

Palviainen, M., Finér, L., Laurén, A., Launiainen, S., Piirainen, S., Mattsson, T. & Starr, M. 2014. Nitrogen, phosphorus, carbon, and suspended solids loads from forest clear-cutting and site preparation: Long-term paired catchment studies from Eastern Finland. *Ambio* 43: 218–233. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0439-x>

PEFC 2014. PEFC-metsäsertifiointin kriteerit, PEFC FI 1002:2014. [http://pefc.fi/wp-content/uploads/2016/09/PEFC\\_FI\\_1002\\_2014\\_Metsaertifiointin\\_kriteerit\\_20141027.pdf](http://pefc.fi/wp-content/uploads/2016/09/PEFC_FI_1002_2014_Metsaertifiointin_kriteerit_20141027.pdf)

Piirainen, S. 2002. Nutrient fluxes through a boreal coniferous forest and the effects of clear-cutting. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 859. 50 s. +liitteet. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1839-7>



Piirainen, S., Finèr, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2007. Carbon, nitrogen and phosphorus leaching after site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Forest Ecology and Management* 243: 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.053>.

Piirainen, S., Finèr, L., Mannerkoski, H. & Starr, M. 2009. Leaching of cations and sulphate after mechanical site preparation at a boreal forest clear-cut area. *Geoderma* 149: 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.01.003>

Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M. & Nieminen, M. 2013. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest Ecology and Management* 287: 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.09.014>

Piirainen, S. 2019a. Metsänkäsittelyohjeiden päivitystarve pohjavesialueilla -puutteet ja korjaamistarpeet, projektiraportti ympäristöministeriölle (julkaisematon).

Piirainen, S. 2019b. Maanmuokkauksen vaikutukset vesistöihin. Julkaisussa Laine, T., Luoranen, J. ja Ilvesniemi, H. (toim.) 2019. Metsämaan muokkaus: kirjallisuuskatsaus maanmuokkauksen vaikutuksista metsänuudistamiseen, vesistöihin sekä ekologiseen ja sosiaaliseen kestävyyteen. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 58/2019. Luonnonvarakeskus. 83 s.

Poff, N.L. & Zimmerman, J.K.H. 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* (2010) 55: 194–205. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02272.x>

Pohjavesitietojärjestelmä POVET, [https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin\\_tieto/Ymparistotietojarjestelmat](https://www.syke.fi/fi-FI/Avoin_tieto/Ymparistotietojarjestelmat) -> Herttajärjestelmä -> Pohjavesitietojärjestelmä

Porvari, P., Verta, M., Munthe, J. & Haapanen, M. 2003. Forestry practises increases mercury and methyl mercury output from boreal forest catchments. *Environmental Science and Technology*, 37(11): 2389–2393.

Pukkala, T., Lähde, E. & Laiho, O. 2011. Metsän jatkuva kasvatus. Joen Forest Program Consulting. 229 s.

Pusula, P. 2019. Conniflex-käsittelyn vaikutukset tukkimiehentäin tuhoihin. Metsätalouden koulutusohjelman metsätalousinsinöörin (AMK) opinnäytetyö. Lapin AMK. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019121226358>

- Rautio, A. & Korkka-Niemi, K., 2015. Chemical and isotopic tracers indicating ground-water/surface-water interaction within a boreal lake catchment in Finland. *Hydrogeology Journal* 23, 687–705. <https://doi.org/10.1007/s10040-015-1234-5>
- Ring, E., Jacobson, S. & Nohrstedt, H.-Ö. 2006. Soil-solution chemistry in a coniferous stand after adding wood ash and nitrogen. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 153–163. <https://doi.org/10.1139/x05-242>
- Ring, E., Hogbom, L. & Jansson, G. 2013a. Effects of previous nitrogen fertilization on soil-solution chemistry after final felling and soil scarification at two nitrogen-limited forest sites. *Canadian Journal of Forest Research* 43(4): 396–404. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0380>
- Ring, E., Högbom, L., Andersson, S. & Weslien, J.ym. 2013b. Soil and soil-solution chemistry after burning a clearfelled area in boreal Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 28(8): 735–745. <https://doi.org/10.1080/02827581.2013.817601>
- Rintala, J. 2014. Pohjaveden laadun muutokset soranottoalueilla 1985–2013. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2014. Suomen ympäristökeskus. 155 s. <http://hdl.handle.net/10138/135847>
- Rodrigues Capítulo L., Carretero S.C. & Kruse E.E. 2018. Impact of afforestation on coastal aquifer recharge. Case study: eastern coast of the Province of Buenos Aires, Argentina. *Environmental Earth Sciences*, 77 (3), 74. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7258-0>
- Rohde, M. M., Froend, R. & Howard, J. 2017. A global synthesis of managing groundwater dependent ecosystems under sustainable groundwater policy. *Groundwater*, 55(3), 293–301. <https://doi.org/10.1111/gwat.12511>
- Roos, M. & Åström, M. 2006: Gulf of Bothnia receives high concentrations of potentially toxic metals from acid sulphate soils. *Boreal Environmental Research* 11: 383–388. <http://www.borenv.net/BER/archive/pdfs/ber11/ber11-383.pdf>
- Rosenberry, D. O., Briggs, M. A., Delin, G. & Hare, D. K. 2016. Combined use of thermal methods and seepage meters to efficiently locate, quantify, and monitor focused groundwater discharge to a sand-bed stream. *Water Resources Research*, 52(6), 4486–4503. <https://doi.org/10.1002/2016WR018808>

Rossi, P.M., Ala-aho, P., Ronkanen, A-K. & Kløve, B. 2012. Groundwater-surface water interaction between an esker aquifer and a drained fen. *Journal of Hydrology* (2012), 432–433: 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.026>

Rossi, P. M., Ala-aho, P., Doherty, J. & Kløve, B. 2014a. Impact of peatland drain-age and restoration on esker groundwater resources: modeling future scenarios for management. *Hydrogeology Journal* (2014) 22: 1131–1145. <https://doi.org/10.1007/s10040-014-1127-z>

Rossi, P. M. 2014b. Integrated management of groundwater and groundwater dependent ecosystems in a Finnish esker. Väitöstyö. <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526204789.pdf>

Rossi, P. M., Marttila, H., Jyväsjärvi, J., Ala-aho, P., Isokangas, E., Muotka, T., & Kløve, B. 2015. Environmental conditions of boreal springs explained by capture zone characteristics. *Journal of Hydrology*, 531 (2015): 992–1002. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.009>

Rusanen, K., Finér, L., Antikainen, M., Korkka-Niemi, K., Backman, B. & Britschgi, R. 2004. The effect of forest cutting on the quality of groundwater in large aquifers in Finland. *Boreal Environment Research* 9: 253–261. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/511362>

Saarinen, T., Mohämmädighavam, S., Marttila, H. & Kløve, B. 2013. Impact of peatland forestry on runoff water quality in areas with sulphide-bearing sediments; how to prevent acid surges. *Forest Ecology and Management* (2013) 293: 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.029>

Saksa, T., Miina, J. & Uotila, K. 2016. Taimikonhoito – tavoitteet, menetelmät ja kustannukset. *Metsäkustannus & Luonnonvarakeskus*. 128 s.

Sarkkola, S., Akujärvi, A., Repo, A., Soimakallio, S. ja Lehtonen, A. 2020. Metsänkäsittelyn vaikutukset metsien hiilivarastoihin ja -nieeluihin muuttuvassa ilmastossa. Julkaisussa: Saksa, T. (toim.) *Ilmastomuutos ja metsänhoito*. Yhteenveto ilmastomuutoksen vaikutuksista metsänhoitoon. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 98/2020. Luonnonvarakeskus. 48 s.

Simpson, T., Holman, I.P. & Rushton, K., 2011. Drainage ditch-aquifer interaction with special reference to surface water salinity in the Thurne catchment, Norfolk, UK. *Water and Environment Journal*, 25 (1), S. 116–128. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00195.x>

- Skerlep, M., Steiner, E., Axelsson, A.-L. & Kritzberf, E. S. 2020. Afforestation driving long-term surface water browning. *Global Change Biology* 26:1390–1399. <https://doi.org/10.1111/gcb.14891>
- Snyder, C. D., Hitt, N. P. & Young, J.A. 2015. Accounting for groundwater in stream fish thermal habitat responses to climate change. *Ecological Applications* (2015) 25(5): 1397–1419. <https://doi.org/10.1890/14-1354.1>
- Sohlenius, G., Sternbeck, J., Andrén, E. & Westman, P. 1996. Holocene history of the Baltic Sea as recorded in a sediment core from the Gotland Deep. *Marine Geology* 13: 183–201. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(96\)00047-3](https://doi.org/10.1016/0025-3227(96)00047-3)
- Sohlenius, G. & Öborn, I. 2004. Geochemistry and partitioning of trace metals in acid sulphate soils in Sweden and Finland before and after sulphide oxidation, *Geoderma* 122: 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.006>
- Sophocleous, M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal* (2002) 10:52–67. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8>
- Sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151352>
- Soveri, J., Mäkinen, R., & Peltonen, K. 2001. Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975–1999. Suomen ympäristö 420. Suomen ympäristökeskus. 382 s. <http://hdl.handle.net/10138/156323>
- Stasik, R. & Korytowski, M., 2015. Analysis of groundwater level changes in clearcutting area of chosen forest habitats. *Journal of Ecological Engineering*, 16 (4), S. 59–64. <https://doi.org/10.12911/22998993/59350>
- Sundström, R., Åström, M. & Österholm, P. 2002. Comparison of the metal content in acid sulfate soil run-off and industrial effluents in Finland. *Environmental Science & Technology* 36: 4269–4272. <https://doi.org/10.1021/es020022g>
- Suomen FSC-standardi 2011. FSC standard for Finland V1-1 Approved 21.01.2011 FIN. Suomen FSC-yhdistys.
- Tapion taskukirja 26. uudistettu painos. Metsäkustannus. 457 s.

- Thom, D. & Seidl, R. 2016. Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews* 91: 760–781. <https://doi.org/10.1111/brv.12193>
- Tieteen termipankki (haku 27.10.2021): <https://tieteentermipankki.fi/wiki/>
- Tuomainen, J., Högmander, P. & Pyy, O. 2021. Ympäristövahingot Suomessa vuosina 2013–2019. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8 / 2021, 48 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5370-9>
- Tuominen, S. 2018. Ohjeita pohjaveden tyyppimallien käyttöönottoon. Ladattavissa sivulta: [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_\\_kehittaminen/Vesi/Mallit\\_ja\\_tyokalut/Pohjaveden\\_tyyppimallit](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Vesi/Mallit_ja_tyokalut/Pohjaveden_tyyppimallit)
- Törmänen, T., Kitunen, V., Lindroos, A.-J., Heikkinen, J. & Smolander, A. 2018. How do logging residues of different tree species affect soil N cycling after final felling? *Forest Ecology and Management*, 427, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.005>
- Törmänen, T., Lindroos, A.-J., Kitunen, V. & Smolander, A. 2020. Logging residue piles of Norway spruce, Scots pine and silver birch in a clear-cut: Effects on nitrous oxide emissions and soil percolate water nitrogen, *Science of The Total Environment*, 738, 139743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139743>
- Ukonmaanaho, L., Starr, M., Kantola, M., Laurén, A., Piispanen, J., Pietilä, H., Perämäki, P., Merilä, P., Fritze, H., Tuomivirta, t., Heikkinen, J., Mäkinen, J. & Nieminen, T.M. 2016. Impacts of forest harvesting on mobilization of Hg and MeHg in drained peatland forests on black schist or felsic bedrock. *Environmental monitoring and assessment*, 188(4), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5210-x>
- Uusitalo, J. 2019. Järveen purkautuvan pohjaveden laadun ja määrän vaikutus Puruveden lahtien vedenlaatuun ja vesitaseeseen. Diplomityö. <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201903011266.pdf>
- Vainu, M., Terasmaa, J., & Häelm, M. 2015. Relations between groundwater flow in an unconfined aquifer and seepage patterns in a closed-basin lake in glacial terrain. *Hydrology Research*, 46(3), 325–342. <https://doi.org/10.2166/nh.2014.197>
- Valkonen, S. 2017. Metsän jatkuvasta kasvatuksesta. Luonnonvarakeskus ja Metsäkustannus. 125 s.

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 1040/2006.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20061040>

van Diggelen, R., Middleton, B., Bakker, J., Grootjans, A. & Wassen, M. 2006. Fens and floodplains of the temperate zone: present status, threats, conservation and restoration. *Applied Vegetation Science*, 9(2), 157–162. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2006.tb00664.x>

Vasander, H., Tuittila, E.S., Lode, E., Lundin, L., Ilomets, M., Sallantausta, T., Heikkilä, R., Pitkänen, M.-L. & Laine, J. 2003. Status and restoration of peatlands in northern Europe. *Wetlands ecology and management*, 11(1), 51–63.

<https://doi.org/10.1023/A:1022061622602>

Vesihuoltolaki 119/2001. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20010119>

Vesisenaho P. & Jutila, H. 2019. Kokkolan Patamäen pohjavesialueen yhteistarkkailu vuonna 2019. Pohjanmaan vesi ja ympäristö ry:n julkaisuja 15.

Widerlund, A. & Andersson, P.S. 2011. Late Holocene freshening of the Baltic Sea derived from high-resolution strontium isotope analyses of mollusk shells. *Geology* 39: 187–190. <https://doi.org/10.1130/G31524.1>

Winter, T.C. 2007. The Role of Ground Water in Generating Streamflow in Headwater Areas and in Maintaining Base Flow. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, Paper No. J06016. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00003.x>

Younger, P.L. 2006. *Groundwater in the Environment: An Introduction*. Wiley-Blackwell 2006.

Zhang, H. & Hiscock, K.M. 2010. Modelling the impact of forest cover on groundwater resources: A case study of the Sherwood Sandstone aquifer in the East Midlands, UK. *Journal of Hydrology* 392, 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.002>

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset. Tapion julkaisuja. [https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsan\\_hoidon\\_suosituksset\\_Tapio\\_2019.pdf](https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsan_hoidon_suosituksset_Tapio_2019.pdf)

tietokayttoon.fi

---

ISBN PDF 978-952-383-484-2

ISSN PDF 2342-6799