

Vastaanottaja
Pirkanmaan ELY-keskus

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
13.3.2020

Projektinumero
1510036297

POAKORI

KEMIALLISESTI HUONOSSA TILASSA

OLEVIEN POHJAVESIALUEIDEN

KOKONAISVALTAINEN

RISKIENHALLINTA

**POAKORI
KEMIALLISTEesti HUONOSSA TILASSA OLEVIENT
POHJAVESIALUEIDEN KOKONAISVALTAINEN
RISKIENHALLINTA**

Projekti **POAKORI**
Projekti nro **1510036297**
Päivämäärä **13.3.2020**
Laatija **Liisa Koivulehto**
Tarkastaja **Kimmo Järvinen, Jarno Laitinen**
Hyväksyjä **Esa Rouvinen, Etelä-Savon ELY-keskus**

Ramboll
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	2
1.1	Tausta	2
1.2	Hankkeen osapuolet	2
2.	Hankkeen tavoitteet	3
3.	Viitekehykset pohjaveden kemiallisen tilan arvioinnissa	3
3.1	Vesipuidedirektiivi	3
3.2	Kemiallisen tilan arviointi Suomessa	4
3.3	Pohjavesitarkkailun sääntely ja kehittämistarpeet	5
4.	Pohjavesiriskien arviointimenetelmät	7
4.1	Pohjavesialueen suojelusuunnitelma	7
4.2	Water Safety Plan	8
4.3	Mallinnus	8
4.4	Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi	9
5.	POAKORI-toimintamalli	10
5.1	Lähtötietojen kokoaminen	10
5.2	Päästö-altistuja -parien muodostus	12
5.3	Kulkeutumisen todennäköisyys ja haitan suuruus	12
5.3.1	Esimerkki vaiheen toteutuksesta	14
5.3.2	Luotettavuustarkastelu	14
5.4	Laskennallinen mallinnus	15
5.5	Soveltuvat riskienhallintatoimenpiteet	15
5.6	Arvottaminen	17
5.7	Päätöksenteko	17
6.	Esimerkki POAKORI-toimintamallin soveltamisesta	18
6.1	Esimerkkikohteet	18
6.1.1	Mikkeli	18
6.1.2	Hanko	20
6.2	Lähtötietojen kokoaminen	21
6.3	Päästö-altistuja -parien muodostus	21
6.4	Kulkeutumisen todennäköisyys ja haitan suuruus	21
6.5	Mallinnus	23
6.5.1	Pohjaveden virtausmallit	23
6.5.2	Haitta-aineiden leviämis- ja kulkeutumismallit	25
6.5.3	Haavoittuvuusanalyysi	29
7.	Pohdinta	32
8.	Suosituks	33
	Lähteet	35

Liite 1. Seminaarit ja tapahtumat, joissa hanketta on esitelty

Liite 2. Pohjavettä pilaavat aineet ja niiden ympäristölaatu-normit

Liite 3. POAKORI-riskipisteytystaulukko

Liite 4. Pohjaveden riskienhallintatoimenpiteet

Liite 5. Pohjavesien virtausmalli ja haitallisten yhdisteiden kulkeutumisen ja käyttäytymisen mallintaminen

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Pohjaveden kemiallisen laadun turvaaminen on tärkeää erityisesti silloin, kun pohjavettä käytetään talousvetenä. Suomessa on 95 sellaista kemiallisesti huonossa tilassa olevaa pohjavesialuetta, jotka ovat yhdyskuntien vedenhankintakäytössä (Hertta-tietokanta 18.12.2019). ELY-keskusten vesienhoidon pohjavesiasiantuntijoille tehtiin kesällä 2016 sähköpostikysely, jonka mukaan noin 30 nyt huonossa kemiallisessa tilassa olevista pohjavesialueista on sellaisia, että niissä ei arvioida saavutettavan hyvää kemiallista tilaa viimeiseen vesiputedirektiivin osatavoitteiden määräaikaan 2027 mennessä. Useissa kohteissa pohjaveden hyvän kemiallisen tilan saavuttaminen nykyisiä kemiallisen tilan arviointiperiaatteita ja riskienhallintaperiaatteita soveltaen voi jäädä saavuttamatta, vaikka käytettävissä olisi kymmeniä vuosia.

Syynä pohjaveden huonoon kemialliseen tilaan on useimmissa tapauksissa maaperän pilaantumisen aiheuttama pohjaveden pilaantuminen. Muita syitä voivat olla esimerkiksi suolaantuminen, maataloudesta tai turkistarhoista johtuvat ravinnepäästöt – erityisesti Pohjanmaalla. Pilaantuneen pohjaveden aktiivinen puhdistaminen on-site tai in situ -menetelmin on usein kallista ja hidasta. Tästä syystä pohjaveden pilaantuneisuudesta aiheutuvia riskejä olisi tarkoituksenmukaista hallita kokonaisvaltaisemmilla ja monipuolisemmilla keinoilla.

POAKORI-hanke, *Kemiallisesti huonossa tilassa olevien pohjavesialueiden kokonaisvaltainen riskienhallinta*, käynnistettiin syksyllä 2017 kokonaisvaltaisen, riskiperustaisen toimintamallin kehittämiseksi. Raportti ja toimintamalli keskittyy ensisijaisesti luokiteltujen pohjavesialueiden riskienhallintaan. Pohjavesialueet luokitellaan 1-, 2-, 1E-, 2E- ja E-luokkiin (*Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain muuttamisesta*, 1263/2014).

1.2 Hankkeen osapuolet

Hankkeen toteutukseen osallistuneet osapuolet on esitetty taulukossa 1-1.

Taulukko 1-1. POAKORI-hankkeen osapuolet

PIRELY	koordinointi, hankintaprosessit- ja sopimukset, resurssointi
ESAELY	hankkeen johtaminen ja ohjaus, hankeorganisaation kokoaminen, projektipäällikkö
UUDELY	aineiston kokoaminen, asiantuntijatehtävät
EPOELY	asiantuntijatehtävät
SYKE	asiantuntijatehtävät
GTK	asiantuntijatehtävät, rakenne- ja virtausmallinnus, herkkyystarkastelu
WaterHope*	pohjaveden virtausmallinnus, haitta-aineiden kulkeutumis- ja leviämismallinnus
Ramboll Finland Oy*	projektikoordinointi, raportointi, vuorovaikutus ja viestintä

*ei kuulu varsinaiseen ohjausryhmään

Hankkeen ohjausryhmään kuuluvat edellisessä taulukossa esiteltyjen tahojen lisäksi Mikkelin vesilaitos, Hangon kaupunki, Väylävirasto ja Puolustushallinnon rakennuslaitos. Hanketta on esitelty erilaisissa seminaareissa ja asiantuntijatapahtumissa (liite 1).

2. HANKKEEN TAVOITTEET

POAKORI-hankkeen tavoitteena oli luoda selkeä ja läpinäkyvä toimintamalli, jonka avulla pohjavesialueen riskikohteet voitaisiin arvottaa keskenään yhteismitallisesti. Tavoitteena oli myös sovittaa yhteen nykyisin käytettävissä olevat työkalut (rakenneselvitykset, virtaus- ja leviämismallinnukset sekä haavoittuvuusanalyysit) ja saavuttaa uusi kokonaisvaltainen ja vaiheittain tarkentuva lähestymistapa riskienhallintaan. Hankkeen tavoitteena oli lisäksi selvittää, onko pohjaveden kemiallisen tilan arviointia lainsäädännöllisesti mahdollista tehdä nykyistä riskiperusteisemmin.

Uuden lähestymistavan avulla riskikohteille voidaan antaa suositukset soveltuvista riskienhallintatoimenpiteistä ja niiden kiireellisyysjärjestyksestä. POAKORI-toimintamallia voidaan käyttää pohjavesialueen kemiallisen tilan arvioinnin tukena, suojelusuunnitelman riskitarkastelussa ja uusien toimintojen sijoittamisen tukena kaavoituksen yhteydessä. Toisaalta toimintamallia voidaan hyödyntää myös yhteistarkkailujen järjestämisessä sekä pohjavesialueiden tarkkailupisteverkoston suunnittelussa niin, että kaikki riskit tulevat kokonaisvaltaisesti huomioiduksi. Toimintamallin avulla voidaan myös kuvata pohjaveden pilaantumiseen liittyviä tekijöitä esim. kuntapäätäjille helpommin ymmärrettävässä muodossa.

3. VIITEKEHYKSET POHJAVEDEN KEMIALLISEN TILAN ARVIOINNISSA

Pohjaveden kemiallinen tila kuvastaa pohjavesimuodostuman keskimääräistä kemiallista tilaa, ja sen arvioimisessa käytetään Valtioneuvoston asetuksen 341/2009 mukaisten ympäristölaatu normipitoisuuksien vuosikeskiarvoja. Pohjaveden kemiallinen tila on hyvä, jos pohjaveden laatu ei ole ihmistoimintojen vuoksi olennaisesti huonontunut. Käytännössä Suomen olosuhteissa tämä tarkoittaa sitä, että pohjaveden tila on lähellä paikallisia olosuhteita vastaavaa luonnontilaa. Ympäristölaatu normien ylityksistä huolimatta pohjavesimuodostuman kemiallinen tila voi olla hyvä, mikäli pilaavan aineen pitoisuus ei aiheuta riskiä ympäristölle eikä heikennä pohjavesimuodostuman käytettävyyttä. (*Ympäristöministeriön raportteja 19/2018: Vesi ympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen*).

3.1 Vesipuitedirektiivi

Vesipolitiikan puitedirektiivi (Vesipuitedirektiivi, VPD) 2000/60/EY luo tavoitteet Euroopan Unionin vesiensuojelulle. Sen mukaan jäsenmaiden tulee ryhtyä toimenpiteisiin, joilla estetään ja rajoitetaan pilaavien aineiden pääsy pohjaveteen ja estetään pohjavesimuodostumien tilan huononeminen. Vesipuitedirektiivissä tavoitteeksi asetettiin pohjavesialueiden hyvän määrällisen ja kemiallisen tilan saavuttaminen vuoteen 2015 mennessä. Määräaika on sittemmin pidennetty siten, että tällä hetkellä tavoitevuosi on 2021. Viimeinen määräajan pidennys voidaan myöntää vuoteen 2027 saakka esimerkiksi ylivoimaisten luonnonolosuhteiden vuoksi.

Hyvän kemiallisen tilan määritelmä esitetään VPD:n artiklassa 4 ja liitteessä V. Arviointiperusteita ja -menettelyä on edelleen tarkennettu ja täydennetty VPD:n niin sanotussa tytärdirektiivissä, pohjavesidirektiivissä 2006/118/EY. Pohjavesialueille on vesipuitedirektiivissä asetettu yhteisötason laatu normit nitraattien sekä torjunta-aineiden osalta, minkä lisäksi jokainen EU:n jäsenvaltio on voinut asettaa kansalliset ympäristölaatu normit haitta-aineille. Suomessa pohjaveden ympäristölaatu normien listalle on lisätty 41 pohjavettä pilaavaa ainetta yhteisötason laatu normien lisäksi (Vna 341/2009, liite 2). Ympäristölaatu normipitoisuudet ovat usein jopa

puolet talousvedelle asetetuista laatuvaatimusten ja -tavoitteiden enimmäispitoisuuksia alhaisempia. Laissa vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) säädetään pohjavesien määrittämisestä ja luokituksesta, sekä esitetään pohjavesimuodostumien ympäristötavoitteet:

- pohjavesimuodostumien tila ei heikkene ja tila on vähintään hyvä
- pohjavesimuodostumia suojellaan, parannetaan, ennallistetaan siten, että hyvä tila voidaan saavuttaa viimeistään vuonna 2021 (toinen vesienhoitokausi)
- pohjavesimuodostumia pilaavien aineiden pitoisuuksien pysyvää ja merkittävää kasvamista ehkäistään

Vesipuitedirektiivin artiklan 4 kohdassa 5 todetaan toisaalta myös, että jäsenvaltiot voivat asettaa tietyille vesimuodostumille edellä lueteltua vähemmän vaativia ympäristötavoitteita, mikäli vesimuodostumat ovat ihmistoiminnan muuttamat tai niiden luonnonolot ovat sellaiset, että vaativampien tavoitteiden saavuttaminen on mahdotonta tai suhteettoman kallista. Suomessa on kuitenkin toistaiseksi haluttu noudattaa yllä esitettyjä hyvän tilan tavoitteita.

3.2 Kemiallisen tilan arviointi Suomessa

Pohjavesialueet, joilla ei ole ihmistoiminnasta aiheutuvaa riskiä pohjaveden laadulle, luokitellaan automaattisesti hyvään kemialliseen tilaan. Sen lisäksi vesienhoitoasetuksen (Vna 1040/2006) 14c §:n mukaan muodostuman tila voi olla hyvä, vaikka ympäristölaatunormien ylityksiä todettaisiinkin, jos pilaavan aineen pitoisuus pohjavesimuodostumassa ei aiheuta merkittävää ympäristöriskiä tai pilaavan aineen pitoisuus ei ole merkittävästi heikentänyt pohjavesimuodostuman soveltuvuutta tarkoitukseen, johon sitä voitaisiin käyttää.

Pohjavesialueet, joilla ei välttämättä saavuteta ympäristötavoitteita, nimetään riskialueiksi. Riskialueeksi nimettyjä pohjavesialueita on Suomessa noin 400 (Hertta-tietokanta, 18.12.2019). Lisäksi selvitystarvekohteita on noin 170. Joissain tapauksissa aikaisemmin riskialueiksi määritettyjä pohjavesialueita on jouduttu nimeämään uudelleen selvityskohteeksi, kun pohjaveden laadun seuranta on ollut riittämätöntä pitoisuuksien kehityksen arviointiin. Vesipuitedirektiivin liitteen II mukaan pohjavesimuodostumille tulisi tehdä ominaispiirteiden lisätarkastelu, mikäli ympäristötavoitteiden saavuttaminen kyseisellä pohjavesialueella ei ole taattua.

Mikäli ympäristölaatunormien vuosikeskiarvo ylittyy pohjavesialueen yhdellä tai useammalla seurantapisteellä, tehdään kyseessä olevaa pohjavesialuetta koskevat tarkentavat tarkastelut, ”kemiallisen tilan viisi testiä”, joissa arvioidaan:

1. Haitallisen aineen laajuus pohjavesimuodostumassa
2. Suolaantumisen tai muu haitallisen aineen pääsy pohjavesimuodostumaan
3. Pohjavedestä mahdollisesti aiheutuva pintavesien kemiallisen ja ekologisen tilan heikkeneminen
4. Pohjaveden laadun vaikutuksen arvio pohjavedestä riippuvan maaekosysteemin tilan heikkenemiseen
5. Juomaveden ottoon käytettävien vesimuodostumien tilan arviointi

Tarkastelu tehdään kunkin todetun, ympäristölaatunormin vuosikeskiarvon ylittäneen, haitta-aineen osalta. Pohjaveden kemiallisen tilan arvioinnissa reseptoreita voivat olla vedenottamo (pohjaveden käyttö talousvetenä), pintavesimuodostuma, pohjavedestä riippuvaliset maaekosysteemit tai muut suojelualueet. Lopullinen kemiallisen tilan määrittely tapahtuu

herkimmän reseptorin ja haitta-aineen mahdollisen kulkeutumisreitit mukaan. Herkin reseptori on se, jolla on tiukimmat kriteerit suojelun suhteen. Tarkastelun jälkeen pohjavesialueelle tehdään vielä kokonaisarvio, jonka mukaan pohjaveden kemiallinen tila todetaan hyväksi tai huonoksi. Ohjeistus perustuu Ympäristöhallinnon vuoden 2012 julkaisuun *Ohje pohjaveden määrällisen ja kemiallisen tilan luokitteluun – päivitetty arviointiperusteet*.

Kemiallisen tilan arviointi huonoksi ei sinänsä estä vedenhankintaa pohjavesiesiintymästä. Pohjaveden soveltuvuus vedenhankintaan on kuitenkin heikentynyt merkittävästi, jos raakavettä on käsiteltävä (mukaan lukien raakaveden pitoisuuksien laimentaminen eri kaivoista otetulla vedellä) ihmistoiminnasta aiheutuvien laatumuutosten vuoksi, jotta annetut talousveden laatukselle täyttyisivät talouksille toimitetussa vedessä. Laadun heikentyminen voi johtaa esimerkiksi pohjaveden tehostettuun käsittelyyn, uusien kaivojen tai kokonaan uuden vedenottamon rakentamiseen.

3.3 Pohjavesitarkkailun sääntely ja kehittämistarpeet

Pohjavesitarkkailusta säädetään useissa eri säädöksissä, joista keskeisimmät ovat

- ympäristöluvanvaraisista, ilmoituksenvaraisista sekä rekisteröitävistä toiminnoista aiheutuvien päästöjen ja vaikutusten tarkkailua ohjaava ympäristönsuojelulaki (YSL 527/2014) ja
- ympäristönsuojeluasetus (713/2014) sekä vesiluvanvaraisten hankkeiden toteutumista ja vaikutusten tarkkailua ohjaava vesilaki (VL 587/3022).
- Lisäksi vesihuoltolaissa (VHL 119/2001) säädetään vesihuoltolaitoksen raakaveden laatua ja määrää koskevasta tarkkailuvelvoitteista.
- Raakaveden laadun tarkkailusta talousveden valmistuksessa säädetään myös sosiaali- ja terveysministeriön talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista annetussa asetuksessa (1352/2015) sekä
- pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksissa annetussa asetuksessa (401/2001).

Pohjavesitarkkailua ohjaavien keskeisten säädösten systematiikka on pääpiirteittäin yhtenäinen, joskin pohjavesitarkkailun juridiset perusteet eroavat toisistaan hieman. Ympäristönsuojelulain systematiikassa yleinen tarkkailuvelvoite asetetaan lähtökohtaisesti kaikille luvanvaraista toimintaa, ilmoituksenvaraista toimintaa ja rekisteröitävää toimintaa harjoittaville (YSL 8 §). Vastaavasti myös vesihuoltolaissa vesihuoltolaitoksille asetetaan yleinen tarkkailuvelvoite, joka velvoittaa laitokset tarkkailemaan käyttämänsä raakaveden määrää ja laatua, laitteistonsa kuntoa sekä vuotovesien määrää laitoksen vesijohto- ja viemäriverkostoissa (VHL 15 §). Tästä poiketen vesilaissa ei aseteta vesitaloushankkeesta vastaaville yleistä tarkkailuvelvoitetta, vaan tarkkailuvelvoite perustuu aina vesitalouslupan yhteydessä annettaviin tarkkailumääräyksiin (VL 11 §).

Käytännössä sekä ympäristönsuojelulain että vesilain mukainen tarkkailu konkretisoituu vesitalous- ja ympäristölupan antamisen yhteydessä, sillä viranomaisen on lupapäätöksen yhteydessä annettava tarpeelliset määräykset päästöjen ja toiminnan tarkkailusta sekä toiminnan vaikutusten ja toiminnan lopettamisen jälkeisen tilan tarkkailusta. Lupaviranomainen voi myös määrätä useat luvanhaltijat yhdessä tarkkailemaan toimintojensa vaikutusta (yhteistarkkailu) tai hyväksyä toiminnan tarkkailemiseksi osallistumisen alueella tehtävään seurantaan. Yhteistarkkailumahdollisuus on säädetty koskemaan vain vesilupaa ja/tai ympäristölupaa edellyttäviä toimintoja, eikä sitä voida soveltaa esimerkiksi rekisteröitävään tai ilmoituksenvaraiseen toimintaan. Yhteistarkkailuvelvoitetta ei voida perustaa tällaisille toiminnoille

myöskään yllä kuvatun yleisen tarkkailuvelvoitteen perusteella, sillä tarkkailuvelvoite jättää tarkkailun toteuttamisen toiminnanharjoittajan harkittavaksi.

Pohjavesitarkkailua koskevia määräyksiä voidaan asettaa myös maaperän ja pohjaveden puhdistamista koskevien toimien yhteydessä. Pilaantuneen alueen puhdistamisesta vastaavalle voidaan asettaa tarkkailuvelvoitteita paitsi ympäristöluvan nojalla silloin, kun puhdistaminen edellyttää erillistä lupaa, myös PIMA-ilmoituksen johdosta annettavassa päätöksessä silloin, kun erillistä lupaa alueen puhdistamiseksi ei tarvita. Ympäristöluvan yhteydessä voidaan usealle luvanhaltijalle asettaa myös yhteistarkkailuvelvoitteita, mikäli tämä alueen puhdistamiseksi olisi tarpeen. Sen sijaan PIMA-ilmoituksen johdosta annettavan päätöksen yhteydessä yhteistarkkailuvelvoite ei tule lähtökohtaisesti kysymykseen, vaikkakin ympäristönsuojelulaki velvoittaa viranomaisen antamaan päätöksessä *tarvittavat* määräykset tarkkailusta.

Pohjavesitarkkailuun voitaneen velvoittaa myös pelastuslain (379/2011) nojalla, johon sisällytettiin hiljattain myös öljyvahinkojen torjuntaa koskevat määräykset. Tämä ei kuitenkaan ole tyypillistä eikä usein tarpeellistakaan, sillä pilaantuneen alueiden puhdistamisesta ja ympäristövahinkojen korjaamisesta säädetään kattavasti jo muualla lainsäädännössä. Yhteistarkkailuvelvoitteen asettaminen ulkopuolisille tahoille ei liene lain nojalla mahdollista.

Pohjaveden tarkkailuvelvoite ja yhteistarkkailuvelvoite voivat yllä mainittujen lisäksi tulla kyseeseen myös eräiden ympäristölle aiheutuneiden vahinkojen korjaamisesta annetun lain (ympäristövastuulaki 383/2009) nojalla, jota sovelletaan vesistön merkittävään pilaantumiseen ja muuhun haitalliseen muutokseen vesistössä sekä erityisesti myös vastaavasti pohjaveden merkittävään pilaantumiseen ja muuhun huomattavaan haitalliseen muutokseen pohjavedessä. Laki velvoittaa palauttamaan vahingosta aiheutuneen haitallisen muutoksen vahinkoa edeltäneeseen tilaan. Viranomainen päättää tapauskohtaisesti korjaavat ja korjaamista tukevat toimenpiteet, joihin voinee tapauskohtaisesti sisältyä myös tarkkailua. Lain mukainen vastuu vahingon laajuuden ja merkittävyyden selvittämisessä ja korjaavien toimenpiteiden yksilöimisessä on kuitenkin ensisijaisesti vahingon aiheuttaneella toiminnanharjoittajalla.

Vaikka yhteistarkkailuvelvoite voidaan asettaa pääsääntöisesti vain ympäristö- ja/tai vesilupaa edellyttäville toimille, voidaan myös muut tahot velvoittaa vastaamaan pohjavesitarkkailusta aiheutuvista kustannuksista. Tämä on mahdollista paitsi yllä mainitun ympäristövastuulain, myös ympäristövahinkojen korvaamisesta annetun lain (737/1994) nojalla, jota sovelletaan esimerkiksi veden ja maaperän pilaantumisesta ympäristössä aiheutuneeseen vahinkoon. Vastuu ympäristövahingon korvaamisesta on ympäristövahinkolain mukaan vahingon aiheuttajalla ja se on luonteeltaan ankaraa eli tuottamuksesta riippumatonta vastuuta. Jos vahinko on aiheutunut useasta toiminnasta, vastaavat aiheuttajat vahingon korvaamisesta yhteisvastuullisesti. Perinteisten vahingonkorvausten lisäksi laki takaa oikeuden saada korvausta myös vahingon torjuntatoimenpiteistä ja ympäristön ennallistamisesta aiheutuneista kustannuksista sekä näiden toimenpiteiden selvittämiseksi tarpeellisista kustannuksista. Lain nojalla korvataan kuitenkin vain ei-vähäiset vahingot (sietämisvelvollisuus), joiden syy-yhteys pilaavaan toimintaan on todennäköinen. Vaikka korvausvelvolliset vastaavat aiheuttamastaan ympäristövahingosta yhteisvastuullisesti, huomioidaan korvausvastuun jakautumisessa kohtuullisuusnäkökulmat. Myös yllä kuvattujen ympäristövastuulain mukaisten korjaavien toimenpiteiden aiheuttamista kustannuksista vastaavat kaikki vahingon aiheuttaneet tahot. Tällöin vastuu kustannuksista jaetaan toiminnanharjoittajien kesken sen mukaan, mikä on heidän osuutensa aiheutuneesta vahingosta. Myös tässä tapauksessa kustannuksia voidaan kohtuullistaa.

Yhteenvetona voidaan todeta, että lainsäädännöstä puuttuu tehokas keino yhteistarkkailuvelvoitteen toteuttamiseksi silloin, kun toiminta ei edellytä ympäristö- tai vesilupaa.

Yhteistarkkailuvelvoitetta ei voida soveltaa esimerkiksi ilmoituksenvaraiseen tai rekisteröitävään toimintaan, vaikka lainsäädäntö asettaakin näille yleisen tarkkailuvelvoitteen ja vaikka ilmoitusluonteisen toiminnan yhteydessä voidaan antaa toiminnan tarkkailua koskevia määräyksiä. Ellei voimassa olevaa sääntelyä muuteta esimerkiksi laajentamalla yhteistarkkailun soveltamisalaa myös ilmoituksenvaraisiin toimintoihin, tulee yhteistarkkailun laaja-alaisempi soveltaminen jatkossakin perustumaan kunnan, ELY-keskusten ja toiminnanharjoittajien tiiviiseen yhteistyöhön sekä vapaaehtoisuuteen.

4. POHJAVESIRISKIEN ARVIOINTIMENETELMÄT

Seuraavassa on esitelty eri tarkoituksiin laadittuja pohjaveden tai talousveden arviointi- tai riskienhallintamenetelmiä.

4.1 Pohjavesialueen suojelusuunnitelma

Suojelusuunnitelmalla toteutetaan vesipuidedirektiivin liitteessä II mainittua pohjavesimuodostumien ominaispiirteiden lisätarkastelua, joka tehdään yleisimmin niille pohjavesialueille, joilla ei välttämättä saavuteta asetettuja ympäristötavoitteita. Pohjavesialueen suojelusuunnitelmassa kuvataan pohjavesiolosuhteet sekä arvioidaan yksityiskohtaisesti pohjaveteen kohdistuvat riskit sekä kartoitetaan tarvittavat toimet ympäristötavoitteiden saavuttamiseksi. Suojelusuunnitelman laatimisen keskeinen tavoite on ennaltaehkäistä pohjavesialueen pohjaveden laadun heikkeneminen.

Suunnitelmassa kartoitetaan kaikki pohjavesialueelle vaaraa aiheuttavat toiminnot, kuten teollisuus, yritystoiminta, maa-ainesten otto, liikenne ja tienpito, pilaantuneet maa-alueet kuten kaatopaikat, sahat, pesulat ja polttonesteiden jakeluasemat. Riskitekijöiden kartoituksessa arvioidaan eri toimintojen pohjavedelle aiheuttama pilaantumisriski ja esitetään suositukset pohjavesien suojelutoimenpiteiksi. Suojelusuunnitelmassa pyritään selvittämään myös alueella aiemmin sijainneet riskikohteet sekä niiden mahdollisesti aiheuttamat pohjaveden ja maaperän pilaantumistapaukset.

Suojelusuunnitelmassa riskin suuruuden arvioinnissa yleisin pisteytysmenetelmä perustuu riskitekijöiden sijainti- ja päästöriskin määrittämiseen seuraavien suuntaa antavien riskikuvausten mukaan:

Sijaintiriski

- I. Riskikohteen etäisyys vedenottamosta, sijainti pohjavesialueen muodostumisalueella ja pohjaveden virtaussuunta suhteessa vedenottamoon ja pohjavesialueeseen
- II. Maaperän vedenjohtavuus sekä pohjavedenpinnan syvyys suhteessa maanpintaan

Päästöriski (liittyy usein onnettomuus- tai vahinkotilanteeseen)

- III. Varastoidun/käytetyn aineen määrä ja laatu
- IV. Kohteen suojaus
- V. Päästön havaittavuus ja valvonta
- VI. Päästön todennäköisyys

Sijainti- ja päästöriskit pisteytetään ja yhteenlasketun pistemäärän perusteella voidaan arvioida riskikohteen aiheuttamaa pohjavesiriskin suuruutta ja riskienhallintatoimenpiteiden tarvetta ja kiireellisyyttä. Riskikohteet voidaan luokitella esimerkiksi riskin suuruuden mukaan neljään luokkaan:

- erittäin merkittävä riski
- merkittävä riski
- kohtalainen riski
- vähäinen riski

Sijaintiriskin arvioinnissa voidaan lisäksi käyttää mallintamismenetelmiä, kuten pohjaveden haavoittuvuusanalyysia (luku 4.4). Haavoittuvuusanalyysia voidaan hyödyntää riskinarvioinnissa yhdistämällä haavoittuvuus- ja riskikohdekartat, jolloin voidaan huomioida riskikohteiden sijainti suhteessa pohjavesimuodostuman luonnolliseen haavoittuvuuteen.

Päästöriskin arvioinnissa pyritään selvittämään käytettyjen ja varastoitujen aineiden haitallisuus ja vaarallisuus sekä tarkastellaan, onko näitä aineita voinut liueta maaperään tai onko sille riskiä. Päästöriskin arvioinnissa otetaan huomioon myös alueen toimintahistoria ja jo tapahtuneet päästöt sekä tulevat mahdolliset yhteisvaikutukset.

4.2 Water Safety Plan

Water Safety Plan (WSP) on talousveden laadun riskienhallintajärjestelmä, joka on suunnattu vesilaitoksille. Talousvettä toimittavat laitokset voivat halutessaan ottaa työkalun käyttöönsä. Sen tarkoituksena on tunnistaa koko vedentuotantoketjuun liittyvät riskit raakaveden muodostumisalueelta kuluttajan hanaan asti. WSP-ohjelmaan on koottu tyypillisiä vaaran aiheuttajia ja terveysvaaroja. Ohjelmassa voidaan määritellä vaaran seuraus ja todennäköisyys sekä lopulta riskin suuruus.

Riskin suuruus voidaan arvioida uudelleen ottamalla riskienhallintakeinon lieventävä vaikutus huomioon. Hallintakeinot voivat olla lyhyen aikavälin toimenpiteitä, joilla riski pyritään saamaan hallintaan tai pitkän aikavälin toimenpiteitä, joilla riski poistetaan pysyvästi.

4.3 Mallinnus

Maaperän rakennemallit antavat tutkimusaineistoa havainnollistavaa ja visualisoitua tietoa mm. maaperän kerrosrakenteista, maakerrosten paksuudesta, hyvin tai heikosti vettä johtavien kerrosten sijainnista ja mahdollisista virtausesteistä mallinnettavalla alueella. Usein rakennemallien pohjalta laadittavien pohjaveden virtausmallien tavoitteena on selvittää tarkemmin pohjaveden virtausolosuhteita, virtaussuuntia ja viipymää. Pohjaveden virtausmalleihin voidaan lisätä myös esimerkiksi vedenottoaivoja ja tutkia vedenoton vaikutuksia pohjaveden virtaussuuntiin ja viipymään.

Pohjaveden virtausmallin pohjalta voidaan tarvittaessa edetä haitta-aineiden kulkeutumis- ja leviämismallinnukseen, missä otetaan huomioon sekä pohjaveden virtausnopeudet että haitta-aineen kulkeutumiseen liittyvät ominaisuudet. Haitta-aineiden kulkeutumis- ja leviämismallinnuksella voidaan mallintaa haitta-ainepartikkelien kulkeutumista ja kulkeutumisnopeuksia mahdollisille altistujille.

Vesienhoidon toteutusohjelmasta 2010-2015 laaditussa valtioneuvoston periaatepäätöksessä on todettu, että "Tietoa pohjavesialueista tulee lisätä vesiensuojelutoimenpiteiden sekä

toiminnanharjoittajille asetettavien velvoitteiden kohdistamiseksi oikein.” Erilaiset mallinnukset ovat yksi tapa lisätä ja laajentaa ymmärrystä pohjavesialueiden rakenteesta. On huomioitava, että malli on aina yksinkertaistettu kuvaus alueesta ja sitä voi pitää absoluuttisena vain todellisten tutkimuspisteiden kohdalla. Mallit perustuvat rajallisen lähtöaineiston lisäksi mallintajan tekemiin tulkintoihin sekä oletuksiin ja niiden tarkkuus määräytyy lähtöaineiston tarkkuuden mukaan.

4.4 Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi

Pohjaveden haavoittuvuusanalyysi (engl. DRASTIC) on Yhdysvalloissa kehitetty (Aller et al. 1985) ja standardoitu (US EPA) menetelmä pohjaveden pilaantumisherkkyiden arviointiin ja se perustuu muodostuman luontaisiin geologisiin ja hydrogeologisiin ominaisuuksiin. Haavoittuvuusanalyysissä pohjavesimuodostuman haavoittuvuusherkkyys arvioidaan seitsemän hydrogeologisen parametrin perusteella:

- veden etäisyys maanpinnasta (engl. **D**epth to water),
- muodostuvan pohjaveden määrä (engl. net **R**echarge),
- maaperä (engl. **A**quifer media),
- pintamaa (engl. **S**oil media),
- maanpinnan kaltevuus (engl. **T**opography),
- pohjavedellä kyllästymätön vyöhyke (engl. **I**mpact of the vadose zone) ja
- hydraulinen johtavuus (engl. hydraulic **C**onductivity).

Parametrien perusteella voidaan päätellä maan päällä tapahtuvan päästön kulkeutumisherkkyys pohjaveteen. Kun analyysityökaluna käytetään paikkatieto-ohjelmistoa, saadaan tulokseksi pohjaveden haavoittuvuutta visualisoiva haavoittuvuuskartta.

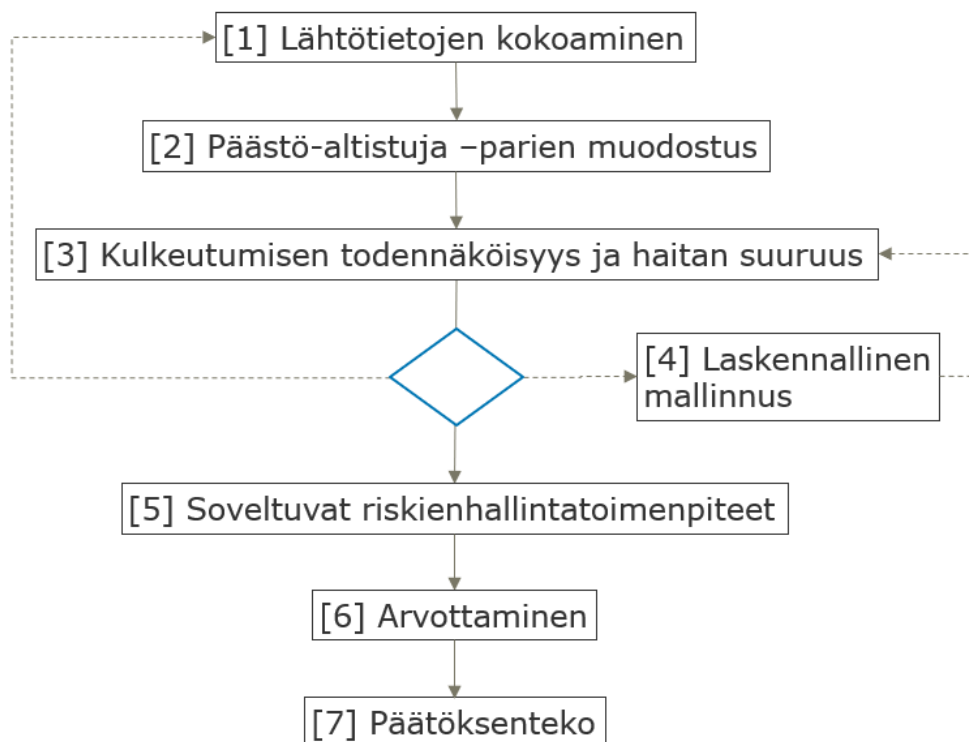
Haavoittuvuusanalyysi on paljon käytetty menetelmä Yhdysvalloissa ja ympäri maailmaa, mutta Suomessa haavoittuvuusanalyysia on sovellettu vähemmän. Pohjavesimuodostuman haavoittuvuusanalyysi voidaan laatia, mikäli alueen hydrogeologiasta ja geologiasta on tarpeeksi kattavasti tietoa. Pohjaveden luontaisen pilaantumisherkkyiden arviointia voidaan käyttää esimerkiksi maankäytön suunnittelun tukena.

Haavoittuvuusanalyysi kuvaa vain geologisia ja hydrogeologisia olosuhteita, eikä huomioi pohjavesialueella sijaitsevia päästölähteitä pohjaveden virtaussuuntia tai vedenottamoiden tai muiden altistujien sijaintia. Mikäli haavoittuvuusanalyysillä selvitetty pohjavesialueen luonnollinen haavoittuvuus on alhainen lähellä vedenottamoa, on haitta-aineen aiheuttaman riskin suuruus käytännössä indeksin arvoa suurempi, koska haitta-aineen kulkeutuessa ottamolle sille voi nopeasti altistua suuri määrä vedenkäyttäjiä. Vastaavasti pohjavesialueella sijaitsevat päästölähteet voisivat alhaisen haavoittuvuuden alueellakin aiheuttaa suuren riskin etenkin haitta-ainekuormituksen jatkuessa pidempään.

5. POAKORI-TOIMINTAMALLI

POAKORI-toimintamalli on muodostettu yhdistämällä erilaisia riskienhallintakeinoja ja se on yleistettävissä erilaisille pohjavesialueille. Toimintamallia voi käyttää myös hyvässä tilassa olevien pohjavesialueiden ennakkoivassa suojelussa ja riskienhallinnassa.

Toimintamalli on jaettu seitsemään päävaiheeseen, jotka on esitetty kuvassa 5-1. Toimintamallin vaiheita kuvataan tarkemmin seuraavissa luvuissa 5.1 – 5.7 ja toimintamallin vaiheita [1], [2], [3] ja [4] on käsitelty esimerkinomaisesti ja konkreettisemmin luvussa 6.



Kuva 5-1. POAKORI-toimintamallikaavio.

5.1 Lähtötietojen kokoaminen

Toimintamallissa tarvittaviin lähtötietoihin (vaihe [1]) kuuluu paljon avointa, kaikkien ladattavissa olevaa aineistoa, mutta myös viranomaisten hallussa olevaa tietoa ja asiantuntijatyötä vaativaa tietoa (Taulukko 5-1). POAKORI-toimintamallin mukaisessa etenemisessä tarvitaan mm. seuraavia tietoja:

- Päästölähteet
 - päästölähteen tunnistetiedot, sijainti, toimialaluokka
 - haitta-aine ja sen ominaisuudet
 - haitta-aineen määrä
- Altistujat
- Hydrogeologiset ja geologiset olosuhteet mm.
 - pohjavesialueen ja pohjaveden muodostumisalueen rajat
 - maanpinnan korkeusmalli

- muodostumatyyppi
- pohjaveden pinnankorkeus ja virtaussuunta
- pohjaveden laatu (ympäristölaatunormin ylittävät pitoisuudet)
- maaperäkartat
- aikaisemmat maaperä- ja pohjavesitutkimukset
- geologiset rakennemallinnukset, jos laadittu

Pohjavettä uhkaavina päästölähteinä voidaan pitää mm. MATTI-kohteita, valtateitä, hautausmaita, polttonesteiden jakelu- ja varastointiasemia tai lentokenttiä. MATTI-kohde tai muu toiminta voi siis tarkastelussa olla mahdollinen päästölähde, vaikka varsinaista päästöä ei olisi vielä tapahtunut. Päästölähteenä voidaan pitää myös vastaavia toimintoja jo siinä vaiheessa, kun niiden sijoittamista pohjavesialueille pohditaan kaavoittamistyössä.

Mahdollisiksi altistujiksi voidaan luokitella esimerkiksi vedenottamo, pohjavedestä riippuvainen ekosysteemi eli käytännössä lähteet, pohjaveteen hydraulisessa yhteydessä oleva pintavesimuodostuma ja yksityinen vedenotto-kaivo. Huomionarvoista on se, että myös pohjavesialue ja pohjavesi itsessään ovat altistujia.

Taulukko 5-1. Lähtötietojen saatavuus ja lähteet

Avoim data
Maastokartta (Maanmittauslaitos)
Maanpinnan korkeusmalli, DEM (Maanmittauslaitos)
Pohjavesiputkien sijainti (syke.fi/avointieto, POVET)
Pohjaveden pinnankorkeus (syke.fi/avointieto, POVET)
Pohjaveden laatu (syke.fi/avointieto, POVET)
Maaperäkartta (GTK.fi)
Pohjavesialueen rakennemalliraportit (GTK.fi)
Corine-maankäyttöluokat (SYKE)
Viranomaistietoa
Pohjavesialueen kemiallisen tilan testien tulokset
Pohjavesialueiden suojelusuunnitelmat, vanhat pohjavesiselvitykset
Vedenottamot
MATTI-kohteiden luokat ja tiedot (sijainti julkinen)
Asiantuntijatyötä vaativaa
Muut riskikohteet, kuten hautausmaat, urheilukentät, tiet (karttatarkastelu)
Lähteet, pohjavesilammet (karttatarkastelu)
Yksityiskaivot (vesilaitokset, vesijohtoverkon kattavuus)
Vedenottamon valuma-alue (karttatarkastelu)
Pohjavedenpinnan samanarvonkäyrät ja virtausnuolet (lähtöaineisto POVET)

5.2 Päästö-altistuja -parien muodostus

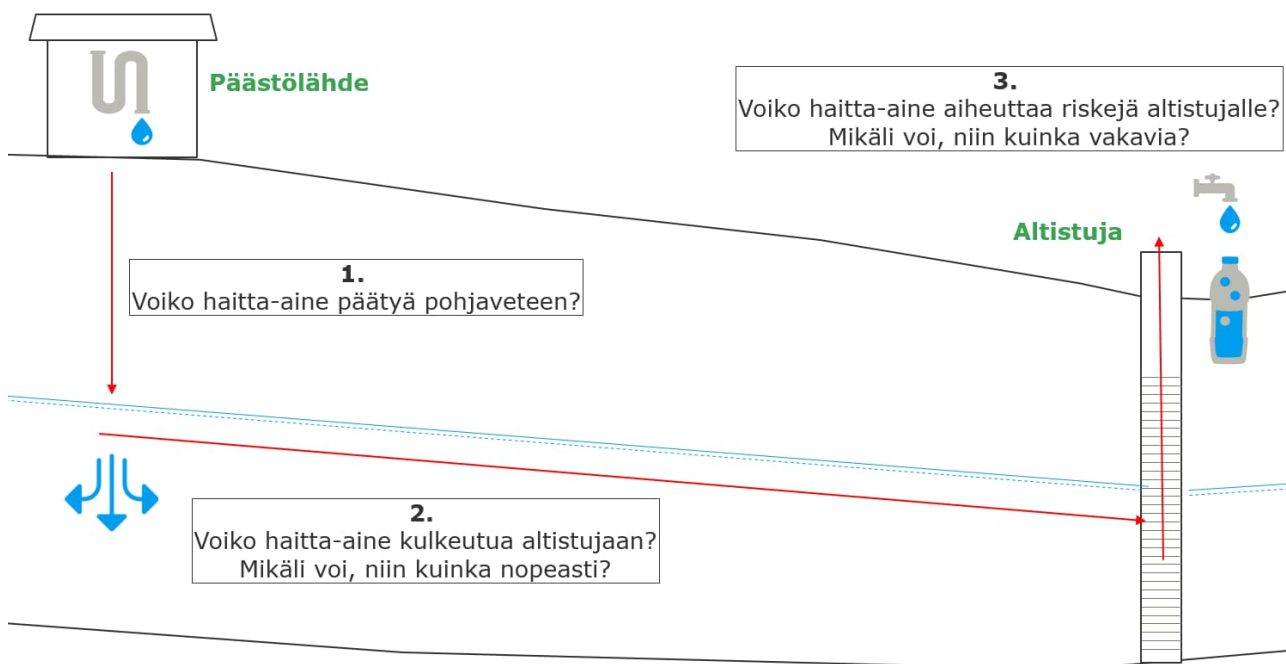
Vaiheen [2] tavoitteena on yhdistää päästökohteet ja altistujat pareiksi. Päästö-altistuja -parit määritetään niin, että ensimmäisessä vaiheessa kukin päästölähde yhdistetään altistujaan tai altistujiin, mikäli niitä on useita. Tässä vaiheessa (kullakin) altistujalla on useita päästölähteitä sekä toisaalta sama päästölähde voidaan asettaa usean altistujan pariin. Käytännössä tätä parien muodostamista on aikaisemminkin toteutettu suppeasti mm. käsitteellisiä malleja laadittaessa.

5.3 Kulkeutumisen todennäköisyys ja haitan suuruus

Vaiheen [3] tavoitteena on arvioida riskiä vastaamalla päästölähdekohtaisesti kolmeen kysymykseen:

1. Voiko haitta-aine päätyä pohjaveteen?
2. Voiko haitta-aine kulkeutua altistujalle? Mikäli voi, niin kuinka nopeasti?
3. Voiko haitta-aine aiheuttaa riskejä altistujalle? Mikäli voi, niin kuinka vakavia?

Kysymyksiin vastaaminen edellyttää useiden pohjavesialueen hydrogeologisten ominaisuuksien sekä päästölähteen ja haitta-aineen ominaisuuksien tarkastelua. Arviointi on syytä tehdä uudelleen, mikäli pohjavesialueelle tulee uusia päästölähteitä tai olemassa olevan päästölähteen toiminta muuttuu olennaisesti. Samoin tarkastelu on hyvä päivittää, mikäli pohjavesialueelle tulee uusia altistujia. Periaate on esitetty kuvassa 5-2.



Kuva 5-2. Kulkeutumisen todennäköisyyden ja haitan suuruuden arvioinnin kolme peruskysymystä.

Haitta-aineen kulkeutuminen pohjaveteen (kysymys 1) selvitetään päästölähdekohtaisesti seuraavien tietojen avulla:

- haitta-aineen liukoisuus
- päästön määrä ja onko kyseessä ns. kertapäästö vai pääseekö haitta-ainetta jatkuvasti maaperään
- (haitalliset) muutokset pohjaveden laadussa, ympäristönlaitunormin ylitys
- etäisyys pohjaveteen
- pohjaveden muodostuminen
- pintamaan tyyppi
- mahdolliset pohjaveden virtausta rajoittavat maakerrokset
- maanpinnan kaltevuus
- vajovesivyyhykkeen maalaji

Mikäli haitta-aine ei voi lähtötietojen perusteella kulkea pohjaveteen, ei kyseiselle päästölähteelle tehdä toimintamallin mukaista jatkotarkastelua. Näin ollen myös kyseiseen päästölähteeseen kytketyt päästö-altistuja -parit saavat riskiarvion 0, eli ei riskiä. Mikäli on olemassa mahdollisuus sille, että haitta-aine voi kulkeutua pohjaveteen, jatketaan kysymykseen 2.

Haitta-aineen kulkeutuminen altistujalle (kysymys 2) selvitetään edellisten lisäksi seuraavien tietojen avulla:

- pohjavesivyyhykkeen maalaji
- maaperän vedenjohtavuus
- mahdolliset virtausesteet (kalliokynnys, savikerrostumat tai pintavesistö, johon pohjavesi purkautuu)
- virtaussuunta
- pohjavedenpinnan gradientti päästölähteen ja altistujan välillä
- etäisyys altistujaan

Mikäli haitta-aine ei voi lähtötietojen perusteella kulkeutua pohjaveden mukana altistujalle esimerkiksi vastakkaisen virtaussuunnan vuoksi, ei kyseiselle päästö-altistuja -parille tehdä jatkotarkastelua. Tässä tapauksessa kyseinen päästö-lähdeparin kokonaisindeksi on enintään edellisessä vaiheessa saadun indeksilukeman arvo, sillä kulkeutumisriskiä altistujalle ei ole, mutta pohjavesi itsessään on kuitenkin altistuja.

Altistuksen vaikuttavuutta (kysymys 3) pyritään arvioimaan seuraavien tietojen avulla:

- altistujan tyyppi (vedenottamo, yksityinen talousvesikaivo, hydraulisessa yhteydessä pohjaveteen oleva pintavesimuodostuma tai maaekosysteemi, kuten lähde tai luonnonsuojelualue)
- altistujien (henkilö) lukumäärä

5.3.1 Esimerkki vaiheen toteutuksesta

Vaihe [3] voidaan esimerkinomaisesti toteuttaa excel-laskentamallilla (Liite 3), jossa kunkin edellä kuvatun muuttujan arvo valitaan ennalta määritellyistä luokista. Mikäli jostain muuttujasta ei ole riittävästi tietoa luotettavaa luokkavalintaa varten, tulee luokka valita suurimmat riskipisteet tuottavan vaihtoehdon mukaan. Tällöin lähtötiedon puutteellisuus ei aiheuta vaaraa siitä, että riski arvioitaisiin liian pieneksi. Muuttujia voidaan harkinnan mukaan myös painottaa merkittävyyden perusteella valituilla painokertoimilla, esimerkiksi etäisyys pohjaveteen voi saada kertoimen 3 ja maanpinnan kaltevuus kertoimen 2.

Menetelmän taustalla on muun muassa pohjavesialueiden suojelusuunnitelmissa käytetty riskinarviomenetelmä, pohjaveden luonnollisen haavoittuvuuden DRASTIC-menetelmä, joihin on yhdistetty pohjaveden virtaukseen ja kulkeutumiseen sekä altistujaan liittyviä parametrejä. Kulkeutumisen todennäköisyyden ja haitan suuruuden perusteella arvioidut riskit luokitellaan päästö-altistuja -pareittain viiteen luokkaan:

- 0 ei riskiä
- 1 vähäinen riski
- 2 kohtalainen riski
- 3 merkittävä riski
- 4 erittäin merkittävä riski.

Tämän lisäksi päästölähde voi saada riskiarvon:

- riski pohjavedelle,

mikäli haitta-aine voi päätyä pohjaveteen, mutta ei muille määritetyille altistujille. Riski pohjavedelle arvotetaan aina tapauskohtaisesti.

Vaiheen [3] voi toteuttaa myös esimerkiksi erilaisten karttatasojen avulla, jolloin sillä on mahdollisia lisäsovelluksia maankäytön suunnitteluun, maalämpökaivojen sijoittumisen tarkasteluun sekä esimerkiksi Pelastuslaitoksille riskienhallinnan tueksi ja onnettomuuksien varalle. Tällöin pohjavesialueelle voi laatia DRASTIC-haavoittuvuusindeksikartan, lisätä kartalle päästölähteet ja mahdolliset altistujat sekä pohjaveden virtaussuunnat. Näin päästölähteet on mahdollista ryhmitellä kartalle erilaisiin klustereihin riskiluokan perusteella.

5.3.2 Luotettavuustarkastelu

Kun päästö-altistuja -parit on määritetty viiden riskiluokan mukaan, on tärkeää tarkastella kriittisesti riskiluokittelun luotettavuutta ja mahdollisia puutteita tai epä johdonmukaisuuksia luokittelun taustalla olevassa lähtöaineistossa.

Toimintamallin mukaan kulkeutumisen todennäköisyyden ja haitan suuruuden arvioinnista (vaihe [3]) voidaan edetä joko

- a) lähtötietojen täydentämiseen – vaihe [1];
- b) yksityiskohtaisempaan, laskennalliseen mallinnukseen – vaihe [4] tai
- c) riskinhallintatoimenpiteiden määrittelyyn – vaihe [5].

Lähtötietoja täydennetään, mikäli riskin arvioinnissa tulee esille selkeitä puutteita tai epä johdonmukaisuuksia lähtötiedoissa. Tällaisia puutteita voivat esimerkiksi olla puutteelliset

tiedot päästölähteestä, päästön ajankohdasta ja päästön ominaisuuksista, puutteelliset pohjaveden pinnan havainnot keskeiseltä alueelta tai puuttuvat tai keskenään ristiriitaiset kairaus- ja maaperäkarttahavainnot.

Kulkeutumismallinnus on järkevää toteuttaa monimutkaisissa tapauksissa, kuten sellaisissa kohteissa, joissa ympäröivän pintavesistön korkeus on yhteydessä pohjaveden korkeuden vaihteluihin tai kun samalla virtausreitillä sijaitsee useampi päästölähde. Tätä vaihetta kuvataan tarkemmin seuraavassa luvussa 5.4.

Mikäli päästö-altistuja -parit on riittävän lähtötiedon ja selkeiden pohjavesiolosuhteiden johdosta luokiteltu riskiluokkiin (1-4 tai riski pohjavedelle), voidaan edetä suoraan soveltuvien riskienhallintatoimenpiteiden määrittelyyn.

5.4 Laskennallinen mallinnus

Päästölähdekohtainen haitta-aineen kulkeutumismallinnus (vaihe [4]) tehdään rakenne- ja virtausmallin pohjalta niin, että ensin määritetään pohjaveden virtausnopeudet ja -suunnat, jonka jälkeen voidaan mallintaa haitta-aineen kulkeutumista ja kulkeutumisaikaa. Edellisessä vaiheessa [3] tehdyn luokittelun johdosta mallinnettavia päästölähteitä, kulkeutumisreittejä ja altistujia on todennäköisesti karsittu, joten vaiheen [4] toteutus on lähtökohtaisesti kustannustehokkaampi, kuin sellaisessa tapauksessa, jossa kaikki mahdolliset kulkeutumisreitit olisi mallinnettava.

Yksi kulkeutumismallinnuksen hyödyllisistä ja tarkoituksenmukaisista lisäsovelluksista on teoreettisten kulkeutumisaikojen laskeminen nykyisten mitattujen haitta-ainepitoisuuksien ja hydrogeologisen tiedon perusteella. Kulkeutumismallin hyödyntäminen voi riskienhallinnan kannalta olla mielekäästä tapauksissa, joissa altistujaa uhkaa monta erityyppistä riskiä, eikä kaikkiin voida puuttua kerralla. Kulkeutumisaikojen mallintamisesta voidaan saada tukea myös riskienhallintatoimenpiteiden määrittelyyn ja siihen liittyvään päätöksentekoon sekä toimenpiteiden kiireellisyyteen.

5.5 Soveltuvat riskienhallintatoimenpiteet

Kun merkittävimmät päästö-altistuja -parit ja näihin liittyvät riskit on selvitetty, voidaan edetä riskienhallintatoimenpiteiden määrittelyyn. Vaiheen [5] tavoitteena on selvittää kullekin päästö-altistuja -parille teknisesti soveltuvat menetelmät ja tehdä päätöksenteon tueksi vertailu saavutettavissa olevista puhdistustuloksista ja toimenpiteiden kustannuksista.

Vaiheen [3] tuloksena saadun taulukon avulla osataan lähtötasoa paremmalla tarkkuudella sanoa, mihin päästö-altistuja -ketjun kohtaan suurin riski kussakin tapauksessa sijoittuu ja mihin riskienhallintatoimenpiteet olisi näin ollen hyvä sijoittaa. Tapauskohtaisesti valittavia pohjaveden riskienhallintatoimenpiteitä on esitelty liitteessä 4.

Haitta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen (kysymys 1)

Mikäli päästölähteen haitta-aineella on suuri riski kulkeutua pohjaveteen ja päästö saa korkeat pisteet ensimmäisen kysymyksen osalta, mutta ei välttämättä toisen kysymyksen osalta, on toimenpiteet syytä kohdistaa päästölähteeseen ja sen lähietäisyydelle. Toimenpiteiden tavoitteena on estää haitta-aineen kulkeutuminen päästölähteeltä pohjavedellä kyllästyneeseen kerrokseen. Esimerkkejä tällaisista menetelmistä ovat esimerkiksi päästölähteen eristäminen pohjavedellä kyllästyneestä kerroksesta suojausrakentein ja pilaantuneen maan puhdistus.

Mikäli haitta-aine on jo päätynyt pohjaveteen, mutta sillä ei ole hydraulista yhteyttä muille altistujille, tarvitaan erityyppisiä riskienhallintatoimenpiteitä. Esimerkkejä tällaisista menetelmistä ovat muun muassa monitoroitu luontainen puhdistus, tehostettu luontainen puhdistus ja pohjaveden in situ -puhdistus. Ensisijainen toimenpide on pysäyttää haitta-aineen kulkeutuminen pohjavedellä kyllästyneeseen kerrokseen, mikäli sitä on vielä jäljellä kyllästymättömässä vyöhykkeessä.

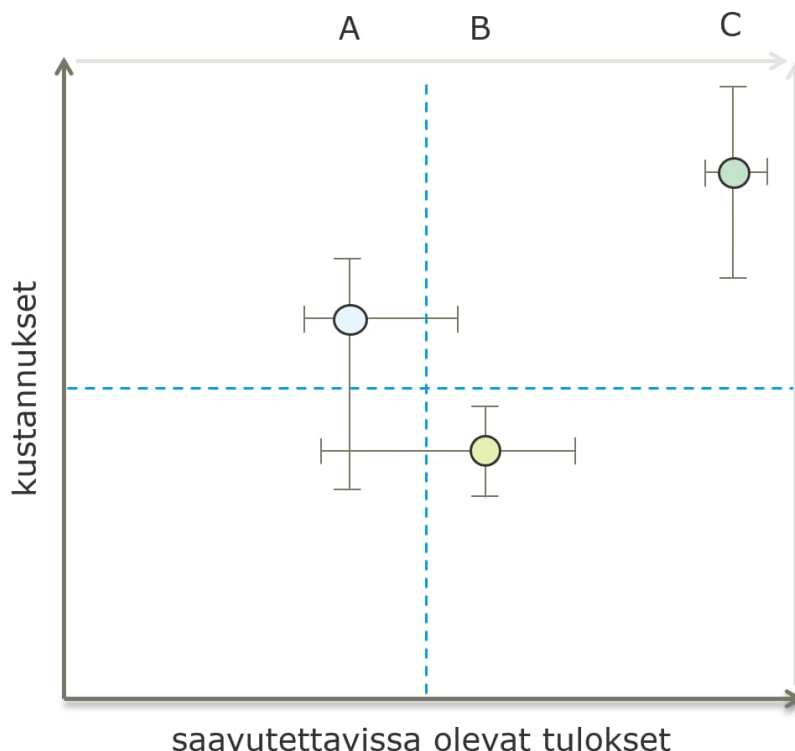
Haitta-aineiden kulkeutuminen altistujalle (kysymys 2)

Mikäli haitta-aine on jo kulkeutunut pohjaveteen ja sillä todetaan olevan mahdollinen hydraulinen yhteys muihin altistujiin pohjaveden lisäksi, on toimenpiteet järkevä kohdistaa virtausreitille ja mahdollisesti päästölähteeseen, mikäli haitta-aineen kulkeutuminen pohjaveteen jatkuu. Virtausreitille kohdistettavia toimenpiteitä ovat esimerkiksi suojapumppaus, pilaantuneen pohjaveden pumppaus ja käsittely, reaktiiviset seinämät, hydrauliset esteet ja eristävät pystyrakenteet.

Altistuksen vaikuttavuus (kysymys 3)

Mikäli on todettu, että päästölähteeltä on hydraulinen yhteys pohjaveteen ja pohjaveden välityksellä altistujalle saakka, toimenpiteiden pääpaino on altistujan osalta riskin hallitsemisessa ja pienentämisessä. Mahdollisia toimenpiteitä altistujan osalta ovat veden puhdistamisen tehostaminen vedenottamalla, korvaavan raakavesilähteen järjestäminen ja reaktiiviset seinämät. Kriittisessä tilanteessa voidaan vedenjakelu keskeyttää ja tilapäisen vedenjakelun järjestäminen.

Kohteeseen teknisesti soveltuvia menetelmiä voidaan tarkastella saavutettavissa olevien tulosten ja kustannusten mukaan. Kuvassa 5-3 on esitetty nelikenttä, jolle on sijoitettu kolme kuvitteellista riskienhallintatoimenpidettä.



Kuva 5-3. Riskienhallintatoimenpiteiden tarkastelu kustannusten ja saavutettavissa olevien tulosten suhteen.

Kuvassa 5-3 esitetty Toimenpide A sijoittuu nelikentän vasempaan ylälohkoon, ja siinä saavutettavissa olevat tulokset ovat kolmesta vaihtoehdoista alhaisimmat ja kustannukset ovat melko suuret ja niissä on huomattavaa hajontaa. Toimenpide B sijoittuu nelikentän oikeaan alalohkoon, jossa menetelmällä saavutettavissa olevat tulokset ovat pienestä epävarmuudesta huolimatta vaihtoehtoa A paremmat ja myös kustannukset ovat alhaiset. Kustannuksissa ei myöskään ole arvion mukaan oletettavissa hajontaa. Toimenpide C sijoittuu oikeaan ylälohkoon - sen kustannukset ovat vaihtoehdoista korkeimmat ja toisaalta myös toimenpiteellä saavutettavissa olevat tulokset vaihtoehdoista parhaimmat, eikä menetelmässä ole juuri epävarmuutta. Ideaalitalanteessa teknisesti soveltuva menetelmä sijoittuu nelikentän oikeaan alakulmaan, jolloin saavutettavissa olevat tulokset voivat olla saavutettavissa kohtuullisin kustannuksin.

Tarkastelussa voidaan ottaa kustannusten ja tulosten lisäksi huomioon myös esimerkiksi toimenpiteen vaatima aika, tarkastella kustannusten jakautumista investointi- ja käyttökustannuksiin sekä arvioida toimenpiteen ympäristövaikutuksia tai sosiaalista ja lainsäädännöllistä hyväksyttävyyttä. Tällöin arvioinnissa lähestytään BAT-menetelmää arviota tai puhdistuksen kestävyysarviota.

On kuitenkin huomioitava, että lopullisten toimenpiteiden valinta ja toimeenpano vaatii teknistä suunnittelua, mahdollisia lisätutkimuksia ja lupia toteutusta varten.

5.6 Arvottaminen

Riskien lopullinen arvottaminen [6] tapahtuu vuorovaikutteisesti, esimerkiksi työpajatyypillisesti, edellisiä selvityksiä ja alustavaa riskijärjestystä hyödyntäen. Arvottamisessa voidaan hyödyntää erilaisia päättelykaavioita tai -kehikoita. Arvottamisvaiheeseen voivat ottaa osaa esimerkiksi alueelliset ja paikalliset viranomaiset, kaupungin tai kunnan päättäjät, vesilaitokset, konsultit, järjestöt ja muut asiantuntijat. On tärkeää, että kaikkien relevanttien päästö-altistuja -parien edustajat osallistuvat arvottamiseen yhdessä.

Arvottamisessa painotetaan kokonaisvaltaista riskiä ja sen suuruutta. Arvottamisessa otetaan huomioon luonnon olosuhteiden lisäksi altistujien merkitys, tarpeet ja viitekehykset, päästölähteen haitta-aineen ominaisuudet sekä mahdollisesti arvioitu kulkeutumisaika.

5.7 Päätöksenteko

Päätöksentekovaiheessa otetaan huomioon toimenpiteen tekninen soveltuvuus kohteeseen, tavoitteet ja saavutettavissa olevat tulokset ja niiden ajallinen vaikuttavuus, menetelmän toteutuksen ajallinen kesto, investointikustannukset ja pitkäaikaiset käyttökustannukset sekä menetelmän ja saavutettavissa olevien tulosten sosiaalinen hyväksyttävyys.

Lopullisen päätöksen tekee ”toiminnanharjoittaja”, joka myös vastaa toimenpiteiden toteuttamisesta. Jos toiminta edellyttää vesilain tai ympäristönsuojelulain mukaista lupaa, ”toiminnanharjoittaja” hakee luvan. Joissakin tapauksissa päätöksentekoa voidaan ohjata hallinnollisin keinoin.

Se kuka ”toiminnanharjoittaja” on, vaihtelee tapauskohtaisesti. Koska kyse on koko pohjavesialueen riskienhallinnasta, on toivottavaa, että kaikki ”toiminnanharjoittajat” tekevät omalla tahollaan päätöksiä, joilla tähdätään samaan, yhdenmukaiseen lopputulokseen.

6. ESIMERKKI POAKORI-TOIMINTAMALLIN SOVELTAMISESTA

POAKORI-toimintamalli on esimerkinomaisesti käsitelty tässä luvussa vaiheiden [1]-[4] osalta. Toimintamallin mukaisten vaiheiden [5]-[7] mukainen toteutus edellyttää aikaisempien vaiheiden toteutusta tarkemmalla tasolla.

6.1 Esimerkkikohteet

POAKORI-hankkeeseen valittiin kaksi esimerkkikohdetta, joilla pohjavesialueiden ja päästölähteiden ominaisuuksia tarkasteltiin kattavasti. Esimerkkikohteet ovat Mikkelin Pursialan ja Hanhikankaan pohjavesialueet sekä Hangon pohjavesialue. Kohteiden valintaan vaikutti merkittävästi se, että molemmista kohteista oli paljon olemassa olevaa tutkimusaineistoa ja kohteet ovat vedenhankinnan kannalta tärkeitä pohjavesialueita, joilla on useita tunnistettuja pohjavettä kemiallisesti pilanneita toimintoja.

Pursialan ja Hangon pohjavesialueet ovat kemiallisesti huonoon tilaan luokiteltuja pohjavesialueita. Hanhikankaan pohjavesialue on hyvään kemialliseen tilaan luokiteltu pohjavesialue. Hanhikankaan pohjavesialueen määrällinen tila on kuitenkin huono. Kaikki muodostumat on kuitenkin luokiteltu riskialueiksi.

6.1.1 Mikkeli

Mikkelin Pursialan (0649151) ja Hanhikankaan (0649101) 1-luokan pohjavesialueet ovat käytännössä samaa muodostumaa, mutta niiden välisen hydraulisen yhteyden katkaisee kalliopaljastumaseläanne linjalla Kirjala-Tuomiokirkko-Naisvuori-Emola (Kuva 6-1).

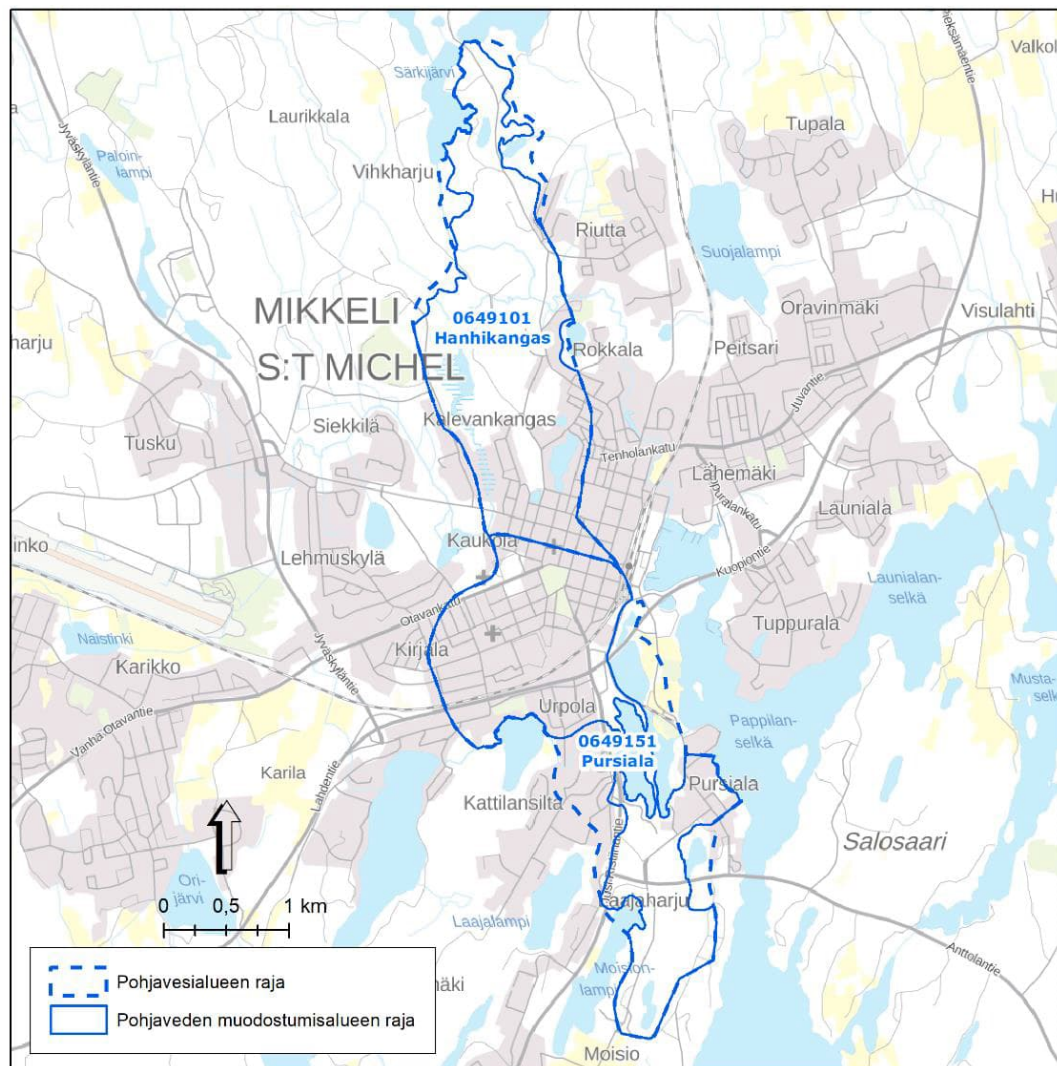
Pursialan pohjavesialue

Pohjavesialue koostuu kapeasta selväpiirteisestä harjuselänteestä (Kaihunharju) sekä pohjoispään laajahkosta deltasta. Pohjavesitietokannan (POVET) mukaan pohjavesialueella on useita laatua heikentäviä aineita, joista merkityksellisimmät ovat entisen VR:n ratapölkkykylästäjän kreosootti ja Vapon entisen sahan kloorifenolit. Lisäksi pohjavedessä on todettu typpeä, torjunta-aineita, metalleja, kloorattuja liuottimia ja kloridia. Vedenotossa on varauduttu mahdollisiin häiriötilanteisiin.

Pursialan pohjavesialueen kemiallinen tila on määritelty huonoksi. Pohjavesialue on POVET-tietokannan kemiallisen tilan testien mukaan huono seuraavien kemiallisen tilan testien osalta:

- haitallisen aineen esiintymisen laajuus pohjavesimuodostumassa
- suolaantuminen tai muu haitallisen aineen pääsy pohjavesimuodostumaan
- juomaveden ottoon käytettävien pohjavesimuodostumien tilan arviointi - tulee soveltaa vedenottamoiden raakavedestä tehtyihin määrityksiin

Pohjavesialueella sijaitsee Mikkelin vesilaitoksen Pursialan vedenottamo. Vedenottoluvassa sallittu vedenottomäärä on 15 000 m³/d. Nykyisin vettä otetaan vuosikeskiarvona noin 7200 m³/d. Ottamolta otettava pohjavesi on suurelta osin rantaimettyvää Pursialan- ja Kattilanlahden pintavettä (Saimaan vettä) sekä Moision altailla imeytettyä tekopohjavettä.



Kuva 6-1. Pursialan ja Hanhikankaan pohjavesialueet

Vedenottamon koillispuolella on suojapumppauskaivo, josta pumpataan vettä noin 200 m³/d pohjavesiyhteyden katkaisemiseksi vedenottamon ja vanhan teollisuusalueen ja entisen sahan väliltä. Pursialan vedenottamolla vedenkäsittelyprosessina käytetään ilmastusta, alkalointikemikaalin (kalkki) syöttöä, saostusta ja selkeytystä sekä neutralointikemikaalin (rikkihappo) syöttöä ja suodatusta.

Hanhikankaan pohjavesialue

Hanhikankaan pohjavesialue on osa pohjois-eteläsuuntaista Mikkelin harjujaksoa, joka on levinnyt deltaisesti Hanhikankaan muodostumaksi. Pohjavesialueen eteläosa on kaupunkialuetta, jossa on monia riskitekijöitä.

Hanhikankaan pohjavesialue on määritetty vesienhoidossa riskialueeksi. Pohjavesialue on POVET-tietokannan kemiallisen tilan testien mukaan huono seuraavien kemiallisen tilan testien osalta:

- suolaantuminen tai muu haitallisen aineen pääsy pohjavesimuodostumaan
- juomaveden ottoon käytettävien pohjavesimuodostumien tilan arviointi - tulee soveltaa vedenottamoiden raakavedestä tehtyihin määrityksiin

Vaikka osa kemiallisen tilan testeistä osa indikoisi huonoa tilaa, on pohjavesialueen kemiallinen tila silti kokonaisuutena luokiteltu hyväksi.

Pohjavesialueella sijaitsee Mikkelin vesilaitoksen Hanhikankaan ottamo, jolle on myönnetty 4500 m³/d suuruinen lupa vedenottoon. Vesilaitoksella on vedenottoa noin 1500 m³/d, josta arviolta 60 % on rantaimeytyvää Hanhilammen ja Hanhijoen vettä.

6.1.2 Hanko

Hangon pohjavettä ympäristöönsä purkava 1-luokan pohjavesialue (0107801) on eri merivaiheiden tasoittamaa I Salpausselkää, missä kerrospaksuudet ovat yleisesti pieniä (Kuva 6-2).

Pohjavesialueen huono kemiallinen tila johtuu öljy- ja liuotinainepitoisuuksista. Vakavista päästöistä on kulunut kymmeniä vuosia ja pitoisuudet ovat pääosin olleet laskevia. Pohjavesialue on POVET-tietokannan kemiallisen tilan testien mukaan huono seuraavien kemiallisen tilan testien osalta:

- suolaantuminen tai muu haitallisen aineen pääsy pohjavesimuodostumaan
- juomaveden ottoon käytettävien pohjavesimuodostumien tilan arviointi - tulee soveltaa vedenottamoiden raakavedestä tehtyihin määrityksiin



Kuva 6-2. Hangon pohjavesialue.

Hangon pohjavesialueella on useita vedenottamoita, joista vain yksi, Hopearannan vedenottamo, on talousvesikäytössä. Vedenottomäärä Hopearannan vedenottamolta vuosina 2001-2012 on ollut 490-1000 m³/d ja ottamon lähistöllä suojapumppaukset ovat jatkuvasti käynnissä. Furunäsin ottamo suljettiin viemärivuodon vuoksi vuonna 1982, Mannerheimintien vedenottamo suljettiin vuoden 2006 jälkeen liuotin- ja elohopeapitoisuuksien vuoksi ja Ampumaradan vedenottamolta on todettu liuottimia, minkä vuoksi vettä on käytetty vuodesta 2004 lähtien ainoastaan kasteluvetenä. Lisäksi Printal Oy:llä on alueella oma vedenottamo, josta vettä otetaan prosessivedeksi noin 50 m³/d.

6.2 Lähtötietojen kokoaminen

Lähtöaineistoa kerättiin Pohjavesitietokannasta (POVET) ja Maaperän tilan tietojärjestelmästä (MATTI). Pohjavesitietokannasta kerättiin pohjavesiputkien sijaintitiedot, pohjaveden pinnankorkeus- ja pitoisuustiedot. MATTI-järjestelmästä selvitettiin kohteiden historia- ja mahdolliset kunnostustiedot. Työvaihe oli työläs, sillä MATTI-kohteiden historiasta on tietoa hyvin vaihtelevasti ja osa tiedosta voi löytyä vain paikalliselta ympäristöviranomaiselta. MATTI-kohteiden historia- ja muut lähtötiedot ovat merkittävässä roolissa arvioitaessa pohjavesialueen riskejä. Tiedot eivät pääsääntöisesti ole sähköisessä muodossa, vaan esimerkiksi erilaisissa raporteissa.

6.3 Päästö-altistuja -parien muodostus

Mikkelissä päästölähteisiin lukeutuvia MATTI-kohteita on 160. Merkittävimmiksi altistujiksi on määritetty Pursialan vedenottamo ja pohjaveden pintaan kytköksissä olevat Pursialanlahden ja Kattilanlahden pintavesimuodostumat (pintavesiesiintymät käsitellään tässä yhtenä altistujana). Näin ollen päästö-altistuja -pareja Mikkelissä on 320. Kiinteistöt ovat pääosin kunnallisen vedenjakelun piirissä.

Hangossa merkittävin altistuja on Hopearannan vedenottamo. Muita altistujia ovat Printal Oy:n vedenottamo, Ampumaradan vedenottamo sekä suljetut Mannerheimintien ja Furunäsin ottamot. Parien muodostus toteutettiin Hangossa eri tavalla kuin Mikkelissä, sillä päästölähteet priorisoitiin jo ennakkoon paikallistuntemuksen ja historiatietojen perusteella. Noin 60:stä MATTI-kohteesta valittiin tarkempaan tarkasteluun asiantuntijatyönä 15 merkittävimmäksi arvioitua kohdetta. Näin ollen päästö-altistuja -pareja Hangossa on vain 75.

Liitteessä 5 on kuvattu päästö-altistuja -parien muodostus sellaisessa tilanteessa, kun lähtötietona on käytettävissä pohjaveden virtausmalli. Tällöin parit muodostetaan altistujien sieppausalueiden (catchment area) mukaan, jolloin sieppausalueella sijaitsevat päästölähteet valitaan tarkempaa jatkotarkastelua varten.

6.4 Kulkeutumisen todennäköisyys ja haitan suuruus

Seuraavassa kuvassa 6-3 on esitetty esimerkinomaisesti kulkeutumisen todennäköisyyden ja haitan suuruuden arvioinnissa käytettävä laskentataulukko, esimerkkinä Mikkeli. Taulukossa altistujana on Pursialan vedenottamo ja siinä arvioidaan rinnakkain kolmea eri päästölähdettä suhteessa altistujaan. Tarkastelu on toteutettu suuntaa-antavasti, eivätkä muuttujien arvot ole täsmällisiä, sillä esimerkkikohteissa kulkeutumisen todennäköisyyttä tarkasteltiin hankkeen aikana mallinnusten kautta.

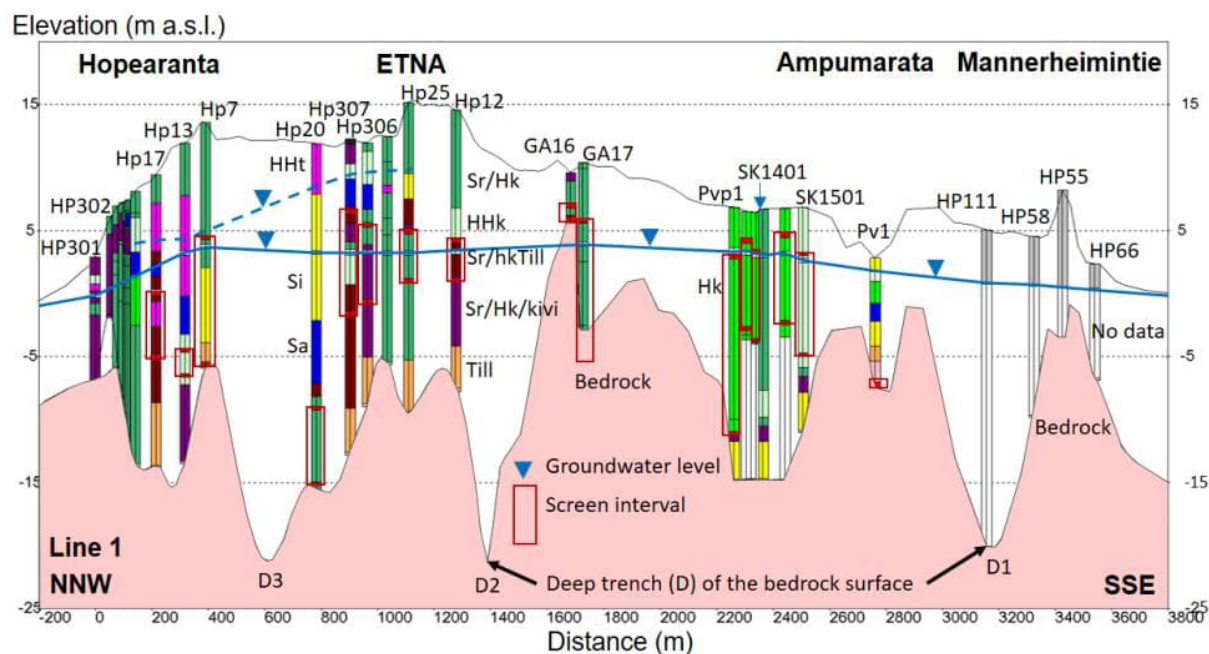
	Tarkastelukohde	Yksikkö	Painotus	Päästölähde 1	Päästölähde 2	Päästölähde 3
Lähde	Tunnistetiedot					
	MATTI Id	[luku]				
	Nimi / Osoite	[teksti]		Kyllästämö	Saha	Kemiallinen pesula
	Toimialaluokitus	[tol]				
	Kiinteistönro	[teksti]				
	Sijainti	tm35fin]				
	Maanpinnan korkeus	[N2000]				
Kulkeutuminen	Kulkeutuminen pohjaveteen					
	Haitta-aine	[Kd/Koc]	1	Kohtalaisen kulkeutuva	Kohtalaisen kulkeutuva	Erittäin kulkeutuva
	Päästön määrä	[kg]	1	< 20 000		
	Etäisyys pohjaveteen	[m]	1	< 5	< 5	< 5
	Pohjaveden muodostuminen	[mm/v]	1	< 250	< 250	< 250
	Pintamaan tyyppi	[teksti]	1	Maanpintaosa on poistettu	Maanpintaosa on poistettu	Maanpintaosa on poistettu
	Maanpinnan kaltevuus	[%]	1	< 5	< 5	< 5
	Vajovesivyyhykkeen maalaji	[teksti]	1	Hk	Hk	Hk
	Kulkeutuminen altistujalle					
	Hydraulinen johtavuus	[k]	1	> 10-4	> 10-4	> 10-4
	Pohjavesivyyhykkeen maalaji	[teksti]	1	Hk	Hk	Hk
	Virtauseste	[kee]	1	Ei virtausestettä	Ei virtausestettä	Ei virtausestettä
	Virtaussuunta	[deg]	1	< 10	< 10	< 10
	Pohjaveden gradientti	[%]	1	1-2	1-2	1-2
	Etäisyys altistujaan	[m]	1	> 1000	> 800	> 1000
altistus	Altistuksen vaikuttavuus					
	Altistujan tyyppi	[teksti]	1	Yhdyskunta	Yhdyskunta	Yhdyskunta
	Altistujien lukumäärä	[luku]	1	> 500	> 500	> 500
Riski	POAKORI riskiluokitus					
	Kulkeutuminen pohjaveteen	[luku]	1	28	24	25
	Kulkeutuminen altistujalle	[luku]	1	18	19	18
	Altistuksen vaikuttavuus	[luku]	1	10	10	10
	POAKORI riskiluokitus	[luku]		merkittävä	merkittävä	merkittävä

Kuva 6-3. POAKORI-toimintamallin mukainen riskiluokitus, jossa arvioidaan kulkeutumisen todennäköisyyttä ja haitan suuruutta. Lukuarvot ja yksiköt ovat esimerkinomaisia.

Kuten kuvasta 6-3 nähdään, kolme eri päästölähdettä altistujinaan Pursialan vedenottamo saa keskenään hyvin samanlaiset pisteet ja ne kuuluvat samaan riskiluokkaan. Toisaalta myös osa muuttujista, kuten virtaussuunta, on Pursialan pohjavesialueen tapauksessa monimutkainen tekijä, sillä Saimaan pinnankorkeus vaikuttaa suuresti pohjaveden virtaukseen ja haitta-aineen kulkeutumiseen. Heti hankkeen alkuvaiheessa todettiin, että Mikkeliissä päästölähteitä samalla virtausreitillä on useita ja haitta-aineet ovat monin paikoin päätyneet jo pohjaveteen ja niitä on osin todettu myös vedenottamolla. Hankkeen aikana kulkeutumisen todennäköisyyttä arvioitiin näistä syistä pääasiassa kulkeutumis- ja leviämismallinnusten avulla ilman kohteiden ennakkorajausta tai -priorisointia.

6.5 Mallinnus

Pohjaveden virtausmallien pohjalla käytettävät rakennemallit oli valmiiksi laadittu sekä Hangon että Mikkelin alueen pohjavesialueilta aikaisemmissa tutkimushankkeissa ennen POAKORI-hanketta. Hangon rakennemallia päivitettiin POAKORI-hankkeen yhteydessä (Kuva 6-4) (Geologian tutkimuskeskus, 2018). Molempiin esimerkkikohteisiin oli myös aikaisemmin laadittu pohjaveden virtausmallit, jotka päivitettiin työn yhteydessä.



Kuva 6-4. Poikkileikkauskuva Hangon pohjavesialueen maaperän rakennemallista (Geologian tutkimuskeskus 2018).

6.5.1 Pohjaveden virtausmallit

Mikkeli

Pursialan ja Hanhikankaan vanha pohjaveden virtausmalli oli tyypiltään steady state -malli, joka ei huomionnut pohjaveden virtausolosuhteisiin vaikuttavaa Saimaan pinnankorkeuden vaihtelua. Mikkelin Pursialan pohjavesialueella Saimaan pinnankorkeuden vaihtelu on merkittävässä roolissa pohjaveden virtaussuuntien suhteen, joten Mikkelin pohjaveden virtausmalli päivitettiin POAKORI-hankkeen yhteydessä. Päivitetty virtausmalli (transient) käsittää viisi eri tasapainotilaa viiden eri Saimaan pinnankorkeuden mukaan ja mallin kalibroinnissa on keskitytty rantaimeytymisen voimakkuuden vaihteluun Saimaan vedenpinnan korkeuden vaihdella.

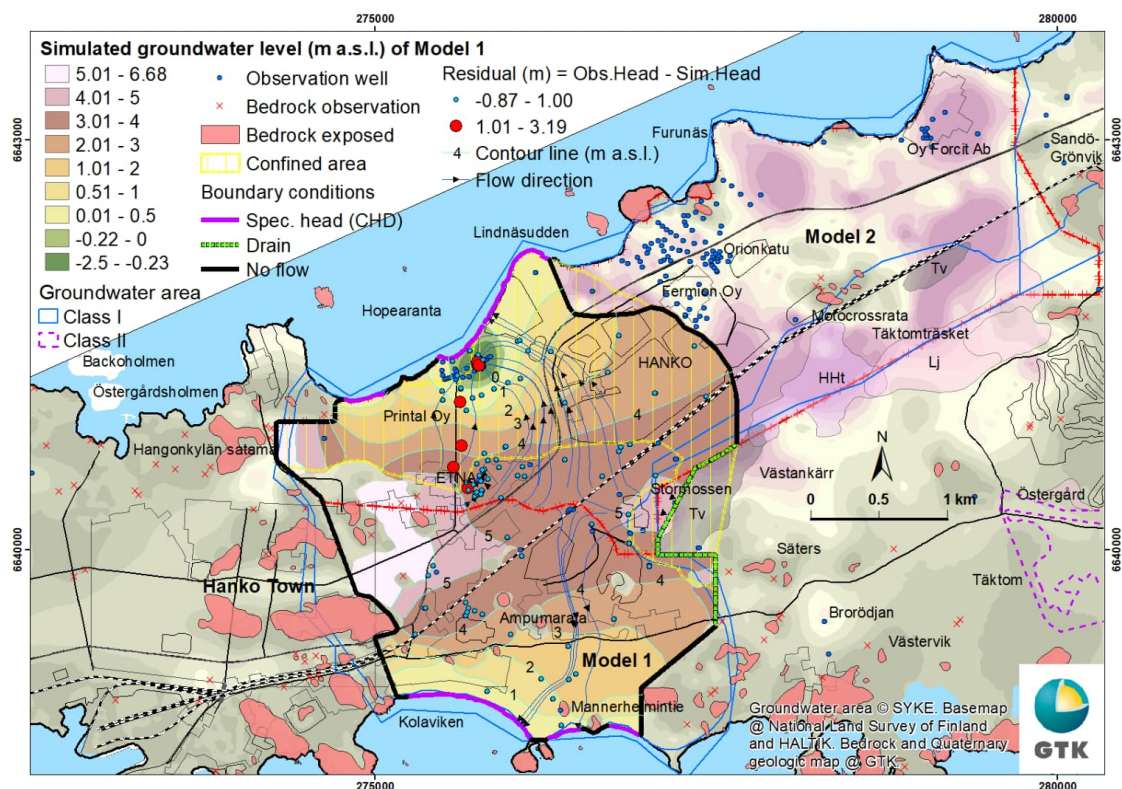
Hanko

Geologisten ja hydrogeologisten tietojen perusteella Hangon pohjavesialue jaettiin mallinnusta varten kahteen osaan; itä- ja länsiosaan. Molemmille osille mallinnettiin kaksi pohjaveden virtausmallia (MODFLOW) eri pohjavedenpinnan korkeuden tilanteissa.

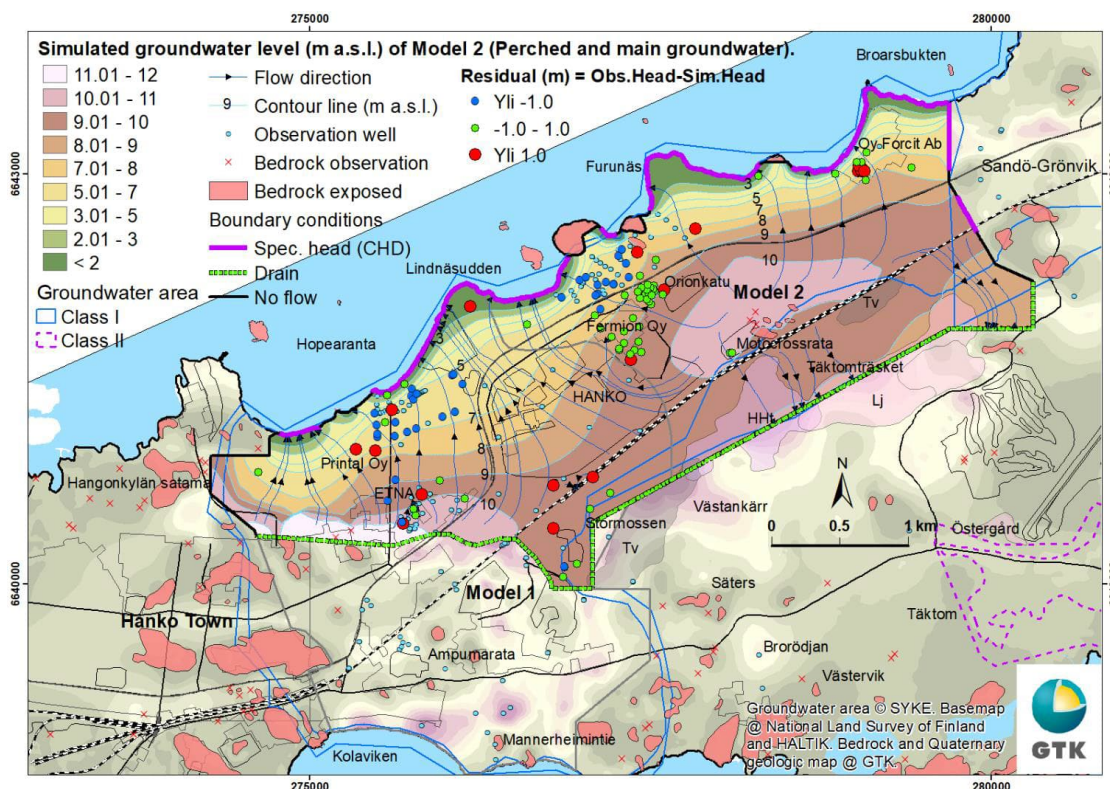
Läntisen osan malli 1 (Kuva 6-5. Mallinnettu pohjavedenpinta ja sekä mallinnetun ja mitatun vedenpinnan ero (residuaali) 88 mittauspisteessä mallinnusalueelta 1. Kuva 6-5) edustaa

pohjaveden alempaa tasoa ja osittain paineellista pohjavesikerrosta. Tätä muodostuman osaa peittää pohjoisessa hienorakeinen yksikkö. Malliin lisättiin hienorakeisen kerroksen kautta tapahtuva suotautuminen MODFLOWn River package toiminnolla. Mallin kalibrointi tuotti hyvät korrelaatiot (R^2 0,94) simuloitujen ja havaittujen (88 pohjavesiputkea) vedenpinnankorkeuksien välillä. Pinnan mittaukset tehtiin touko-kesäkuun 2017 aikana. Simuloitu vesitase osoitti mallinnusalueella alueella muodostuvan pohjaveden määräksi 4135 m³/d, joka koostuu pohjoisosan hienorakeisessa osassa tapahtuvasta suotautumisesta (1366 m³/d), muusta osasta tapahtuvasta suotautumisesta (2500 m³/d) sekä meriveden suotautumisesta Hopearannan vedenottamon alueelta (269 m³/d). Rantaviivan läheisyydessä olevien vedenottoaivojen suuret vedenottomäärät saattavat kuitenkin alentaa pohjaveden tasoa ja lisätä meriveden suotautumista.

Malli 2 (Kuva 6-6) kattaa pohjavesialueen itäisen osan. Alueella esiintyy paikoin myös orsivettä. Kalibrointi tehtiin käyttämällä 77 pohjavedenpinnan havaintoa. Kalibrointi tuotti suurella osaa aluetta hyvän korrelaation (R^2 0,94) simuloitujen ja havaittujen pohjavedenpinnantasojen välillä. Korrelaatio oli heikompi hienorakeisimmilla osilla aluetta, esim. Furunäsin ja Forcitin alueilla, joista oli käytettävissä vähemmän pohjavedenpinnan havaintoja. Vesitase osoitti mallin 2 alueella muodostuvan pohjavettä 4325 m³/d, josta orsiveden esiintymisalueelta suotautuu 1572 m³/d ja muusta osasta aluetta 2752 m³/d.



Kuva 6-5. Mallinnettu pohjavedenpinta ja sekä mallinnetun ja mitatun vedenpinnan ero (residuaali) 88 mittauspisteessä mallinnusalueelta 1.



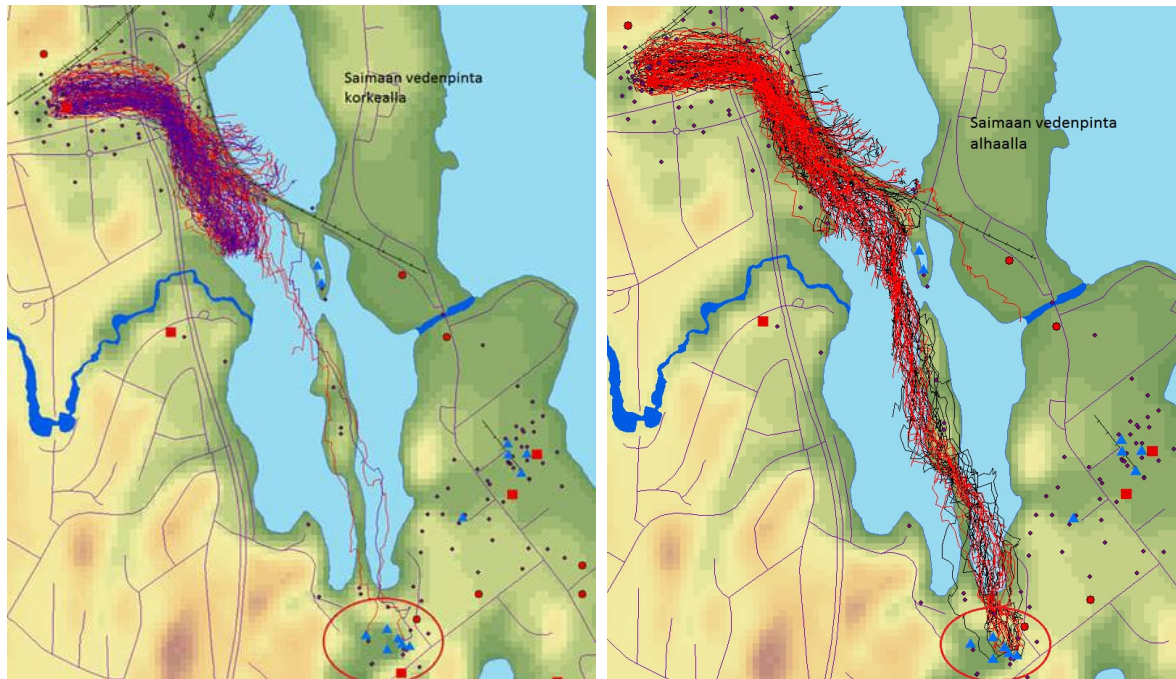
Kuva 6-6. Mallinnettu pohjavedenpinta ja sekä mallinnetun ja mitatun vedenpinnan ero (residuaali) 77 mittauspisteessä mallinnusalueelta 2

6.5.2 Haitta-aineiden leviämis- ja kulkeutumismallit

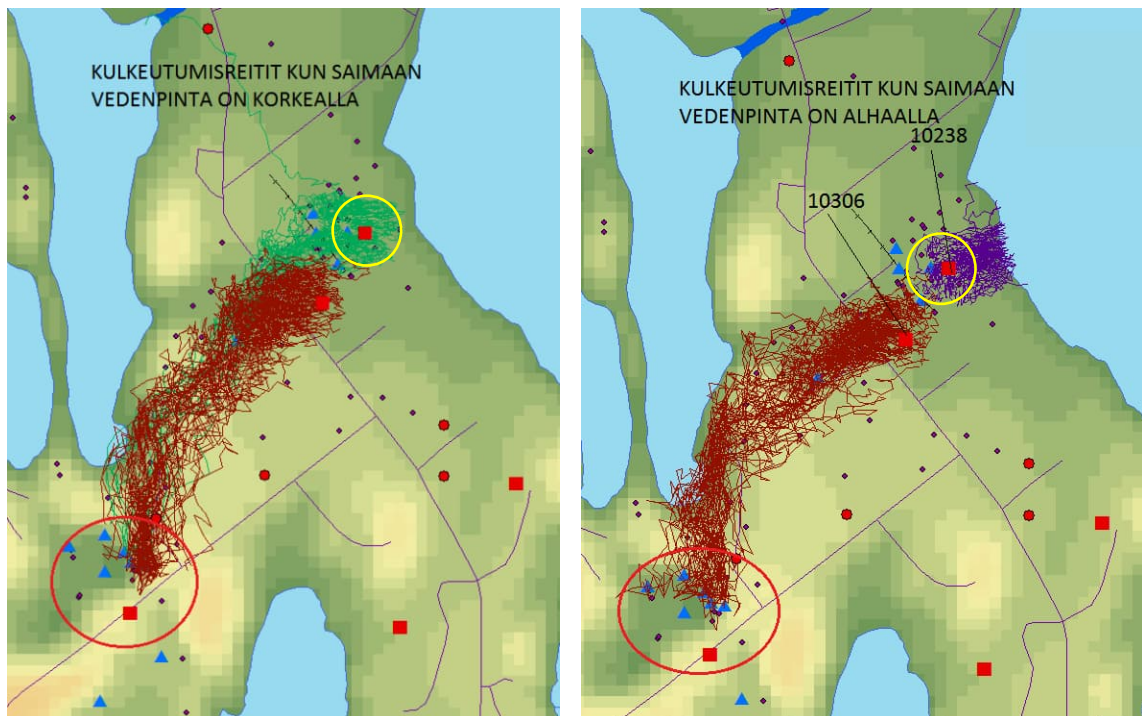
Mikkeli

WaterHopen laatimassa kulkeutumismallinnuksessa laskettiin virtausreitit kaikille 160:lle MATTI-kohteelle. Kulkeutumismallinnuksessa hyödynnettiin edellisessä mallinnusvaiheessa laadittujen viiden eri tasapainotilan virtausmalleja. Kulkeutumisreittien laskennassa otettiin huomioon dispersion vaikutus. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että samasta lähtöpisteestä alkavat reitit eivät päädy täsmälleen samaan loppupaikkaan vaan kulkeutumisreitillä tapahtuu sekä pituus- että poikittaissuuntaista leviämistä. Fysikaalisesti dispersion voi selittää sillä, että kulkeutumisreitit kiertävät sekä pieniä maahiukkasia että isompia kiviä tai heikommin läpäiseviä kohtia esiintymässä. Liitteessä 5 on esitetty mallinnetut haitta-aineiden käyttäytymisen ennusteet valittujen päästölähteiden ja merkittävimpien haitta-aineiden osalta.

Mallinnuksen tuloksista kävi ilmi, että Saimaan vedenpinnan korkeuden vaihtelut vaikuttavat merkittävästi sekä vanhalta kyllästämöalueelta (Kuva 6-7) että Pursialan saha-alueelta (Kuva 6-8) lähteviin virtausreitteihin, joten Mikkelin osalta virtausmallin päivitys useamman tasapainotilan malliksi oli erittäin oleellista. Mikkelin tulokset osoittavat sen, että kun pohjavesiesiintymä rajoittuu järveen, niin rantaimeytymisen rooli on joissakin tapauksissa erittäin merkittävä tekijä kulkeutumisen mallinnuksessa ja riskinarvioinnissa.



Kuva 6-7. Vanhalta kyllästämön (kuvien vasemmassa yläreunassa) alueelta lähtevät virtausreitit, kun Saimaan vedenpinta on korkealla (vas.) ja matalalla (oik.). Vedenottamon sijainti on ympyröity kuvien alalaitaan. (WaterHope 2018).



Kuva 6-8. Saha-alueilta lähtevät virtausreitit, kun Saimaan vedenpinta on korkealla (vas.) ja matalalla (oik.). Vedenottamoalue on rajattu punaisella ja saha-alue keltaisella. (WaterHope 2018).

Hanko

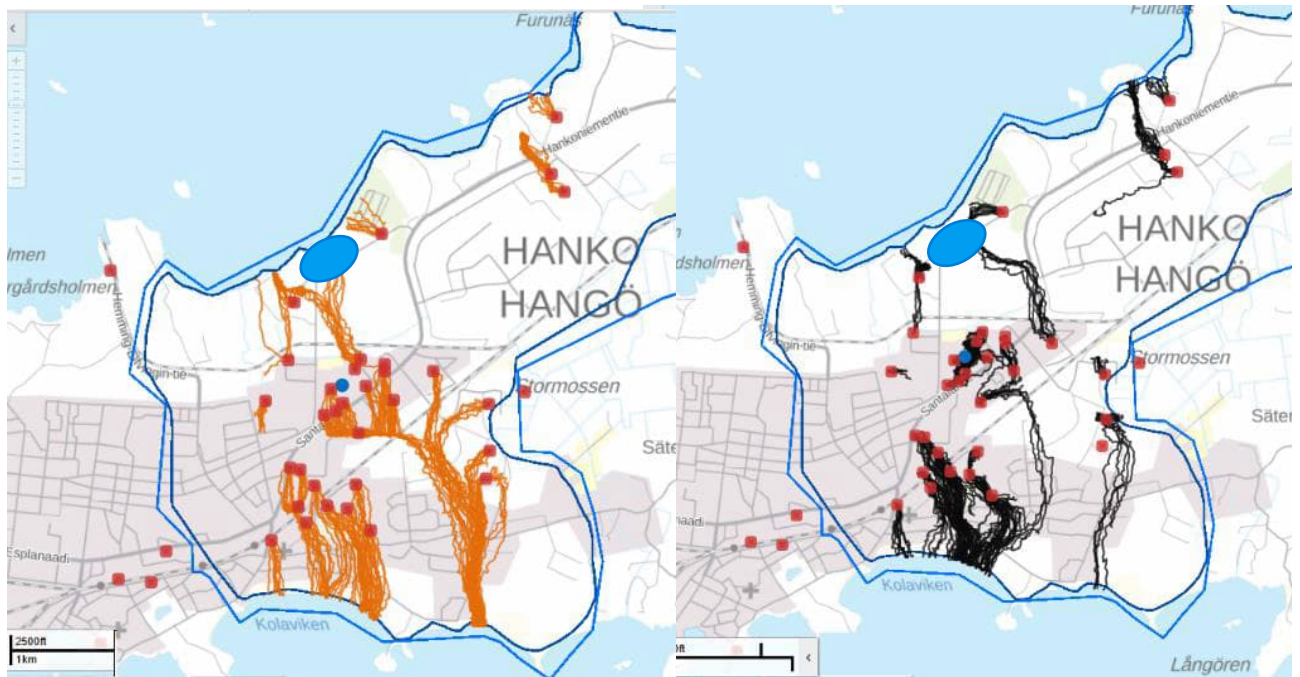
Hangon osalta kulkeutumisreittien laskennassa oli käytettävissä GTK:n laatima kallionpinnan korkeusmalli ja kalibroitu pohjavesimalli. Hangossa orsivesikerroksen vaikutus haitta-aineiden kulkeutumiseen on keskeisessä roolissa, joten GTK:n laatiman mallin perusteella pystyttiin laskemaan erikseen kulkeutumisreitit orsivesikerroksessa ja paineellisessa osassa pohjavesiesiintymää. Päästölähde- ja haitta-ainekohtaiset haitta-aineiden leviämismallit on esitetty liitteessä 5.

Kulkeutumismalli aikaisemmin laaditun rakenneselvityksen pohjalta

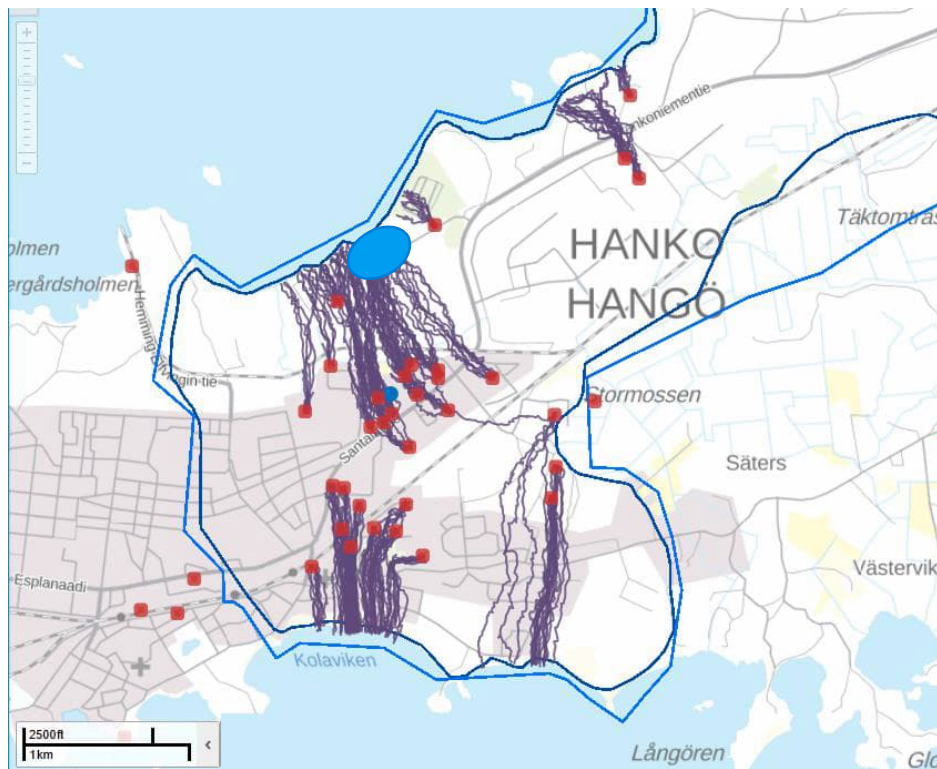
Kuvassa 6-9 esitettyjen tulosten mukaan kulkeutumisreitit orsivesikerroksessa ja paineellisessa osassa ovat esiintymän eteläosassa hyvin saman tyyppiset eli reittien päätepiste on meri. Esiintymän keskiosan MATTI-kohteilta lähtevien virtausreittien päätepisteet ovat orsivesikerrokselle pääosin meressä. Paineellisessa pohjavesikerroksessa virtausta aiheuttavat paine-erot ovat alueen keskiosassa (pohjois-eteläsuunnan suhteen) pienet ja virtausreitit suuntautuvat pääosin esiintymän keskialueella sijaitsevaan pumppauskaivoon. Selvästi pienempi osa paineellisen esiintymän kulkeutumisreiteistä suuntautuu merta kohti. Paineellisen osan virtausnopeudet alueen keskiosassa ovat pienet, sillä suotautuvan veden määrä rajoittavien kerrosten läpi orsivedestä paineelliseen osaan on GTK:n virtausmallin mukaan pieni. Esiintymän pohjoisreunalla kulkeutumisreitit suuntautuvat joko mereen tai pumppauskaivoon.

Kulkeutumismalli ilman rakenneselvityksen tietoja – avoimen datan malli

Vapaasti ladattavien paikkatietoaineistojen (Suomen ympäristökeskus, Maanmittauslaitos, GTK) avulla on mahdollista laatia ns. alustava pohjavesimalli, jolla voidaan laskea kulkeutumisreitit olettaen, että esiintymässä on vain yksi pohjavesikerros. Avoimen datan avulla ei ole mahdollista jakaa esiintymää orsivesikerrokseen ja paineelliseen osaan. Vapaasti ladattavien paikkatietoaineistojen perusteella laaditulla pohjavesimallilla lasketut kulkeutumisreitit on esitetty kuvassa 6-10. Pohjavesialueen eteläpuolella olevalle merialueelle suuntautuvat kulkeutumisreitit ovat hyvin samanlaiset sekä tarkemman mallin, että avoimeen dataan perustuvan mallin tuloksissa. Pohjavesialueen keskiosan MATTI-kohteilta avoimeen dataan perustuva malli arvioi kulkeutumisreittien päätepisteeksi joko merialueen tai vedenottamoalueen. Tarkemman mallin tuloksissa näiltä kohteilta reitit suuntautuvat orsivesikerroksessa etelään ja paineellisessa osassa keskiosan valtaosin alueen keskiosassa sijaitsevaan Etnan suojapumppauskaivoon.



Kuva 6-9. Hangan MATTI-kohteilta (punaiset neliöt) lähtevät virtausreitit orsivesikerroksessa (vas.) ja paineellisessa pohjavesivyöhykkeessä (oik.) käyttäen GTK:n laatimaa rakennemallia ja pohjavesimallia. Vedenottamoalue on merkitty karttaan sinisenä alueena (WaterHope 2019).



Kuva 6-10. Hangan MATTI-kohteilta (punaiset neliöt) lähtevät virtausreitit orsivesikerroksessa käyttäen ainoastaan avoimia paikkatietoaineistoja ja yhden kerroksen kalibroimatonta pohjavesimallia. Vedenottamoalue on merkitty karttaan sinisenä alueena (WaterHope 2019).

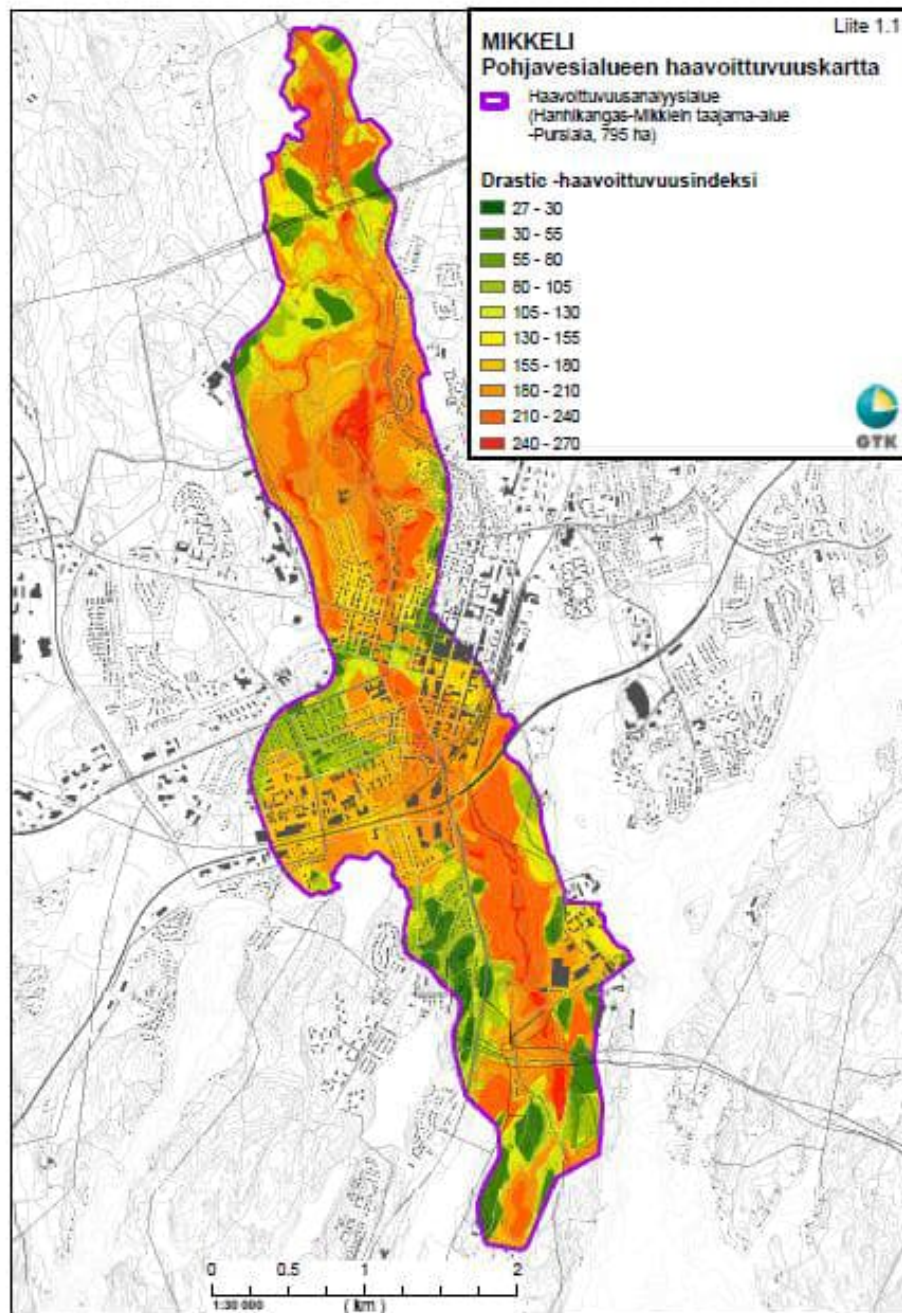
Avoimeen dataan perustuvilla malleilla voidaan saada alustavat arviot kulkeutumisreiteistä, mutta tarkempien ennusteiden laatiminen edellyttää pohjavesimallin kalibrointia mittaushavaintojen perusteella, sekä tarvittaessa orsivesikerroksen ja paineellisen osan käsittelyä erikseen.

6.5.3 Haavoittuvuusanalyysi

Mikkeli

Geologian tutkimuskeskus on laatinut Mikkelin kaupungin Hanhikankaan ja Pursialan pohjavesialueilla DRASTIC-haavoittuvuusanalyysikartan alkuvuodesta 2019 Etelä-Savon ELY-keskuksen tilaamana (kuva jäljempänä). DRASTIC-menetelmää kehitettiin ko. työn yhteydessä paremmin Suomen kvartaarialueiden hydrogeologisiin olosuhteisiin soveltuvaksi ja helppokäyttöisemmäksi. Erityisesti luokittelua tarkennettiin geologisten DRASTIC osatekijöiden A (=maaperä), S (=pintamaa) ja I (=vadoosi, pohjavedellä kyllästymätön, vyöhyke) osalta. Jatkossa, kokemuksen kertyessä, DRASTIC-menetelmää tullaan edelleen muokkaamaan toimivammaksi ja entistään paremmin Suomen geologisiin olosuhteisiin sopivaksi.

Haavoittuvuusindeksi Mikkeliissä sai arvoja välillä 27...270. Haavoittuvuusindeksin arvot edustivat haavoittuvuusluokkia erittäin alhaisesta erittäin korkeaan. Kuvassa esitetyt värisävyt kuvaavat suurenevaa haavoittuvuusriskiä vihreästä keltaisen ja oranssin kautta punaiseen. Kukin DRASTIC-ominaisuus (7 kpl) on ennalta luokiteltu 10 luokkaan ja kullakin ominaisuudella on painoarvokerroin yhdestä viiteen. Näistä seitsemästä ominaisuudesta painoarvoineen on yhdistetty kuvassa esitetty haavoittuvuusindeksikartta (Kuva 6-11 Kuva 6-11).

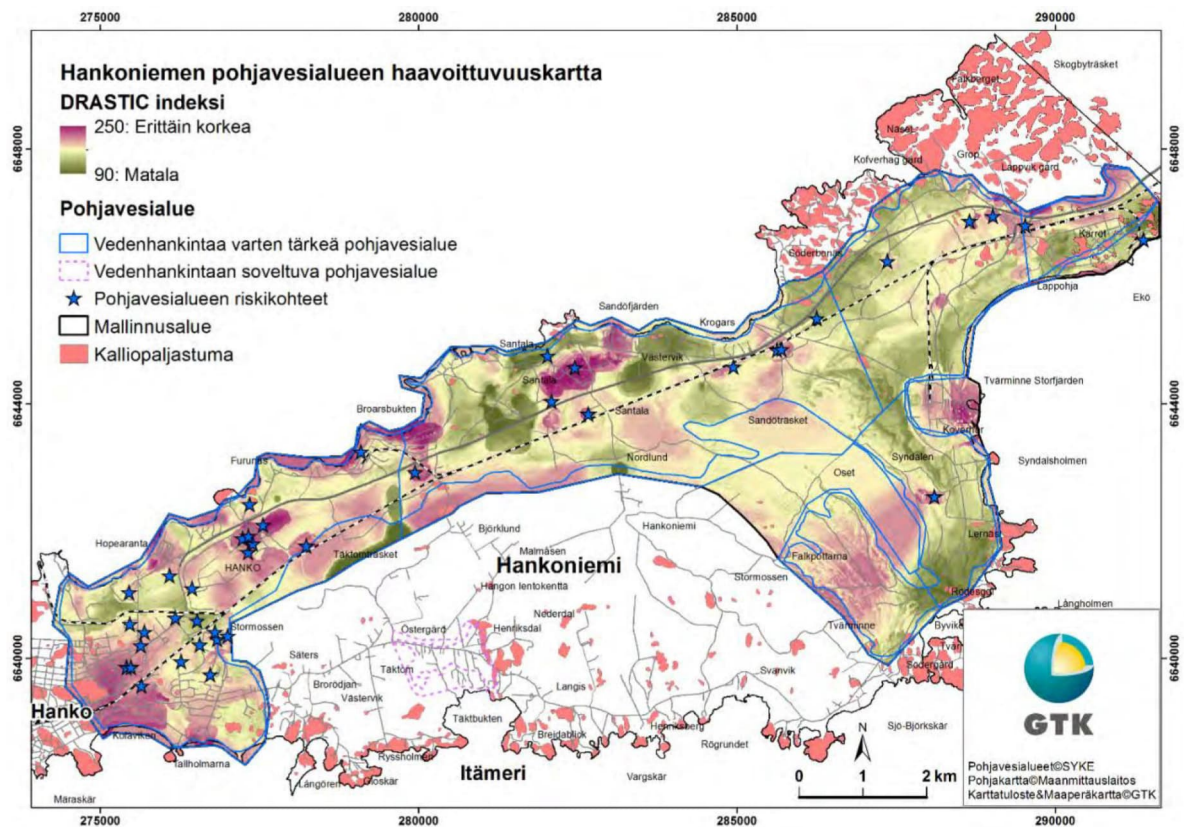


Kuva 6-11. Mikkelin pohjavesialueiden haavoittuvuuskartta.

Hanko

Geologian tutkimuskeskus on laatinut Hankoniemen pohjavesialueiden DRASTIC-haavoittuvuusanalyysikartan vuoden 2017 lopulla (Kuva 6-12). DRASTIC-menetelmää on kehitetty Suomen kvartaarialueiden hydrogeologisiin olosuhteisiin ja pohjavesiolosuhteisiin paremmin soveltuvaksi ja helppokäyttöiseksi. Hangon pohjavesialueen haavoittuvuuskartassa alue voi saada DRASTIC-indeksin arvon väliltä 90...250 niin, että 90 on matalin ja 250 korkein. Seuraavassa kuvassa näkyy havainnollisesti luontaisen haavoittuvuuden vaihtelut sekä riskikohteiden sijoittumisen.

Kukin DRASTIC-ominaisuus on Hangon pohjavesialueen osalta luokiteltu kymmeneen luokkaan, ja kukin ominaisuus saa laskennassa painoarvon välillä 2-5. Painoarvon 5 saa D (veden etäisyys maanpinnasta), S (pintamaa) ja I (pohjavedellä kyllästymättömän vyöhykkeen maalaji).



Kuva 6-12. Hankoniemen pohjavesialueiden DRASTIC-kartta, johon on merkitty myös MATTI-kohteet (Geologian tutkimuskeskus 2017).

7. POHDINTA

Suomessa sijaitsevat kemiallisesti huonossa tilassa olevat pohjavesialueet ovat keskenään hyvin erilaisia. Joistain pohjavesialueista on runsaasti tutkimustietoa ja niillä sijaitsee lukuisia päästölähteitä, toisaalta monien alueiden pohjavesiolosuhteita ei ole selvitetty seikkaperäisesti ja huonoon tilaan on voinut johtaa esimerkiksi vain tiesuolauksen johdosta noussut kloridipitoisuus. Pohjavesialueilla olevia mahdollisia päästölähteiden aiheuttamia riskejä ei ole aikaisemmin arvioitu keskenään ja kokonaisvaltaisesti itse pohjavesialueen ja muiden mahdollisten altistujien kannalta. Kohdentamalla riskienhallintatoimenpiteitä sellaisiin päästölähteisiin tai sellaisille kulkeutumisreiteille, joilla riskiä voidaan aktiivisen riskienhallinnan avulla pienentää eniten, voidaan toteuttaa kestävän kehityksen mukaista toimintatapaa, joka ottaa huomioon sekä ympäristön, ihmiset että talouden. Mikäli riskien arvottamiseen, ja erityisesti päätöksentekoon, osallistuvat osapuolet luottavat POAKORI-toimintamalliin, voidaan löytää uusia toimintatapoja koskien yhteisvastuullisuutta, riskienhallinnan kompensatiojärjestelmää ja toimenpiteiden riskiperusteista kohdentamista.

Pohjavesialueiden kokonaisvaltaista riskienhallintaa voidaan edistää myös sillä, että ympäristö- tai vesiluvan velvoittamien toimijoiden ja maaperän pilaantumista aiheuttaneiden toimijoiden tarkkailuvelvoitteet yhdistettäisiin nykyistä useammin yhteistarkkailuksi. Yhteistarkkailun avulla olisi mahdollista päästä nykyistä luotettavammin ja nopeammin käsiksi pohjaveden laadun tai pinnankorkeuden vaihteluihin, kun seuranta toteutettaisiin yhdenmukaisesti ja koko pohjavesialueen tuloksia tarkasteltaisiin kokonaisvaltaisemmin ja samanaikaisesti.

Ellei voimassa olevaa, luvussa 3.3 esiteltyä, yhteistarkkailuihin liittyvää sääntelyä muuteta esimerkiksi laajentamalla yhteistarkkailun soveltamisalaa myös ilmoituksenvaraisiin toimintoihin, tulee yhteistarkkailun laaja-alaisempi soveltaminen jatkossakin perustumaan kuntien, ELY-keskusten ja toiminnanharjoittajien tiiviiseen yhteistyöhön sekä vapaaehtoisuuteen. Lainsäädäntöä esitetään kehitettäväksi siten, että yhteistarkkailun ja yhteisen riskienhallinnan määrääminen olisi sujuvampaa.

Yhtenä yhteisvastuullisuutta lisäävänä keinona olisi eräänlainen öljysuojarahastoon verrattava, pohjavesien kunnostukseen painottava rahasto. Pohjaveden kunnostusrahastoa varten kerättäisiin pieni rahasto-osuus pohjavesialueen eri toimijoilta ja rahastoa käytettäisiin tarpeen mukaan kyseisellä pohjavesialueella pohjaveden kunnostukseen. Mahdollisen rahaston tarkoituksena ei kuitenkaan olisi mitätöidä yksittäisen toimijan vastuuta tapauksissa, joissa pilaantumista tapahtuu hänen toimintansa johdosta. Sen sijaan rahaston varoja voitaisiin käyttää sellaisissa tilanteissa, joissa tarvittavat riskienhallintatoimenpiteet sijoittuisivat pohjaveden virtausreiteille, jolla sijaitsee useita päästölähteitä aiheuttaen riskiä yhdelle tai useammalle altistujille.

8. SUOSITUKSET

POAKORI-toimintamallin toimivuutta suositellaan testattavaksi vähintään kolmella erityyppisellä pohjavesialueella. Arvottamisvaihetta [6] tulisi täydentää toimintamallille räätälöidyllä vuorovaikutteisella arvottamiskehikolla, jotta arvottaminen toteutuu eri pohjavesialueilla samoja viitekehyksiä noudattaen.

Jotta POAKORI-toimintamallin toteuttaminen onnistuisi jatkossa saumattomasti, olisi MATTI-järjestelmän kehittäminen suositeltavaa niin, että järjestelmään tallennettaisiin nykyistä järjestelmällisemmin tietoa MATTI-kohteiden mahdollisista tutkimuksista maaperän ja pohjaveden haitta-ainepitoisuuksista, haitta-ainemääristä, kunnostuksista, arvioita päästön suuruudesta ja päästöajankohdasta sekä mahdollisista maaperän jäännöspitoisuuksista. Myös POVET-järjestelmän kehittäminen olisi suositeltavaa etenkin pohjaveden laatutietojen siirron osalta niin, että tiedot laboratorioista saataisiin suorina siirtotiedostoina. Pohjavesien laatutietoja sisältävien tietokantojen sisältövaatimukset olisi hyvä yhtenäistää niin, että tietokannoista olisi helppo jalostaa esim. trendityypistä pitoisuustietoa helposti ja näyttää tätä tietoa esim. paikkatietomenetelmin ja näin saada mm. esityskelpoista dataa moneen päätöksenteon tarpeeseen.

DRASTIC-menetelmän jatkokehittäminen integroimalla menetelmään pohjaveden virtaussuunnat ja päästölähteiden sijainnit tarjoaa uuden toimintamallin monipilaantuneiden pohjavesialueiden riskienhallintaan. DRASTIC-indeksin perusteella laadittu haavoittuvuuskartta voisi toimia myös maankäytön suunnittelun ja Pelastuslaitosten toiminnan tukena haittoihin varautumisessa ja torjunnassa.

Osalla Suomen pohjavesialueista on tehty jopa vuosikymmenten ajan laaja-alaisia tutkimuksia ja mallinnuksia. Mikäli POAKORI-toimintamallia käytetään sellaisella kohteella, jolta on jo laadittu esimerkiksi pohjaveden virtausmalli, voidaan käyttää liitteessä 5 esitettyä menettelyä, jolloin virtausmalli voi olla hyödyksi jo päästö-altistuja -parien muodostuksessa. Myös avoimeen dataan pohjautuvalla kulkeutumismallinnuksella (ks. luku 6.5.2) oleellisimpiin päästölähteisiin voidaan mahdollisesti päästä kiinni nopeammin mm. yksittäisten pilaantuneeksi epäiltyjen kohteiden tutkimistarvetta arvioitaessa. Avoimeen dataan perustuvaa kulkeutumismallinnusta olisi suositeltavaa testata samalla, kun POAKORI-toimintamallin toimivuutta testataan erityyppisillä pohjavesialueilla. Kulkeutumismallin laadintaa on syytä suositella ja käyttöä tulisi edellyttää ympäristölupamenettelyssä riskipohjavesialueilla.

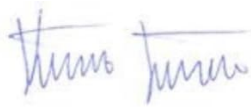
POAKORI-toimintamallin periaatteita soveltamalla voidaan myös priorisoida eri pima-kohteita valtakunnallisestikin. Tässä raportissa esitetty POAKORI-toimintamallin on liian raskas priorisointiin, mikäli kohteita on satoja tai tuhansia, mutta avoimen datan käyttö ja päästö-altistuja -parien muodostaminen voisi tuoda käyttökelpoista tietoa myös luokiteltujen pohjavesialueiden ulkopuolella.

Ilmastomuutoksen vaikutukset on syytä ottaa huomioon pohjavesialueiden riskienhallinnassa, teknisissä ratkaisuissa sekä muutoksiin varautumisessa ja sopeutumisessa. Pohjaveden ja pintaveden välinen vuorovaikutus tulee ilmastomuutoksen edetessä lisääntymään. Ilmastomuutoksen pohjavesivaikutukset Suomessa vaikuttavat pääosin niin, että kevät- ja talviaikaan tulvien mahdollisuus kasvaa ja kesän ja syksyn aikana kuivan ajanjakson pidentyessä haihdunta lisääntyy, eikä pohjavettä pääse muodostumaan riittävästi. Rannikkoalueilla merenpinta saattaa vastaavasti nousta pohjaveden pintaa korkeammalle, jolloin gradientin muuttuessa merivettä voi päästä suotautumaan pohjavesimuodostumaan.

POAKORI-toimintamallia on mahdollista kehittää jatkossa niin, että se huomioi myös ilmastonmuutoksen vaikutuksille herkät altistujat ja gradientin muutoksiin vaikuttavat tekijät. Tätä jatkokehitystyötä varten tulisi Suomessa toteuttaa tulvariskialueilla olevien vedenottamokaivojen kartoitus ja listata sellaiset pohjavesialueet, joilla pohjavesialueen sijainti suhteessa Itämereen muodostaa riskin virtausolosuhteiden muuttumiselle.

Maankäytön huolellisella, POAKORI-toimintamallia hyödyntävällä, suunnittelulla voidaan vaikuttaa pohjaveden muodostumista ja mahdollista kuivuutta ja suuria gradientin muutoksia koskeviin riskeihin turvaamalla riittävä pohjaveden muodostuminen välttämällä laajojen, vettä läpäisemättömien, alueiden rakentamista pohjavesialueilla.

Espoossa 13.3.2020



Kimmo Järvinen
kemisti



Liisa Koivulehto
hydrogeologi

LÄHTEET

Geologian tutkimuskeskus, 2017, Haavoittuvuusanalyysi Hankoniemen pohjavesialueella, tutkimusraportti.

Geologian tutkimuskeskus, 2018, Geological model of the Hanko aquifer, tutkimusraportti.

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004)

Pohjavesidirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/118/EY pohjaveden suojelusta pilaantumiselta ja huononemiselta

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä (1040/2006)

Vesipuidedirektiivi, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista

WaterHope, 2018-2019, POAKORI: Mikkelin ja Hangon alueiden pohjavesimallit ja haitallisten yhdisteiden kulkeutumisen mallinnus.

Ympäristöhallinnon julkaisu: Ohje pohjaveden määrällisen ja kemiallisen tilan luokitteluun – päivitetty arviointiperusteet, 23.8.2012.

Ympäristöministeriö, 2011, Vesienhoidon toteutusohjelma 2010-2015 – Valtioneuvoston periaatepäätös.

Ympäristöministeriön raportteja 19/2018: Vesiympäristölle vaarallisia ja haitallisia aineita koskevan lainsäädännön soveltaminen.

LIITE 1
SEMINAARIT JA TAPAHTUMAT, JOISSA HANKETTA ON ESITELTY

Ajankohta	Julkaisu, tapahtuma tai tiedote
5.10.2017	Mikkelin pohjavesien hoidon työryhmä
18.-19.10.2017	Ympäristöhallinnon PIMA-päivät
1.11.2017	Uutinen maaperakuntoon.fi -sivulle
8.11.2017	ELY-keskus, Uutiskirje 5/2017
13.11.2017	Ympäristö ja Terveys-lehti
3.5.2018	Ympäristöhallinnon pohjavesineuvottelupäivät
5.10.2018	Ympäristöhallinnon PIMA-päivät
23.11.2018	Vesien suojeluyhdistyksen liiton päivät
14.1.2019	POAKORI-työpaja
20.-21.3.2019	Mutku-päivät
9.4.2019	Mikkelin pohjavesien suojelun yhteistyöryhmän kokous
22.5.2019	Aquaconsoil 2019, Belgia
5.11.2019	Maaperä kuntoon- ja JASKA-päivät

Pohjavettä pilaavat aineet ja niiden ympäristönlautunormit¹

Aine	Pohjaveden ympäristönlautunormi	Yksikkö
1. Nitraatit	50	mg/l
2. Torjunta-aineiden vaikuttavat aineet ja niiden (merkitykselliset) aineenvaihdunta-, hajoamis- tai reaktiotuotteet	0,1	µg/l
	0,5 yhteensä ²	µg/l
3. Bentseeni	0.5	µg/l
4. Tolueeni	12	µg/l
5. Etylibentseeni	1	µg/l
6. Ksyleenit (l orto-, meta- ja paraksyleeni)	10	µg/l
7. Antraseeni	60	µg/l
8. Naftaleeni	1.3	µg/l
9. Bentso(a)pyreeni	0.005	µg/l
10. l Bentso(b)fluoranteeni, bentso(k)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni ja indeno-(1,2,3-cd)-pyreeni	0.05	µg/l
11. PCB-yhdisteet (Σ kongeneerit 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180)	0.015	µg/l
12. ΣTriklloorieteeni ja tetrakloorieteeni	5	µg/l
13. 1,2-dikloorieteeni	25	µg/l
14. 1,2-dikloorietaani	1.5	µg/l
15. Dikloorimetaani (metyleenikloridi)	10	µg/l
16. Vinyylkloridi (kloorieteeni)	0.15	µg/l
17. Hiilitetrakloridi	2	µg/l
18. Kloroformi (trikloorimetaani)	100	µg/l
19. Klooribentseeni	3	µg/l
20. 1,2-diklooribentseeni	0.3	µg/l
21. 1,4-diklooribentseeni	0.1	µg/l
22. Trikllooribentseeni (Σ1,2,3-, 1,2,4- ja 1,3,5- triklooribentseeni)	2.5	µg/l
23. Pentaklooribentseeni	1.2	µg/l
24. Heksaklooribentseeni	0.024	µg/l
25. Monokloorifenolit	0.05	µg/l
26. Dikloorifenolit	2.7	µg/l
27. ΣTri-, tetra- ja pentakloorifenoli	5	µg/l
28. MTBE (metyyli-tert-butyylieetteri)	7.5	µg/l
29. TAME (tert-amyyylimetyylieetteri)	60	µg/l
30. Öljyjakeet (C10-40)	50	µg/l
31. Elohopea	0.06	µg/l

32. Kadmium	0.4	µg/l
33. Koboltti	2	µg/l
34. Kromi	10	µg/l
35. Kupari	20	µg/l
36. Lyijy	5	µg/l
37. Nikkeli	10	µg/l
38. Sinkki	60	µg/l
39. Antimoni	2.5	µg/l
40. Arseeni	5	µg/l
41. Ammonium NH ₄ ⁺	0.25 (NH ₄ ⁺)	mg/l
tai Ammoniumtyppi NH ₄ N	0.20 (NH ₄ N)	mg/l
42. Kloridi	25	mg/l
43. Sulfaatti	150	mg/l

¹ *Pohjaveden ympäristölaatunormilla* tarkoitetaan tässä asetuksessa sekä yhteisön tasolla vahvistettua pilaavan aineen, pilaavien aineiden ryhmän tai pilaantumisen indikaattorin pitoisuutta pohjavedessä ilmaistuna laatunormina, jota ihmisen terveyden tai ympäristön suojelemiseksi ei saa ylittää sekä kansallisesti vahvistettua direktiivin 2006/118/EY artikkelissa 2 kohdassa 2 tarkoitettua raja-arvoa.

²Yhteensä tarkoittaa kaikkien seurannassa havaittujen ja mitattujen yksittäisten torjunta-aineiden summaa mukaan luettuna niiden merkitykselliset aineenvaihdunta-, hajoamis- tai reaktiotuotteet.

**LIITE 3
POAKORI-RISKILUOKKATAULUKKO**

	Tarkastelukohde	Yksikkö	Painotus	Kohde 1	Kohde 2	Kohde ...
Lähde	Tunnistetiedot					
	MATTI Id	[luku]				
	Nimi / Osoite	[teksti]				
	Toimialaluokitus	[tol]				
	Kiinteistönro	[teksti]				
	Sijainti	tm35fin]				
	Maanpinnan korkeus	[N2000]				
Kulkeutuminen	Kulkeutuminen pohjaveteen					
	Haitta-aine	[Kd/Koc]	1			
	Päästön määrä	[kg]	1			
	Etäisyys pohjaveteen	[m]	1			
	Pohjaveden muodostuminen	[mm/v]	1			
	Pintamaan tyyppi	[teksti]	1			
	Maanpinnan kaltevuus	[%]	1			
	Vajovesivyyhykkeen maalaji	[teksti]	1			
	Kulkeutuminen altistujalle					
	Hydraulinen johtavuus	[k]	1			
	Pohjavesivyyhykkeen maalaji	[teksti]	1			
	Virtauseste	[kee]	1			
	Virtaussuunta	[deg]	1			
altistus	Altistuksen vaikuttavuus					
	Altistujan tyyppi	[teksti]	1			
	Altistujien lukumäärä	[luku]	1			
Riski	POAKORI riskiluokitus					
	Kulkeutuminen pohjaveteen	[luku]	1	0	0	0
	Kulkeutuminen altistujalle	[luku]	1	0	0	0
	Altistuksen vaikuttavuus	[luku]	1	0	0	0
	POAKORI riskiluokitus	[luku]		ei pohjavesiriskiä	ei pohjavesiriskiä	ei pohjavesiriskiä

LIITE 4 POHJAVEDEN RISKIENHALLINTATOIMENPITEET

1. TOIMENPITEET PÄÄSTÖLÄHTEESSÄ

Pilaantuneen maan puhdistus

Maaperän kunnostus tulee useimmiten ajankohtaiseksi silloin, kun alueen käyttötarkoitus on muuttumassa tai maan pilaantumisesta on todettu aiheutuvan esimerkiksi välitön pohjaveden pilaantumisriski tai haitta ympäristön asukkaiden terveydelle.

Pilaantuneen maan puhdistamiseksi on kolme aktiivista päävaihtoehtoa:

- massanvaihto, jossa haitta-aineet poistetaan kaivamalla ja kaivanto täytetään puhtailla mailla. Pohjaveden pilaantumisriskin poistamiseksi massanvaihto on nopea ja luotettava, jos se ulotetaan riittävän laajalle, mikä usein johtaa korkeisiin kustannuksiin
- eristäminen, jossa haitta-aineita ei poisteta, vaan ne eristetään pysty- ja/tai vaakaeristysrakenteilla siten, että eivät pääse kulkeutumaan pohjaveteen. Eristäminen edellyttää pitkäaikaista ylläpitoa.
- erilaiset in situ -menetelmät, joissa haitta-aineet hajotetaan maaperässä tai poistetaan huokosilman mukana. Lähes kaikkien haitta-aineiden käsittely on mahdollista eri menetelmin.

2. TOIMENPITEET KULKEUTUMISREITILLÄ

Tarkkailu

Pohjaveden laadun ja pinnankorkeuksien tarkkailun tavoitteena on seurata muutoksia laadussa ja virtausolosuhteissa ajan funktiona. Riskinhallintatoimenpiteenä se on ennakoiva. Tarkkailun avulla voidaan havaita pitoisuuksien trendit ja mahdolliset vuodenaikojen vaikutukset pohjavesiolosuhteisiin.

Luontainen (biologinen) puhdistus ja tehostettu biologinen puhdistus

Biologinen tai biologisen puhdistuksen soveltaminen on teknisesti mahdollista orgaanisille, biologisesti hajoaville yhdisteille, kuten PAH-yhdisteille ja kloorifenoleille. Menetelmä ei sovi epäorgaanisille haitta-aineille. Menetelmän huomattavana heikkoutena on kuitenkin prosessin hitaus etenkin PAH-yhdisteiden ja kloorifenoleiden osalta, jotka ovat rakenteeltaan kestävämpiä kuin esim. öljyhiilivedyt. PAH-yhdisteiden vesiliukoisuus vaihtelee myös niukkaliukoisesta erittäin hyvin vesiliukoiseen, mikä voi aiheuttaa suuremman riskin altistujille.

Luontaista puhdistumista voidaan tehostaa ilmastuksen tai ravinteiden lisäyksen avulla, jolloin puhutaan tehostetusta biologisesta puhdistuksesta. Tällöin tarkoituksena on optimoida haitta-aineiden luontaista biologista hajoamista.

Suojapumppaus

Suojapumppauksella pohjaveden virtaus pyritään hidastamaan tai katkaisemaan pohjaveden virtausreitti päästölähteeltä mahdollisille altistujille pumppaamalla vettä virtausreitillä sijaitsevista suojapumppauskaivoista. Pumpattu haitta-ainepitoinen vesi voidaan käsitellä alueelle sijoitettavassa laitteistossa tai vesi voidaan johtaa jätevedenpuhdistamolle haitta-aineista ja pitoisuuksista riippuen.

Reaktiiviset seinämät

Menetelmä perustuu pohjaveden virtaamiseen kohtisuoraan läpi reaktiivisen seinämän, jossa fysikaaliset, kemialliset ja/tai biologiset prosessit poistavat tai hajottavat pohjaveteen liuennutta ja/tai pohjaveden mukana kulkeutuvia haitta-aineita. Orgaanisista haitta-aineista menetelmä soveltuu esimerkiksi polttonesteille ja klooratuille liuottimille ja epäorgaanisista liukoissa muodossa oleville raskasmetalleille (kuten Pb ja Cr). Menetelmän käyttö edellyttää hydrogeologisten olosuhteiden tarkkaa selvittämistä ja tuntemista. Käsittelyaika on pitkä ja reaktiivista materiaalia tulee lisätä aika ajoin.

Pilaantuneen pohjaveden pumppaus ja käsittely

Mikäli alueen hydrogeologiset olosuhteet tunnetaan hyvin, voidaan pumppaus ja käsittely -menetelmää (pump & treat) soveltaa kohteeseen. Menetelmä eroaa suojapumppauksesta siten, että sillä pyritään poistamaan haitta-aineita enemmän kuin vain pumppausalueen läpivirtaavassa vedessä on liuenneena. Lisäksi pumpattava pohjavesi voidaan käsittelyn jälkeen palauttaa puhdistettuna takaisin pohjavesimuodostumaan. Varsinainen käsittelymenetelmä valitaan haitta-aineen tai haitta-aineiden mukaan. Käsittelyaika on pitkä, sillä pohjaveden puhdistumista rajoittaa diffuusio ja kulkeutuminen päästölähteeltä.

Pohjaveden virtauksen katkaiseminen (pato/pystyeristys tai vesiverho)

Eristämisen myötä haitta-aineen jatkuva kulkeutuminen kohti altistujaa pysähtyy. Eristäminen ei kuitenkaan poista haitta-aineita pohjavedestä, riski on edelleen olemassa esim. rakenteiden vaurioituessa. Virtauksen katkaiseminen luotettavasti edellyttää tarkkoja hydrogeologisia tietoja. Menetelmä ei sovi kovin hyvin helposti kulkeutuville haitta-aineille.

3. TOIMENPITEET ALTISTUMISKOHTEESSA (VEDENOTTAMO)

Pohjaveden käytön rajoittaminen

Mikäli arvioidaan, että pohjaveden käytöstä aiheutuu riski käyttäjälle, tai jos voimakas pohjaveden pumppaaminen aiheuttaa riskien kannalta epäsuotuisia muutoksia pohjaveden virtaukselle (esim. nopeuttamalla haitta-aineiden kulkeutumista), voidaan pohjaveden käyttöä rajoittaa riskinhallintatoimenpiteenä.

Veden puhdistamisen tehostaminen vedenottamolla

Raakaveden käsittelyä voidaan perinteisten käsittelymenetelmien, kuten alkaloinnin, raudan- ja mangaanipoiston sekä desinfioinnin, lisäksi tehostaa vedenottamolla ennen vesijohtoverkoston johtamista. Valittavaan vedenkäsittelymenetelmään vaikuttaa raakaveden laatu ja määrä.

Korvaavan raakavesilähteen järjestäminen tai tilapäisen vedenjakelun järjestäminen

Mikäli vedenotto nykyiseltä vedenottamolta vaikeutuu huomattavasti, tai raakaveden laatu ei ole haitta-ainemäärän tai suuren volyymin vuoksi puhdistettavissa, voidaan järjestää korvaava raakavesilähde esimerkiksi tutkimalla uusi kaivonpaikka tai hyödyntämällä raakavedeksi soveltuvaa pintavesiesiintymää.

Jos haitta-aineiden kulkeutuvat ”yllättäen” vedenottamolle eikä korvaavaa vettä tai tehostettua vedenpuhdistusta pystytä järjestämään, voidaan järjestää tilapäinen juomaveden jakelu.