VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Timo Ravantti

AHVENISTON TEKOPOHJAVESILAITOKSEN IMEYTYKSEN TEHOSTAMINEN

Tekniikan yksikkö
2015

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristöteknologia

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Timo Ravantti
Opinnäytetyön nimi	Ahveniston tekopohjavesilaitoksen imeytyksen tehostaminen
Vuosi	2015
Kieli	suomi
Sivumäärä	93 + 20 liitettä
Ohjaaja	Pekka Stén

Hämeenlinnan kaupungin juomaveden hankinta perustuu pitkälti tekopohjaveden muodostukseen Ahveniston tekopohjavesilaitoksella. Tämän opinnäytetyön aiheena on tuon laitoksen imeytyksen tehostaminen. Tarkoituksena on lisätä pohjavesiesiintymän antoisuutta luonnollisen pohjaveden muodostumisen vähentymisen ja kasvavan vedentarpeen takia.

Ahveniston tekopohjavesilaitoksella on imeytetty järvivettä harjun maaperään vuodesta 1976 asti. Imeyttämistekniikkana on käytetty allas- ja sadetusimeytystä, mutta tässä opinnäytetyössä on tehty suunnitelma uudesta imeytysalueesta, jossa imeytysmenetelmänä olisi todennäköisesti kaivoimeytys. Tällä uudella tekniikalla pyritään vesi imeyttämään maaperään tehokkaasti, samalla välttäen perinteisille imeytysmenetelmille tyypilliset ongelmat. Uudelta imeytysalueelta pohjaveden virtaussuunta olisi nykyisestä päinvastaiseen suuntaan, tuoden tekopohjavettä myös toisen vesilaitoksen tuotantokaivoille.

Työ on suunnitelma uuden imeytysalueen perustamisesta ja vanhan imeytysalueen kehittämisestä. Koekuoppia kaivamalla selvitettiin sopivaa imeytysaluetta. Paikan löydyttyä selvitettiin mittausten avulla ja vanhojen suunnitelmien perusteella mahdollisuudet veden johtamisesta alueelle. Putkivirtauslaskelmilla tarkennettiin virtaisiko vesi alueelle nykyisellä painovoimaisella järjestelmällä vai täytyisikö vesi pumpata.

Avainsanat: Tekopohjavesi, kaivoimeytys, imeyttäminen, pohjavesi, pohjavedenpinta

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Ympäristöteknologia

ABSTRACT

Author	Timo Ravantti
Title	Enhancement of Ahvenisto Artificial Groundwater Recharge Area
Year	2015
Language	Finnish
Pages	93 + 20 Appendices
Name of Supervisor	Pekka Stén

The City of Hämeenlinna acquires its drinking water from aquifers which are being recharged with artificial groundwater. The aim of this project was to enhance the recharge to compensate the decrease of natural recharge of aquifers and to meet the rising water demand.

The artificial recharge of Ahvenisto esker using lake water began in 1976. The infiltration methods so far have been infiltration basins and sprinkling infiltration. However, in this project a plan of a new infiltration area was made where the most likely infiltration method would be well injection. The purpose of this new method is to infiltrate the water efficiently while avoiding the environmental damages, common to the more traditional infiltration methods. The flow direction of groundwater from the new infiltration area would be different, enabling another well area to benefit from artificial groundwater.

This project works as a plan of foundation of the new infiltration area and development of the old. New infiltration area was searched by digging test holes in the esker. Once a suitable area was found landscape measurements were conducted and old construction plans were inspected to determine the possibilities of getting infiltration water to the new area. Pipe flow calculations were used to make sure would water flow gravitationally to the new area or would it have to be pumped.

Keywords: Artificial recharge of aquifer, infiltration, groundwater, well injection, groundwater table

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ALKUSANAT ... 4
SANASTO ... 5
1 JOHDANTO ... 6
1.1 Toimeksiantaja ... 6
1.2 Työn tarkoitus ... 6
2 TEKOPOHJAVESI ... 8
2.1 Tekopohjaveden muodostaminen ... 8
2.1.1 Periaate ... 8
2.1.2 Ongelmat ... 10
2.2 Muodostamisen lähtökohdat ... 11
2.2.1 Imeytysvesi ... 11
2.2.2 Esikäsittely ... 15
2.3 Imeytysmenetelmät ... 17
2.3.1 Allasimeytys ... 17
2.3.2 Sadetusimeytys ... 19
2.3.3 Kaivoimeytys ... 21
2.3.4 Rantaimeytys ... 25
2.4 Tekopohjaveden muodostuksen prosessit ... 27
2.4.1 Biohajoaminen ... 27
2.4.2 (Ad)sorptio ... 29
2.4.3 Ioninvaihto ... 30
2.4.4 Liukeneminen & saostuminen ... 31
2.4.5 Suotautuminen ... 34
2.5 Tekopohjavesi Suomessa ... 34
2.6 Tekopohjavesi muissa maissa ... 36
2.6.1 Keski-Eurooppa ... 36
2.6.2 Kuivat maat ... 37
3 AHVENISTON TEKOPOHJAVESILAITOS ... 39

3.1 Varhaiset vaiheet ... 39
3.2 Pohjavedestä tekopohjaveteen ... 40
3.3 Tekopohjavesitutkimusten aika ... 43
3.3.1 VIVA-hanke ... 43
3.3.2 Virtausmallinnus ... 45
3.3.3 TEMU-hanke ... 47
3.4 Myöhempien aikojen tapahtumat ... 51
3.4.1 Pohjavesien suojelusuunnitelma ... 51
3.4.2 Hattelmalanharjun pohjavesiesuojaus ... 53
3.4.3 Isotooppitutkimus ... 54
3.5 Harjujen maaperätutkimus ... 55
3.6 Nykyinen imeytysjärjestelmä ... 55
3.6.1 Imeytysvesi ... 55
3.6.2 Katiskosken pato ... 57
3.6.3 Imeytysalue ... 59
4 TEKOPOHJAVEDEN IMEYTYKSEN KEHITTÄMINEN ... 60
4.1 Lähtökohdat ... 60
4.2 Uusi imeytysalue ... 63
4.3 Mittaus & kartoitus ... 67
4.3.1 Vanhan imeytysjärjestelmän kartoitus ... 67
4.3.2 Uuden raakavesiputken kartoitus ... 68
4.4 Putken suunnittelu ... 69
4.4.1 Reitti ... 69
4.4.2 Painehäviöt ... 70
4.4.3 Pumppaus ... 74
4.4.4 Imeytysmenetelmä ... 80
4.5 Pintakuorman mittaus ... 82
4.5.1 Magneettinen virtausmittari ... 83
4.5.2 Ultraääninen virtausmittari ... 84
4.5.3 Siivikkomittari ... 85
4.5.4 Mittarien sijoittelu ... 85

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA 87
LÄHTEET 89
LIITTEET 94

ALKUSANAT

Sain runsaasti apua opinnäytetyötäni tehdessä. Haluaisin erityisesti kiittää:

Pekka Stèniä opinnäytetyöni hienosta ohjaamisesta,

Harry Mannista rautaisen ammattitaitonsa ja kokemuksensa levittämisestä.

Timo Heinosta neuvoista sekä mahdollisuudesta tehdä opinnäyte mieluisesta aiheesta,

sekä tietenkin koko HS-Veden väkeä monipuolisesta avunannosta.

Olkoon kaivonne aina täynnä vettä!

28.5.2015 Hämeenlinnassa Timo Ravantti

SANASTO

TOC	Total organic carbon eli orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus.
DOC	Dissolved organic carbon eli liuenneen orgaanisen hiilen pitoisuus. Liuennut hiili on yleisesti määritetty kooltaan alle 0,45 µm.
POC	Particulate organic carbon eli hiukkaskokoinen orgaanisen hiilen pitoisuus. On yleisesti määritetty kooltaan yli 0,45 µm.
NOM	Natural organic matter eli luonnollinen orgaaninen aines
Imeytysvesi	Tätä sanaa käytetään ilmeisesti vain tässä opinnäytetyössä. Sillä tarkoitetaan imeytykseen otettua vettä, joka ei ole vielä imeytynyt. Yleensä tätä kutsutaan vain raakavedeksi.
Vajovesi	Vesi, joka on imeytynyt maaperään, mutta joka ei ole vielä saavuttanut pohjavesikerrosta.
Pohjavesi	Vesi, joka on täysin täyttänyt maaperän huokostilavuuden.
Tekopohjavesi	Sitä imeytysvettä, joka on imeytynyt maaperään ja sekoittunut pohjaveteen.
Raakavesi	Tässä opinnäytetyössä tällä tarkoitetaan vedenottokaivoista saatua, laitoksen varsinaiseen prosessiin tulevaa vettä.
Huokoisuus	Maapartikkelien väliin jäävä tyhjä tila, joka voi täyttyä esimerkiksi pohjavedellä.

1 JOHDANTO

1.1 Toimeksiantaja

HS-Vesi eli Hämeenlinnan Seudun Vesi on Kanta-Hämeen alueella toimiva yksityinen vesihuoltoyhtiö, jonka omistaa Hämeenlinnan, Hattulan ja Akaan kunnat. Vuoteen 2001 asti oli vesihuolto Hämeenlinnan kaupungin vesilaitoksen hoidettavana ja Hämeenlinnan ympärillä olevissa kunnissa oli omat vesihuoltoyhtiönsä. HS-Vesi kuitenkin yhdisti alueen pienemmät vesihuollon toimijat 2000-luvulla, viimeisimpänä Akaa vuonna 2012. HS-Veden toiminta-alue on kuvattu liitteessä 1.

HS-Vesi huolehtii omalla toimialueellaan veden hankinnasta, sen käsittelystä ja jakamisesta sekä jäteveden viemäröinnistä ja puhdistamisesta. Jätevedenpuhdistamoita on Lammilla, Toijalassa ja Hämeenlinnassa, jossa sijaitsee Paroisten keskuspuhdistamo. Talousvettä tuotetaan pohjavedestä 12 laitoksella, jotka sijaitsevat eri puolella toimialuetta. Tämän opinnäytetyön kannalta tärkeimmät ovat Ahvenisto ja Kylmälahti Pohjaveden luonnollinen antoisuus ei riitä tyydyttämään kaikkea vedentarvetta, siksi HS-Vesi muodostaa myös tekopohjavettä Ahvenistonharjulla.

1.2 Työn tarkoitus

Työn tarkoituksena on Ahveniston tekopohjavesilaitoksen kehittäminen ja tekopohjaveden muodostuksen tehostaminen vastaamaan kasvavaa vedentarvetta kahdella vesilaitoksella. Hämeenlinnan kaupunki ja osa lähiseutua ovat vedensaanniltaan riippuvaisia Ahveniston ja Kylmälahden vesilaitoksilta lähtevästä vedestä. Nämä laitokset ovat puolestaan enemmän tai vähemmän riippuvaisia tekopohjaveden muodostuksesta Ahveniston imeytysalueella.

Kun pintavettä imeytetään maaperään, sekoittuu se luonnollisen pohjaveden kanssa, jolloin muodostuu tekopohjavettä. Hämeenlinnassa tätä tapahtuu Ahveniston

tekopohjavesilaitoksella, Ahvenistonharjulla. Vettä imeytetään pitkittäisharjussa olevaan pohjavesiesiintymään ja parannetaan näin sen luonnollista antoisuutta. Tekopohjavesi puhdistuu samalla biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten prosessien myötä.

Imeytysalue on kahden vesilaitoksen, Ahveniston ja Kylmälahden välissä. Näiden laitosten kaivoilla tekopohjavesi otetaan talteen, minkä jälkeen vesi käsitellään laitoksella ja johdetaan käyttäjille. Pohjaveden luonnollinen muodostuminen on vähentynyt pohjavesisuojauksen harmillisena seurauksena. Samaan aikaan vedentarve Hämeenlinnassa on kasvanut, sillä vettä on alettu joulukuussa 2014 viemään uutta siirtoputkea pitkin Hattulan ja Iittalan kautta Toijalaan. Näistä syistä pohjavesiesiintymän antoisuutta täytyy lisätä hyödyntämällä Ahveniston tekopohjavesilaitoksen toista mahdollista imeytyssuuntaa, kohti Kylmälahden vesilaitosta. Samalla varaudutaan riskitilanteeseen, jossa Ahveniston vesilaitos on poissa käytöstä.

2 TEKOPOHJAVESI

Talousveden valmistukseen käytettävän raakaveden lähteestä on käyty keskustelua Suomessa aivan vesihuollon alkuajoista lähtien aina nykypäivään saakka. Pintavesi on yksi vaihtoehto. Sen etuna on runsas saatavuus joista ja Suomen lukuisista järvistä, jotka ovat helposti ihmisen ulottuvilla. Pintavedet sisältävät Suomessa luontaisesti humusta, ovat lämpötilaltaan epävakaita ja voivat olla saastuneita muun muassa jätevesien takia. Näin ollen pintaveden puhdistusprosessi on varsin monimutkainen. (Katko 2013, 49)

Toinen raakavedenlähde on pohjavesi, joka on maan alla suojassa epäpuhtauksilta ja ihmisen katseelta. Merkittävimmät pohjavesiesiintymät löytyvät sora- ja hiekkamuodostumista, joita Suomessa ovat lähinnä harjut. Nämä muodostumat eivät välttämättä aina sijaitse lähellä käyttäjiä, mikä onkin pohjaveden yksi huono puoli. Pohjavesi sisältää Suomessa usein rautaa ja mangaania ja paikallisissa tapauksissa arseenia ja radonia. Rapakivialueiden pohjavesissä, kuten Kymenlaakson seudulla, esiintyy yleisesti myös fluoria (Mälkki 1999, 117).

Pohjavesi katsotaan lähtökohtaisesti yleensä puhtaammaksi raakavedenlähteeksi, mutta päästessään pilaantumaan, on sitä hanakala enää puhdistaa. (Katko 2013, 48–50,) Kysymykseen kumpi on parempi raakavedenlähde, ei ole kuitenkaan yksiselitteistä oikeaa vastausta (Katko 2013, 57–58). Pinta- ja pohjavesi voidaan kuitenkin yhdistää toisiinsa tavalla, jota kutsutaan tekopohjaveden muodostamiseksi.

2.1 Tekopohjaveden muodostaminen

2.1.1 Periaate

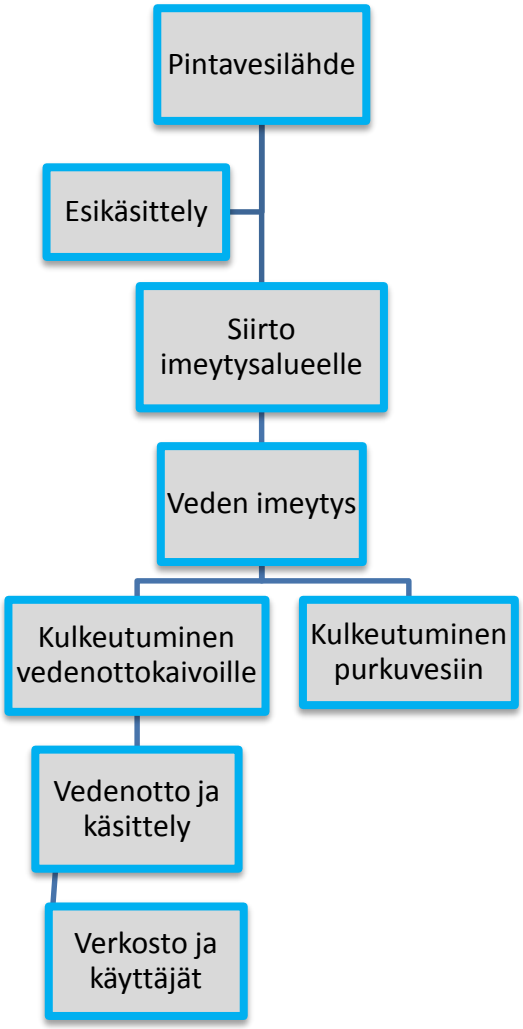
Tekopohjavedenmuodostuksessa vettä imeytetään keinotekoisesti, Suomessa yleensä metsämaaperään. Tavoitteena on saada pintavedestä imeytyksen avulla luontaisen pohjaveden kaltaista, jota muodostuu sadeveden imeytyessä maaperään. Tällä tavalla pyritään välttämään kemiallista vedenkäsittelyä ja onnistues-

saan tekopohjavedenmuodostus on Suomessa yksinkertaista ja edullista. (Helmisaari, Illmer, Hatva, Lindroos, Miettinen, Pääkkönen, Reijonen & Mäenpää 2003, 9–11)

Kuvio 1 esittää tekopohjaveden muodostuksen periaatekaaviota. Parhaimmissa tapauksissa veden imeytyminen ja kulkeutuminen riittävät veden puhdistamiseksi juomakelpoiseksi. Tämän jälkeen vesi joudutaan yleensä kuitenkin käsittelemään verkostoa varten.

Tekopohjaveden muodostuksella pohjaveden määrää lisätään, jolloin pohjavesiesiintymän tai sen osan antoisuus voi kasvaa jopa yli kymmenkertaiseksi. Suomessa ja yleisesti Fennoskandian alueella tekopohjavedenmuodostukseen soveltuvia alueita ovat harjut ja reunamuodostumat, joiden vedenjohtokyky on suuri. (Mälkki 1999, 163–165).

Maaperällä on kyky puhdistaa sen läpi imeytyvää vettä erilaisten fysikaalisten-biologisten ja kemiallisten prosessien avulla, jotka tapahtuvat koko matkalla pintakerroksista vajovesivyöhykkeen läpi pohjaveteen. Tekopohjaveden muodostaminen muuttaa maaperän luonnollisia pohjavedenmuodostumisprosesseja vastaamaan uutta imeytettävää pintavettä, joka eroaa sekä laadultaan että määrältään luonnollisesta. Hyvä tekopohjavesi muistuttaa kemiallisesta koostumukseltaan mahdollisimman paljon luontaista pohjavettä, mutta eroa näiden kahden välillä kuitenkin yleensä on. (Helmisaari ym. 2003, 9, 192)



Kuvio 1. Matka pintavedestä tekopohjaveden ja raakavedenkautta talousvedeksi.

2.1.2 Ongelmat

Tekopohjaveden muodostaminen ei ole kuitenkaan täysin ongelmatonta. Imeytysveden lähteenä käytetty pintavesi voi pilaantua ja sinilevät eli syanobakteerit, voivat aiheuttaa ongelmia. Huonolaatuisella imeytysvedellä voidaan pahimmassa tapauksessa pilata pohjavesiesiintymä. Jokainen tekopohjavesialue ja sen käyttämä imeytysvesi on erilainen, joten ei ole olemassa yhtä ohjenuoraa miten tekopohjavesilaitoksen toiminta saadaan onnistumaan. (Helmisaari ym. 2003; Hakoniemi, Tanttu 2010)

Tekopohjavesihankkeet vaativat runsaasti tutkimuksia, muun muassa: koepumppauksia ja imeytyksiä sekä virtausmallien kokoamista ja vedenlaadun muuttumisen seuraamista (Artimo ym. 2007). Pohjavesiesiintymissä tapahtuvat muutokset tapahtuvat yleensä hitaasti, joten tutkimukset voivat kestää vuosia. Tekopohjaveden muodostus muuttaa myös arvokasta harjuympäristöä imeytysmenetelmästä riippuen. Siksi esimerkiksi Turun Seudun Veden tekopohjavesihanke Virttaankankaalla sai osakseen runsaasti arvostelua. (Katko 2013, 66–70, 112–116)

2.2 Muodostamisen lähtökohdat

Tekopohjaveden valmistuksen tarkoituksena Suomessa on luoda vesilaitoksille raakavettä mahdollisimman yksinkertaisesti ja halvalla tavalla. Ihanteellisessa tilanteessa imeytyminen ja kulkeutuminen vedenottokohtaan riittävät veden saamiseksi laadultaan juotavaksi. Tekopohjavesilaitoksiemme imeytysvesi onkin tähän yleensä tarpeeksi hyvälaatuista, mutta joissakin tapauksissa kuitenkin imeytysvedenlaatua täytyy parantaa esikäsittelyllä, ennen sen imeytystä maaperään. (Pääkkönen ym. 2003, 69–74; Kivimäki 1992, 25–26)

2.2.1 Imeytysvesi

Suomessa ei ole asetettu laatuvaatimuksia imeytysveden laadulle (Ränkman 2010). Tekopohjavesihankkeissa veden imeyttäminen ja tekopohjavedenotto ovat kuitenkin ympäristöluvan vaativaa toimintaa ja luvan saamisen edellytyksenä voikin olla tarpeeksi hyvälaatuinen imeytysvesi.

Tekopohjaveden muodostamisessa on tärkeä tietää imeytysvesilähteen yleiset ominaisuudet. Näihin kuuluu Iiholan (1974) mukaan vesistön syvyys, muut käyttäjät, vesistöä koskevat suunnitelmat sekä valuma-alue ja sen maankäyttö. Näillä tiedoilla pyritään varmistamaan, että vesistöstä riittää imeytysvettä tekopohjavesilaitoksen käyttöön. Jos vesistön luonnontilainen riittoisuus ei riitä voi mahdolli-

suutena olla sen säännöstely, jotta tekopohjaveden muodostamineen riittää vettä. Tällöin on tärkeää tuntea vesistön purkupisteet ja niiden virtaama. (Iihola 1974, 2)

Vedenottosyvyyteen voi liittyä ongelmia. Vesi pyritään ottamaan kohdasta, joka on mahdollisimman tasalaatuista. Tällaista vettä on yleensä vesistön alusvedessä. Kuitenkin jos vesistön ravinnekuormitus on suuri, voi alusvesi sisältää vähän happea, jolloin veteen voi olla liuennut rautaa ja mangaania pelkistyneissä olosuhteissa. Tällaisessa tilanteessa vesi joudutaan ottaa vesistön ylemmistä kerroksista. (Iihola 1974, 8)

Imeytysveden riittoisuuden ohella on äärimmäisen tärkeää tuntea sen vedenlaatu. Suomen pintavedet sisältävät yleensä runsaasti humusta, eli orgaanista ainesta NOM. Tekopohjaveden muodostuksessa onkin Suomessa tärkeintä juuri orgaanisen aineen väheneminen maaperään imeytyessä. Orgaanisen aineen määrää luonnonvesistä on vaikea määrittää. Tämän takia tyydytään helpompia menetelmiä käyttäen, määrittämään luonnonvesien orgaanisen hiilen kokonaismäärää TOC. Orgaanisen hiilen kokonaismäärä luonnonvesissä on noin puolet orgaanisen aineen kokonaismäärästä. (Miettinen, Illmer ym. 2003, 15)

Noin 10 % luonnonvesien orgaanisen hiilen kokonaismäärästä on hiukkaskooltaan yli 0,45 µm, jolloin se katsotaan olevan hiukkasmaisessa muodossa POC. Alle 0,45 µm hiukkaskoon, eli kolloidikokoinen orgaaninen hiili on kuitenkin niin pientä, että on sovittu sitä kutsuttavan liuenneeksi orgaaniseksi hiileksi DOC. 90 % luonnonvesien orgaanisen hiilen kokonaismäärästä kuuluu tähän menetelmälliseen ryhmään. (Miettinen, Illmer ym. 2003, 15)

Pintavesien liuenneesta orgaanisesta hiilestä 50 – 75 % on sitoutunut humusyhdisteisiin, jotka ovat usein peräisin valuma-alueiden metsiltä ja soilta. Tämä aines on biologisesti huonosti hajoavaa. Sitä osaa liuenneesta orgaanisesta hiilestä, jonka mikrobit pystyvät hajottamaan, kutsutaan biologisesti hajotettavissa olevaksi orgaaniseksi hiileksi, BDOC. Osan tästä pystyvät mikrobit käyttämään energian lähteenään. Tämä osa on nimeltään assimiloituva orgaaninen hiili, AOC. (Miettinen, Illmer ym. 2003, 15)

Orgaanisen aineen määritysmenetelminä käytetään biokemiallista hapenkulutusta BOD, sekä kemiallista hapenkulutusta, COD. Molemmat ovat orgaanisen aineen epäsuoria määritysmenetelmiä. Biokemiallisessa hapenkulutuksessa orgaaninen hiili muuttuu hiilidioksidiksi mikrobien katalysoimana ja prosessissa kuluu happea. Kemiallisessa hapenkulutuksessa hapetuksesta vastaa vahva kemiallinen hapetin, yleensä kaliumpermanganaatti $KMnO_4$. $KMnO_4$-luku kertoo kuinka paljon kaliumpermanganaattia kului orgaanisen aineen hapettamiseen ja COD_{Mn} kertoo kuinka suurta hapen kulutusta tämä vastaisi. Sekä COD_{Mn}, että $KMnO_4$-lukua käytetään yleisesti ilmaisemaan veden orgaanisen aineen määrää ja niiden välinen yhteys on:

$$KMnO_4 = 3{,}95 * COD_{Mn} \quad (1)$$

Orgaanisen aineen määrä luonnonvedessä on tärkeä parametri, koska sen biologisessa hajoamiseen kuluu happea. Jos orgaanista ainetta hajoaa myöhemmin tekopohjaveden muodostuksessa, kuluu happi nopeasti loppuun, jolloin olosuhteet muuttuvat pelkistäviksi ja rauta ja magnaani alkavat liueta veteen. (Kivimäki 1992, 21; Iihola 1974, 4)

Rönkän mukaan tekopohjaveden muodostus onnistuu ilman esikäsittelyä jos imeytysveden $KMnO_4$- kulutus on 20–40 mg/l ja veden viipymä maaperässä 45 – 60 päivää. Jos viipymä kasvaa 90 päivään voi imeytysveden $KMnO_4$–kulutus olla 30–50 mg/l. (Rönkä 1974). Kivimäki suosittelee hyvin samoja arvoja vielä vuonna 1992. (Kivimäki 1992, 21)

Imeytysveden likaantumista ihmistoiminnan seurauksena ilmentää veden korkeat typpiyhdiste-, fosfaatti- ja sulfaatti- ja kloridipitoisuudet, tosin kloridi voi olla peräisin myös merivedestä (Iihola 1974, 5). Sulfaatti ja kloridi eivät ole nykyisten tutkimusten mukaan tekopohjaveden muodostusprosesseissa keskeisessä osassa, mutta myöhemmin vedenjakeluverkossa ne aiheuttavat sähkökemiallista korroosiota (Pääkkönen 2003, 23; Helmisaari ym. 2003, 118–121).

Fosfaatit ja typpiyhdisteet ovat yhdessä biologisen tuotannon pääravinteet (Iihola 1974). Korkeat typpi- ja fosfaattipitoisuudet viittaavat rehevöityneeseen vesistöön, jossa biologisen hajoamisen seurauksena voi esiintyä alhaisia happipitoisuuksia ja vastaavasti korkeita hiilidioksidipitoisuuksia. Kun hiilidioksidipitoisuudet kohoavat, kuluu veden alkaliteettia ja pH-arvo voi laskea.

Sinileviä eli syanobakteereja voi esiintyä periaatteessa kaikissa vesistöissä ja joskus sinilevä kasvaa massaesiintymäksi eli kukinnaksi. Niiden esiintymiseen vaikuttaa muun muassa veden lämpötila, pH, ravinteet, sekoittuminen ja vesistön viipymä. Sinilevillä on vaikutus myös tekopohjavesilaitoksien toimintaan, sillä sinileväkukinnot lisäävät orgaanisen aineen määrään ja vähentävät veden happipitoisuutta. Merkittävin sinileväkukintojen ongelma on kuitenkin niiden tuottamat toksiinit, jotka voivat olla tappavia ja etenkin maksasyöpää aiheuttavia. Vuosina 1985–1986 tehdyissä tutkimuksissa puolet sinileväkukinnoista osoitettiin myrkyllisiksi. (Vaitomaa 1998, 10–13)

Vuonna 1996 tehtiin tutkimus sinilevien ja niiden tuottamien toksiinien käyttäytymisestä tekopohjaveden muodostuksessa. Kokeissa simuloitiin rantaimeytystä ja imeytystä harjuun hiekkapatsaiden avulla. Kokeen tuloksena todettiin, että varsinaisten sinilevien reduktio oli lähes täydellistä mutta niiden tuottamien toksiineja jäi silti vielä suodokseen noin 0,1–5 µg/l. (Vaitomaa 1998, 18, 30–34, 49–53

Jos imeytysvedessä havaitaan sinilevää, voidaan imeytys yksinkertaisesti keskeyttää kunnes sinilevää eikä toksiineja enää havaita (Miettinen 2003, 21). Tämä edellyttää tietenkin, että sinilevät havaitaan tarpeeksi ajoissa. Imeytystä ei voida kuitenkaan keskeyttää rantaimeytyksen tapauksessa ja toksiineja voi esiintyä vedessä vielä sen jälkeen kun kukinta on kadonnut. (Vaitomaa 1998, 13).

Vuodenaikavaihtelu vaikuttavat imeytysveteen etenkin hapen osalta. Kesällä korkeissa lämpötiloissa biologinen toiminta on suurinta ja happea liukenee vähemmän lämpimään veteen. Talvella taas veden biologinen toiminta vähenee, mutta happea ei välttämättä pääse liukenemaan veteen lisää. Happi on oleellinen osa tekopohjaveden muodostusprosesseja ja siksi sen pitoisuus tulisi olla imeytysvedes-

sä mahdollisimman suuri ja tasainen läpi vuoden. Orgaanisen aineen määrä tulisi taas olla mahdollisimman pieni.

2.2.2 Esikäsittely

Jos imeytysvesi ei ole tarpeeksi hyvälaatuista, voidaan sen laatua parantaa esikäsittelyllä. Esikäsittelyn tarve voi nousta esimerkiksi jos imeytyksen ja vedenottopaikan välinen matka ja täten viipymä on liian pieni orgaanisen aineen poistumiseen. Myös imeytyksessä ilmenevät ongelmat, kuten tavallista useammin tapahtuva tukkeutuminen, voi antaa syyn esikäsittelylle. (Iihola 1974, 30)

Esikäsittely on tarpeen esimerkiksi Virttaankankaan tekopohjavesilaitoksella, joka saa imeytysvetensä Kokemäenjoesta. Yleisesti ottaen esikäsittely on Suomessa varsin harvinaista, eikä Suomessa ole tehty siitä paljon tutkimuksia. (Ränkman 2010, 2)

Esikäsittelyllä voidaan imeytysvedestä poistaa humusta, kiintoainesta ja maaperässä mahdollisesti saostuvia aineita. Näin ehkäistään maaperän tukkeutumista. Lisäksi esikäsittelyn avulla voidaan lisätä imeytysveden happipitoisuutta sekä pitää imeytysvesi puhtaampana, jolloin maaperän luonnollinen kyky adsorptio- ja ioninvaihtoreaktioihin voi säilyä paremmin. (Kivimäki 1992, 25)

Mekaanisiin esikäsittelytapoihin lukeutuu esiselkeytys ja erilaiset suodatusmenetelmät. Esiselkeytyksessä imeytysvedestä voidaan erottaa kaikista raskain kiintoaine järjestämällä sille noin tunti aikaa laskeutua esimerkiksi altaan pohjalle. Suodatuksessa käytetään hiekkapikasuodattimia, joissa vesi valuu hiekkapatjan läpi. Hiekkaan jää kiinni veden kiintoainesta ja mahdollisesti myös saostunutta rautaa ja mangaania. Mikrosiivilöinnissä vesi virtaa siivilän läpi, jonka reikäkoko on noin 20–80 µm. Teholtaan siivilöinti on samaa luokkaa kuin hiekkapikasuodatus, mutta sillä pystytään poistamaan leviä paremmin, minkä takia sitä käytetään usein ennen hiekkapikasuodatusta. (Kivimäki 1992, 26; Iihola. 1975, 30–31)

Mekaanisella esikäsittelyllä on hyvin pieni vaikutus imeytysveden kolloidikokoisiin hiukkasiin, jotka eivät yleensä laskeudu luonnollisesti alle sadassa vuodessa. Kolloidien hidas laskeutuminen johtuu niiden suuresta suhteellisesta pinta-alasta ja usein vallitsevasta negatiivisesta varauksesta. Kolloidien koko voidaan määritellä olevan esimerkiksi 10 nm–10 µm, mutta täyttä yhteisymmärrystä koosta ei ole (Binnie ja Kimber 2013, 63–67)

Kolloideja pystytään erottamaan vedestä koaguloinnilla ja flokkuloinnilla, joita myös imeytysveden esikäsittelyssä käytetään (Kivimäki 1992, 26). Koagulointi on nopea reaktio, jossa olosuhteet tehdään sellaisiksi, että kolloidit pystyvät kiinnittymään toisiinsa (Binnie, Kimber 2013, 63–67). Saostusaineina käytetään usein kaksi- tai kolmiarvoista rautasulfaattia, rautakloridia tai alumiinisulfaattia. (Binnie ja Kimber 2013, 76–77) Kun saostusainetta lisätään, veden ionivahvuus kasvaa ja kolloidien välinen elektroninen kaksoiskerros heikkenee. Lisäksi joidenkin kolloidien pintavaraus muuttuu positiiviseksi ja saostusaineen tuoma metalli alkaa saostua käyttäen kolloideja kiteytymiskeskuksina (Binnie ja Kimber 2013, 65–66)

Flokkulointi on pidempi prosessi, jossa kolloidit törmäävät ja kiinnittyvät toisiinsa sekä saostuvaan metalliin samalla kun vettä sekoitetaan rauhallisesti. Lopputuloksena muodostuu kerrostunutta sakkaa. Flokkuloinnissa voidaan käyttää myös pitkäketjuisia polymeerejä negatiivisen varauksen muuttamiseen positiiviseksi. Flokkuloinnin lopputuloksena on sakkaa, joka voidaan erottaa vedestä fyysisesti selkeyttämällä, flotaatiolla tai suodattamalla. (Binnie ja Kimber 2013, 65–67)

Kun saostusaineita käytetään esikäsittelyssä, eivät kolloiditkaan ole ongelma. Niihin turvautuminen poistaa kuitenkin osan tekopohjavesilaitoksen eduista, eikä talousveden valmistusprosessia voida enää kutsua kemikaalittomaksi, mikä vaikuttaa olevan vesilaitoksilla tavoiteltua. Saostusaineita käytetään tavallisesti pintavesilaitoksilla ja jätevedenpuhdistamoilla, tällöin tavoitteena on päästä lain asettamiin raja-arvoihin. Kemiallinen saostus tekopohjaveden muodostamisen esikäsittelymenetelmänä ei tiukkoja rajoja ole, vaan lopputuloksena halutaan vain helpommin imeytettävää vettä.

Kemiallinen esikäsittely pitää sisällään myös otsonoinnin (Kivimäki 1992, 27; Iihola 1975, 32). Otsonoinnissa epävakaa O_3 hajoaa hapeksi O_2 ja happi radikaaliksi O. Otsoni ja happiradikaali ovat voimakkaita hapettajia, jotka tuhoavat vedessä eläviä organismeja ja hapettavat orgaanista ainesta ja kemikaaleja. Hapetuksen seurauksena orgaaninen aines ”tuhoutuu”. Otsonoinnilla voidaan saada myös rauta ja magnaani saostumaan. Otsonia ei voi säilöä, eikä kuljettaa, joten sitä on valmistettava paikan päällä (Kivimäki 1992, 27). Tämä tapahtuu syöttämällä puhdistettua ilmaa tai puhdasta happea sähkövarauksellisen koronan läpi, jolloin otsonia muodostuu. Sen jälkeen otsoni liuotetaan veteen esimerkiksi kontaktitankissa. (Binnie ja Kimber 2013, 176–180)

2.3 Imeytysmenetelmät

Suomessa käytössä olevat imeytysmenetelmät ovat: allas- sadetus- kaivo sekä rantaimeytys (Katko 2013, 64–66). Rantaimeytys on tekopohjavedenmuodostuksen epäsuoramenetelmä (Kivimäki 1992, 13), eikä sitä lasketa menetelmänä varsinaisiin tekopohjavesilaitoksiin (Katko 2013, 68). Muut imeytysmenetelmistä kuuluvat suoriin imeytysmenetelmiin (Kivimäki 1992, 13) ja allas- sekä sadetusimeytyksestä voidaan käyttää vielä nimitystä vajoimeytys, joka tarkoittaa maaperään imeytystä maan päältä (Mälkki 1999, 163 – 168).

2.3.1 Allasimeytys

Allasimeytys on imeytysmenetelmistä perinteisin ja eniten käytetty. Vuonna 2012 Suomessa oli 18 tekopohjavesilaitosta, jossa käytettiin altaita ainakin yhtenä imeytysmenetelmänä (Katko 2013). Altaassa vesi on yhteydessä ilmakehään ja näin ollen veteen pääsee liukenemaan happea. Veden ilmastusta voidaan silti tehostaa syöttämällä vesi altaaseen korkealta niin, että vesi särkyy pisaroiksi osuessaan esimerkiksi kiviin. (Kivimäki 1992)

Altaan pohjalla on keinotekoinen suodatinhiekkakerros, jonka tulisi olla noin 0,5 – 1,0 metriä paksu (Helmisaari ym. 2003, 13). Allasimeytys toimii hidassuodatuksen periaatteella. Jos altaan annetaan toimia häiriintymättömänä joitakin viikkoja, suodatinhiekkakerrokseen muodostuu biologisesti aktiivinen kerros, jossa mikrobit hajottavat vedestä orgaanista ainesta energianlähteekseen (Mälkki 1999). Hidassuodattimien erona on, että vesi kerätään talteen heti suodatinhiekkakerroksen jälkeen, kun allasimeytyksessä vesi saa jatkaa matkaansa pohjavesivyöhykkeeseen ja sitä kautta melkein minne vain. Toivotuin määränpää on vedenottoalue esimerkiksi 1000 metrin päässä. Imeytysallas toimii mainiosti myös talvella, kuten kuviosta kaksi nähdään. Virtaava vesi ja 0-4 °C asteisen imeytysveden jatkuva syöttö estävät altaan täydellisen jäätymisen tiettyyn lämpötilaan saakka.

Kuvio 2. Ahveniston ensimmäinen imeytysallas maaliskuussa 2015.

Imeytysaltaat toiminnan jatkuessa häiriöttä suodatinhiekkakerroksen ja luonnontilaisen maaperän läpi virtaa jatkuvasti orgaanista ainesta sisältävää vettä. Biologisesti aktiivinen kerros kasvaa ja muodostaa vettä läpäisemätöntä kalvoa yleensä

suodatinhiekan pintaosiin. Tämä johtaa vedenpuhdistuksen parantumiseen, mutta toisaalta vedenjohtavuuden heikentymiseen. Orgaanista ainesta käyttää ravinnokseen myös levät, joita kasvaa usein imeytysaltaissa. Kun levät kuolevat ne vajoavat altaan pohjalle ja vaikeuttavat veden imeytymistä. Jossain vaiheessa veden imeytyminen on heikentynyt niin paljon, että allas katsotaan olevan tukkeutunut. Altaiden tukkeutumista aiheuttavat myös kolloidit ja maaperään jääneet ilmakuplat, jotka vähentävät suodatinaineksen huokostilavuutta. (Helmisaari ym., 12, Kivimäki 1992, 22–23)

Tukkeutuneen imeytysaltaan puhdistus suoritetaan yleensä poistamalla altaan pohjalta ohut kerros suodatinhiekkaa tai auraamalla suodatinhiekka huokoisuuden palauttamiseksi. Tämä toimenpide täytyy tehdä keskimäärin kaksi kertaa vuodessa riippuen imeytettävän veden laadusta (Kivimäki 1992). Puhdistus palauttaa jälleen altaan vedenjohtavuuden, mutta vähentää sen tehokkuutta, koska mikrobit on puhdistettu pois ja biologinen toiminta on näin vähentynyt. Suodatinhiekkakerroksen vaihtamisen jälkeen mikrobien toiminnan palautuminen on kuitenkin vielä hitaampaa. (Helmisaari ym. 2003)

2.3.2 Sadetusimeytys

Sadetusimeytyksen tavoitteena on suorittaa imeytys halvalla ja mahdollisimman luonnonmukaisella tavalla, ilman ympäristöä vaurioittavia, jatkuvasti tukkeutuvia allasrakenteita (Katko 2013; Kivimäki 1992; Helmisaari, Derome, Kitunen ym. 1999). Imeytys tapahtuu kuviossa kolme näkyvien käsivoimin liikuteltavien rei’itettyjen muovisten sadetusputkistojen avulla, jotka suihkuttavat vettä ympäristöönsä. Sadetusimeytyspaikkaa onkin helppo siirrellä ja sitä sadetusimeytystä voidaankin käyttää hyvien imeytyspaikkojen etsimiseen (Mälkki 1999). Hyvä imeytyspaikka on sadetuksessa sellainen, jossa vesi pääsee heti imeytymään maaperään, eikä lammikoidu maan päälle. (Katko 2013)

Kuvio 3. Tyypillinen rei'itetty sadetusputki Ahvenistonharjulla maaliskuussa 2015. Takana näkyy sinisiä venttiilejä putken haarakohdissa.

Sadetusimeytystä kokeiltiin Suomessa ensimmäisen kerran tiettävästi 1970- luvulla Kouvolan kaupungin tekopohjavesilaitoksella (Mälkki 1999, 164). 1980- luvulla oli Nokialla käytössä imeytykseen käytetty sadetusputkisto, joka oli kuitenkin peitetty sepelillä jolloin vesi valui suoraan maahan (Kivimäki 1992; Tamski. 2014). Sadetusimeytys tuli toden teolla käyttöön kuitenkin vasta 1990-luvulla mm. Porvoossa ja Lappeenrannassa. (Kivimäki 1992, 17)

Täysin luonnonmukaista ja ongelmatonta ei sadetusimeytyskään silti ole, sillä metsämaan aluskasvillisuus muuttuu lähes täysin, kun kosteus, ravinnepitoisuudet ja maaperän happamuus muuttuvat. Nämä prosessit kuvataan tarkemmin myöhemmin. Alkuperäisiin olosuhteisiin tottuneet kasvit katoavat ja tilalle tulee kosteammissa olosuhteissa viihtyviä lehtokasveja, kuten sammalia, ruohoja ja heiniä. Ennen pitkää kosteusolosuhteet käyvät näillekin kasveille hankaliksi. Puiden kasvussa on toisaalta havaittu tehostumista. (Helmisaari ym. 1999 56, 82–85).

Kasvillisuuden liiallisia muutoksia ja tukkeutumista pyritään torjumaan keskeyttämällä imeytys tietyksi ajaksi (Helmisaari ym. 2003, 13; Helmisaari ym. 1999, 86). Sadetusputkisto jaetaan yleensä sadetuskentiksi, joiden käyttöä vuorotellaan

niin, että jotkin ovat käytössä, kun toiset ovat toipumassa. (Katko 2013). Esimerkiksi Ahveniston sadetuskentille on suositeltu imeytysjaksojen pituudeksi korkeintaan yhtä vuotta, jonka jälkeen sadetuskentän tulisi antaa toipua vähintään yhden kesäkauden (Helmisaari ym. 1999, 87). Sadetusputkisto muodostaa haravalta näyttävän kuvion, joten niitä sanotaan myös sadetusharavoiksi.

Sadetusimeytys on varteenotettava imeytysmenetelmä, mutta joissakin paikoissa se on lopetettu osittain tai kokonaan (Katko 2013, 64). Allekirjoittaneen vankan muutaman kuukauden kokemuksen perusteella tämä johtunee siitä, että menetelmällä tavoiteltu ympäristön suojeleminen ei ole aina täysin onnistunut ja vesi ei aina pääse imeytymään maaperään toivotulla tavalla.

2.3.3 Kaivoimeytys

Vesi pystytään imeyttämään maaperään myös kaivojen avulla, joita normaalisti käytetään vedenottamiseen (Pöyry Finland. 2011). Kaivotyyppejä on karkeasti jaoteltuna kahdenlaisia: putkikaivoja ja rengaskaivoja (Hatva, Lapinlampi, Gustafsson ym.). Kun puhutaan imeytyskaivosta, tarkoitetaan yleensä putkikaivoa, vaikka rengaskaivojakin voidaan imeytykseen käyttää. Rengaskaivoista käytetään myös nimitystä kuilukaivo. Jos putkikaivoissa on siiviläosa, niitä saatetaan kutsua tarkemmin siiviläputkikaivoiksi.

Imeytyskaivoja ei ole käytetty Suomessa paljoa ja se katsotaan uudeksi tekopohjaveden muodostusmenetelmäksi. Imeytyskaivoja on käytössä Suomessa Nokian vedellä, Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymällä sekä uudella Tampereen seudun vedenhankinta yhtiöllä TAVASE:lla. (Katko 2013, 65).

Nokian vedellä on 19 kuvion neljä tapaista kuilukaivoa imeytyskäytössä Maatialanharjulla. Kaivoilla, jotka ovat noin 3 m metriä syviä ja 120–160 cm leveitä, pystytään imeyttämään vettä harjuun yhteensä noin 1200–1500 m^3/d. Kaivot ovat olleet käytössä jo 1990-luvulta asti ja ne valittiin imeytystavaksi, koska arvokkaalle harjulle ei saanut tulla mitään näkyviä rakenteita. Ennen kuin imeytyskai-

vot otettiin käyttöön, oli samalla paikalla käytössä aiemmin kuvailtu sadetusputkistolla hoidettu imeytys. Imeytystapaa vaihdettiin, koska harjun kasvillisuudessa havaittiin muutoksia. (Tamski 2014)

Nokian imeytyskaivot koostuvat toistensa päälle ladotuista betonirenkaista. Kaivot ovat suljettu umpinaisella kannella ja veden syöttöputki tulee kaivon sivusta. Veden syöksyessä kaivoon putkesta, osuu vesi ensiksi lautaseen, josta vesi roiskuu ympäri kaivoa, jolloin vesi ilmastuu. Kaivon pohjalla on sepeliä, jonka pinnalla oletetaan olevan orgaanista ainetta hajottava mikrobikerros. Vesi imeytyy maaperään kaivon avonaisesta pohjasta.

Kuvio 4. Maatialanharjun imeytyskaivot kätkeytyvät hyvin ympäristöönsä. Kuva joulukuulta 2014.

Nokialla imeytysvesi otetaan noin 800 metrin päässä Vihnusjärvestä, jonka vedenlaatu on hyvä ajoittain esiintyvästä sinilevästä huolimatta. Kaikkia 19 imeytyskai-

voa käytetään samaan aikaan ja ne ovat toiminnassa lähes jokaisena päivänä vuodessa. (Tamski 2014)

Nokian tapauksessa tulee esiin kaivoimeytyksen eräs hyvä puoli. Se on ainoa imeytysmenetelmä, jota pystytään käyttämään tapauksessa, jossa ympäristöön kohdistuu liian suuria arvoja.

TEMU-hankkeessa, joka kuvaillaan myöhemmin, havaittiin orgaanisen aineen vähenemä vasta syvemmällä maaperässä. Tämä on rohkaissut kaivoimeytyksen käyttöön. (Hakoniemi, Tanttu. 2010). Yksi tekopohjavesilaitoksista, jossa hankkeen tutkimuksia tehtiin, oli Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymän Rusutjärven tekopohjavesilaitos, jossa on nykyään kaksi imeytyskaivoa.

Rusutjärven tekopohjavesilaitos valmistui vuonna 1997 ja imeytysmenetelmänä oli tuolloin sadetusimeytys, koska arvokkaalla harjualueelle ei haluttu rakentaa imeytysaltaita. Imeytysvesi otetaan Helsinkiin raakavettä vievästä Päijännetunnelista, jonka vedenlaatu on varsin hyvä. (Tanttu 2014)

Vesi ei sadetuksella kuitenkaan imeytynyt toivotulla tavalla, vaan osa vedestä jäi lammikoitumaan maastoon ja valumaan harjun rinnettä alas. Tästä syystä turvauduttiin kahteen imeytysaltaaseen kohdassa, joka ei kuulunut suojeltuun harjuun. Niiden lisäksi rakennettiin imeytyskaivo entiselle sadetuskentälle. Imeytysaltaat otettiin käyttöön muutama vuosi sadetuksen aloituksesta ja imeytyskaivo vuonna 2006 (Hakoniemi ja Tanttu 2010; Tanttu 2014). TEMU- hankeen tutkimukset olivat tulleet päätökseensä vuonna 2002, eikä niidenkään perusteella ollut syytä olla kokeilematta imeytysmenetelmää, jossa pintakerroksissa tapahtuva imeytyminen ohitetaan käytännössä kokonaan. (Tanttu 2014)

Imeytyskaivoksi valittiin samanlainen putkikaivo, mitä käytetään vedenottamiseenkin. Kaivo on halkaisijaltaan 400 mm ja syvyydeltään 18 metriä (Hakoniemi ja Tanttu 2010). Osa kaivon putkiosasta on siiviläputkea, joka koostuu pienistä raoista, joista vesi pääsee imeytymään maaperään. Putkikaivolla voidaan puhkaista vettä huonosti läpäisevä kerros ja imeyttää vettä suoraan pohjavesiesiintymään,

jonne sadetuksella tai allasimeytyksellä ei voida imeyttää. Kun putkikaivoa käytetään vedenottamiseen, sijoitetaan siiviläosa suoraan pohjavesiesiintymään, josta vettä saadaan pumpattua mahdollisimman paljon. Vettä imeytettäessä ei siiviläosaa tarvitse välttämättä sijoittaa juuri pohjavesiesiintymään, vaan vettä voidaan imeyttää myös sen yläpuolella mahdollisesti olevaan vettä johtavaan kerrokseen. (Tanttu 2014)

Imeytyskaivo on toiminut käyttöönoton jälkeen hyvin, mutta imeytysaltaiden kanssa oli ongelmia. Havaittiin, että vesi imeytyi altaista pistemäisesti, jolloin suuri osa altaan pinta-alasta oli turhaan käytössä. Lisäksi haittana oli allasimeytykselle tyypillinen tukkeutuminen ja siitä seurannut suodatinhiekkakerroksen puhdistaminen ja vaihtaminen. Koska vesi imeytyi lähes pistemäisesti, päätettiin tuohon kohtaan rakentaa kuviossa viisi näkyvä imeytyskaivo ja allasimeytys keskeytettiin. (Tanttu 2014)

Kuvio 5. Rusutjärven uusi kuilukaivo sijaitsee entisen imeytysaltaan kulmassa.

Koska kaivon paikalla veden tiedettiin imeytyvän pinnalta hyvin, käytettiin tällä kertaa kuilukaivoa. Kaivo on noin 3 metriä syvä ja se koostuu halkaisijaltaan 2 metrisistä betonirenkaista. Vesi syöksyy kaivoon entisen imeytysaltaan syöttöputkesta, joka on halkaisijaltaan noin 200 mm ja joka tulee kaivoon sen yläosasta. Myös Tuusulan kuilukaivossa vesi ilmastuu osuessaan kaivossa olevaan lautaseen. Tuusulan tapauksessa lautanen toimii kuitenkin myös eroosiosuojana, sillä sepeli- tai suodatinhiekkakerrosta ei pohjalla ole. (Tanttu 2014)

Molemmat kaivot ovat toimineet tähän mennessä mainiosti, ja niiden avulla imeytetyt vesimäärät ovat olleet toivotulla tasolla. Kaivojen imeytysmääriä kuukauden ajalta näkyy liitteessä 8. Kuilukaivon tapauksessa ei mitään rakentamista edeltävää suunnittelua edes tarvittu ja kaivon rakentaminenkin oli halpaa. Toisaalta tässä tilanteessa oli kuilukaivolle jo selvä paikka, jonka avulla kaksi suuren pinta-alan imeytysallasta pystyttiin korvaamaan kaivolla, josta vesi imeytyy lähes pistemäiseltä alueelta. Haasteena on löytää imeytykseen soveltuva kohta, mutta jos sellainen löytyy, on kuilukaivon käyttö yksinkertaista ja tämän hetkisillä tiedoilla myös ongelmatonta. Käyttökokemuksia ei kuitenkaan ole vielä kertynyt kovin pitkältä ajalta. (Tanttu 2014)

Rusutjärven tekopohjavesilaitoksen tapaus on esimerkki eräästä tekopohjaveden muodostamisen perimmäisestä ongelmasta. Välillä vesi ei vain imeydy maaperään kyllin hyvin. Tällöin kaivoimeytys voi olla ratkaisu ongelmaan. Tällä kertaa imeytyskaivojen avulla onnistuttiin toteuttamaan se, mitä allas- tai sadetusimeytyksellä ei kyetty.

2.3.4 Rantaimeytys

Rantaimeytystä voi tapahtua kun pohjavesiesiintymä rajoittuu pintavesilähteeseen, toisin sanoen järveen tai jokeen. Jos pohjaveden pinnantaso laskee alemmas kuin pintaveden pinnantaso, ja jos näiden välinen maakerros on vettä hyvin johtavaa,

niin pintavettä alkaa imeytymään pohjaveteen. Tätä kutsutaan rantaimeytymiseksi. (Kivimäki 1995)

Joillakin vesilaitoksilla tekopohjaveden muodostumista tehostetaan rantaimeytyksellä tarkoituksella. Tämä tehdään lisäämällä pintaveden läheisyydessä olevien vedenottokaivon pumppausta, kunnes pohjaveden pinnantaso alenee tarpeeksi. Tarkkaa paikkaa missä rantaimeytyminen tapahtuu, on kuitenkin vaikea paikallistaa. Tällöin ei pystytä myöskään määrittelemään virtausreittejä tai viipymiä. (Kivimäki 1995.)

Useimmissa tapauksissa rantaimeytyminen tapahtuu kuitenkin suunnittelemattomasti, eikä sen osuutta täysin tunneta tai se on mitättömän pieni luonnollisen pohjaveden määrää verrattuna. Monilla vesilaitoksilla on mahdollista käyttää tiettyjä vedenottokaivoja rantaimeytymiseen, mutta niille ei ole tarvetta tai ne ovat varalla. (Kivimäki 1995)

Koska rantaimeytyksessä vesi imeytyy suoraan pintavedestä, vettä ei voida esikäsitellä ja tästä syystä pintavedenlaatuun kiinnitetään erityistä huomiota. Jos pintavesi sisältää paljon orgaanista ainesta, kuluu veden sisältämä happi biologisessa hajoamisessa nopeasti loppuun ja maaperästä alkaa liueta rautaa sekä mangaania. Vuonna 1995 tehdyssä Kivimäen tutkimuksessa todetaan, että Suomen varsinaisilla rantaimeytyslaitoksilla noin puolessa oli rautapitoisuudet haitallisen korkeita. Kolmannes varsinaisista rantaimeytyslaitoksista käytti tuolloin raudanpoistoa jälkikäsittelynä. (Kivimäki 1995; Kivimäki, Lahti, Hatva 1998;)

Pintavesialtaan törmä, josta vesi alkaa imeytymään pohjaveteen voi tukkeutua, jonka jälkeen sen imeytyskykyä on hankala ja kallista palauttaa. Pienillä rantaimeytysmäärillä ja virtaamilla tukkeutumista tapahtuu vähemmän. (Kivimäki 1995)

Suoriin tekopohjaveden imeytysmenetelmiin verrattuna rantaimeytys on halvempaa ja vie vähemmän maapinta-alaa kuin imeytysaltaat tai sadetuskentät. Ran-

taimeytyksen hallittavuus on kuitenkin vaikeaa ja vedenlaadussa voi olla ongelmia pintavedestä riippuen. (Kivimäki 1995)

2.4 Tekopohjaveden muodostuksen prosessit

Puhdistusprosessit alkavat kun vesi imeytetään maaperään ja ne jatkuvat siihen asti kunnes vesi pumpataan kaivoista ylös (Kivimäki 1992, 29). Tärkein tavoite talousveden valmistuksessa on eloperäisen aineen häviäminen vedestä (Kolehmainen 2009), eikä tekopohjaveden puhdistusprosessit ole tästä poikkeus. Näiden prosessien tutkiminen jatkuu edelleen, kun yritetään löytää keinoja optimoida tekopohjaveden imeytysmäärät ja vedenlaatu.

Tekopohjavesi on aina luonnollisen pohjaveden ja imeytyneen pintaveden sekoitus. Näiden vesien laimeneminen keskenään vaikuttaa merkittävästi pitoisuuksiin ja vedenlaatuun. Esimerkiksi kesäisin pohjavettä lämpimämpi imeytysvesi voi näkyä raakavedessä myöhemmin syksymmällä. Porissa vuosina 1988–1990 vesilaitokselta lähtevän veden lämpötila oli 1,2–19,6 ºC, kun veden alkuperä oli tekopohjavesi (Kivimäki 1992, 53).

2.4.1 Biohajoaminen

Orgaanisen aineen merkittävimmät vähenemistavat tekopohjaveden muodostuksessa ovat biologinen hajoaminen ja (ad)sorptio. Viime aikoina on tutkittu mikä on näiden kahden osuus orgaanisen aineen vähenemisessä tekopohjavedessä. Tekopohjaveden muodostuksessa poistuu orgaanisesta aineesta noin 70–90 %. (Kolehmainen 2009)

Maaperän mikrobit pystyvät hyödyntämään imeytysveden mukana tulevan orgaanisen aineen ja hapen ja tuottamaan näistä hiilidioksidia ja vettä. Kivimäen (1992) mukaan orgaanisen aineen hajoamista kuvaa esimerkiksi seuraava reaktio

$$C_5H_7O_2N + 7O_2 = H_2O + 4CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^- \quad (2)$$

$C_5H_7O_2N$ on orgaaniseen aineen yksinkertaistettu muoto ja sillä kuvataan orgaanisen aineen koostumusta. Kun reaktion tarvitsema happi on kulunut loppuun, päättyy myös aerobinen biohajoaminen.

Reaktiossa syntynyt vetykarbonaatti pystyy vastustamaan pH:n laskua sitomalla itseensä H^+-ioneja, jolloin muodostuu lisää hiilidioksidia.

Ammonium pystyy hapettumaan nitriitiksi nitrifikaatioreaktiossa, jos pH on noin 6-8 ja jos tietynlainen reaktion edellyttämä mikrobikanta on kehittynyt (Pääkkönen 2003, 24). Sadeveden pH- arvo on normaalisti noin 4–5, mutta imeytysveden pH saattaa olla 7. Kun sadetusimeytys on aloitettu metsämaahan, onkin havaittu nitrifikaation käynnistyminen. (Helmisaari ym. 1999, 82)

Jos biohajoaminen on kuitenkin voimakasta voi tuotettu hiilidioksidi laskea pH:n jälleen alle kuuden, jolloin nitrifikaatio estyy. (Pääkkönen 2013, 24).

Ammonium hapettuu:

$$NH_4^+ + 2H_2O \xrightarrow{Mikrobit} NO_2^- + 8H^+ + 6e^- \quad (3)$$

Reaktioon kuluu happea, joka pelkistyy:

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O \quad (4)$$

Nitriitti voi hapettua pidemmälle nitraatiksi, jolloin happea jälleen pelkistyy:

$$NO_2^- + H_2O \xRightarrow{Mikrobit} NO_3^- + 2H^+ + 2e^- \quad (5)$$

Denitrifikaatiossa toisenlaiset mikrobit pystyvät käyttämään nitriitin ja nitraatin sisältävän hapen jos vedessä on liuenneena alle 0,5 mg/l happea. Tällöin jäljelle jää kaasumainen typpi N_2. Jos vesi on typpikaasulla kyllästynyt voi maaperään jäädä typen kaasukuplia, jotka aiheuttavat tukkeutumista (Kivimäki 1992, 34).

$$2NO_3^- + 12H^+ + 10e^- \xRightarrow{Mikrobit} N_2(g) + 6H_2O \qquad (6)$$

Biohajoamista tapahtuu noin 1,5 metrin syvyyteen asti. Maaperän pintakerroksia asuttavat runsaasti ravinteita kaipaavat ja korkeissa lämpötiloissa viihtyvät mikrobit. Alemmissa kerroksissa olosuhteet ovat karummat ja mikrobitoiminta ja samalla siis biohajoaminen vähenee. Talvella biologinen toiminta heikkenee huomattavasti. (Kivimäki 1992, 34) Kolehmaisen tekemissä kokeissa lämpötilassa 6 °C biohajoamisen osuus orgaanisen aineen vähenemästä oli 32 % ja lämpötilassa 23 °C se oli 38 % (Kolehmainen 2009).

Biohajoamista rajoittaa myös se missä muodossa humusmolekyylit ovat. Kun helposti hajotettavissa oleva humus on käytetty, alkaa biohajoaminen vähetä. Suomalaisissa vesistöissä toimii ravinteiden rajoittavana tekijänä yleensä fosfori. Myös biohajoamisen osuus tekopohjaveden muodostuksessa voi olla riippuvainen tästä ravinteesta. Periaatteessa pienen fosfaattimäärän lisäys imeytysveteen voisi parantaa biohajoamista tekopohjaveden muodostuksessakin. (Kolehmainen 2009)

2.4.2 (Ad)sorptio

Adsorptio on prosessi, jossa veden kuljettamat liuenneet aineet imeytyvät rakeen pinnalle (Binnie ja Kimber 2013, 269). Tekopohjaveden muodostuksessa veteen liuenneet aineet kiinnittyvät maarakeiden pinnalle ja näin esimerkiksi myös kolloidit poistuvat vedestä, joka jatkaa matkaansa maakerroksissa (Kivimäki 1992. 31–32).

Maaperän rakeilla on usein negatiivinen varaus samoin kuin kolloideillakin ja täten ne hylkivät toisiaan. Kun vesi virtaa maakerroksen läpi, kiinnittyy rakeiden negatiivista varauspaikkoja vasten positiivisia hiukkasia, mikä johtaa siihen, että rakeen uusi pintavaraus on muuttunut positiivisemmaksi. Tällöin kolloidit pystyvätkin kiinnittymään rakeeseen, jolloin pintavaraus muuttuu jälleen negatiivisempaan suuntaan. Erityisen hyviä adsorptiota edistäviä ioneja ovat Al^{3+}, Ca^{2+} ja

Mg^{2+}. Koska yhdessä rakeessa on useita varauspaikkoja, on adsorptio kokoajan käynnissä. (Kivimäki 1992. 32)

Adsorptio on merkittävä sitoutumistapa millä virukset saadaan erotettua vedestä. Tähän vaikuttaa kuitenkin veden pH-arvo huomattavasti, koska virusten varaus ja adsorptiotaipumus muuttuu pH-arvon mukaan. (Kivimäki 1992, 32)

Adsorption voimakkuus riippuu maaperän huokoisuudesta ja rakeiden pinta-alasta (Binnie ja Kimber 2013, 269). Lisäksi veden pH-arvolla on vaikutusta, sillä sen laskiessa anionien adsorptio lisääntyy (Kivimäki 1992). Adsorptoituneet ionit voivat myös irrota rakeesta takaisin veteen, jolloin rakeen adsorptiokyky palautuu (Binnie ja Kimber 2013, 269).

Aina ei ole täyttä selvyyttä onko tämän kaltainen prosessi juuri adsorptiota vai onko kyse jonkinlaisesta muusta sitoutumisesta. Tällöin voidaankin puhua vain sorptiosta ja myös tästä syystä tämän luvun otsikko on mitä on.

2.4.3 Ioninvaihto

Ioninvaihto on fysikaalis-kemiallinen prosessi, jossa veden sisältämät kationit tai anionit vaihtavat paikkaa väliaineen sisältämien kationien tai anionien kanssa. Siinä missä adsorptio vähentää veteen liuenneita ioneja, ioninvaihto ainoastaan muuttaa veden ionikoostumusta. Maaperässä olevissa mineraalirakeissa ja orgaanisen aineen funktionaalisissa ryhmissä on sitoutuneena mm. H^{+}-ioneja. Imeytysvesi sen sijaan sisältää esimerkiksi Ca^{2+}-, Mg^{2+}- ja K^{+}- ioneja, joita myös emäskationeiksi kutsutaan (Lindroos ym. 2003, 75–80). Tekopohjaveden muodostuksessa imeytysveden tuomat emäskationit syrjäyttävät H^{+}-ioneja, jotka siirtyvät humuskerroksesta veteen. Tällöin humuskerroksen pH nousee ja veden pH laskee (Kivimäki 1992, 31; Lindroos ym. 2003, 75–76).

Sadetusimeytyksessä vesi imeytetään suoraan luonnollisen metsämaan humuskerroksen läpi, joka sisältää paljon orgaanisen aineen ioninvaihtopaikkoja. Kun sade-

tusimeytystä on tutkittu, on emäskationien havaittu syrjäyttävän H^+-ioneja niin paljon, että humuskerroksen pH voi nousta arvosta 5 arvoon 6. Tutkimuksissa kalsium ja magnesium jäivät emäskationeista parhaiten humuskerrokseen kiinni ja jo ensimmäisen sadetusvuoden jälkeen ne olivat saavuttaneet tasapainon vajoveden kanssa. Humuskerrokseen sitoutuneena emäskationit toimivat kasvien ravinteina. Imeytyksen päätyttyä kationit eivät poistu humuskerroksesta kahdenkaan vuoden kuluttua, vaan vaikutus on paljon pitkäaikaisempi (Helmisaari ym. 1999, 7, 14–24)

Kivimäen (1992) mukaan vaihtuvia kationeita ovat myös natrium, rauta ja mangaani. Kationien korvausherkkyys riippuu ionien koosta, varauksesta ja massavaikutuksesta eli pitoisuuksien suhteista. Maaperän koostumuksella ja orgaanisen aineksen pitoisuudella on myös väliä. Esimerkiksi savella on voimakkaampi ioninvaihtokyky sen rakeiden suuren reaktiopinta-alan tähden. (Kivimäki 1992, 31)

2.4.4 Liukeneminen & saostuminen

Metalliyhdisteet ja kemikaalit ovat joko liuenneessa tai saostuneessa eli kiinteässä muodossa. Tähän vaikuttaa lämpötila, pH, hapetus-pelkistystasapaino ja muiden aineiden pitoisuudet. Tekopohjaveden muodostuksessa nämä olosuhteet muuttuvat merkittävästi imeytymisen jälkeen, mikä saattaa johtaa erilaisten reaktioiden alkamiseen.

Imeytysvedessä on tietty määrä happea. Imeytymisen jälkeen ei happea enää liukene vaan sitä kuluu biohajoamiseen. Kun happea kuluu tarpeeksi, kääntyy hapetus-pelkistystasapaino pelkistyneen puolelle ja esimerkiksi rautaa ja mangaania alkavat liukenemaan maaperästä veteen (Binnie ja Kimber 2013, 188–189). Periaatteessa myös päinvastainen tilanne, jossa imeytysvedestä saostuu jotakin maaperään, on mahdollista, mutta sitä pidetään hyvin harvinaisena. Pääsääntöisesti tekopohjavesi sisältääkin enemmän epäorgaanisia aineita kuin imeytysvesi (Pääkkönen 2003, 22).

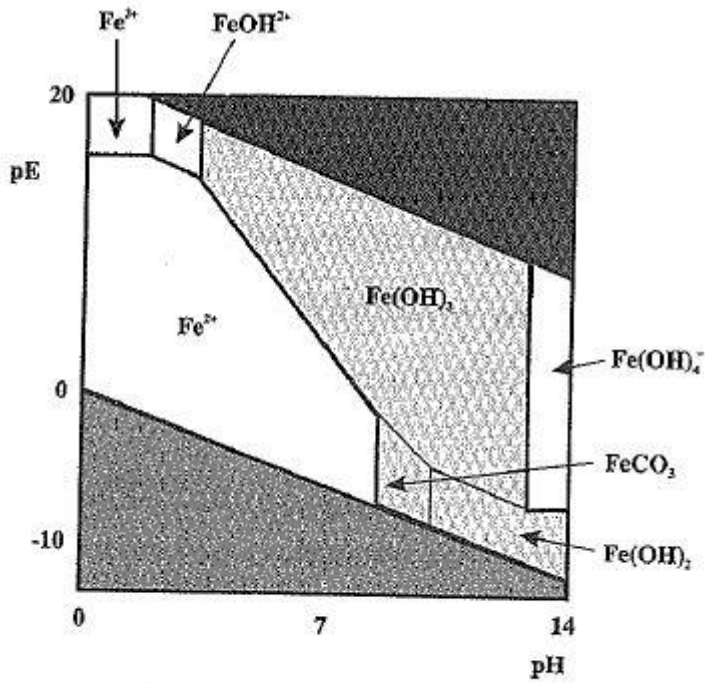


Fig. 5.4 A pE–pH diagram for iron incorporating carbonate species.

Kuvio 6. Raudan eri osaslajien liuenneet ja saostuneet muodot happamuuden ja hapetus-pelkistymisolosuhteiden muuttuessa. Harmaalla merkityt ovat tavallisesti saostuneita ja vaaleat taas liuenneita. (Kuva: Howard 1998)

Olosuhteiden muuttuessa eri osaslajit tulevat hallitsevaan asemaan kuvion kuusi tapaisesti. Kun pH on tarpeeksi korkealla ja redox-olosuhteet ovat hapettavia, on rauta pääsääntöisesti kiinteässä muodossa, kuten kuviossa seitsemän. (Howard 1998, 64)

Raja-arvot on laskettu eri osaslajien reaktioyhtälöistä. Esimerkiksi ferro-ionin hapettuminen ferri-ioniksi ja saostuminen $Fe(OH)_3$:ksi.

$$Fe^{2+} + 3H_2O \leftrightarrows Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^-$$

$$K = \frac{[H^+]^3 * [e^-]}{[Fe^{2+}]}$$

Tästä kun ottaa logaritmit ja oletetaan, että Fe^{2+}:n maksimi liukoisuus 10^{-5} mol/l niin saadaan rajaviiva:

$$pE = 22.2 - 3pH$$

(Howard 1998, 55–64)

Pelkistyneiden olosuhteiden ja happamuuden takia pohjavesi siis sisältää usein liuennutta rautaa ja mangaania. Näiden erottamiseksi vedestä täytyy vedenkäsittelylaitoksella vesi yleensä ilmastaa kyseisten metallien saamiseksi saostuneeseen muotoon, jonka jälkeen ne voidaan erottaa vedestä esimerkiksi hiekkapikasuodattimella. Tosin mangaanin hapettaminen ei käy yhtä helposti kuin raudan, koska mangaanin hapettuminen on hitaampaa ja vaatii korkeamman pH-arvon. (Binnie ja Kimber 2013, 188–191)

Kuvio 7. Esimerkkikuva kuinka rauta saostuu sadetusimeytyksessä päästessään kosketukseen ilman kanssa. Kuva ei ole Ahvenistonharjulta.

Tekopohjavedenmuodostuksessa raudan liukeneminen veteen on entistä todennäköisempää, koska imeytysvesi sisältää sadevettä enemmän orgaanista ainetta, jonka hapettamiseen kuluu runsaasti happea. Toisaalta imeytysvesi on yleensä pH-arvoltaan sadevettä korkeampi, joka voisi osaltaan johtaa olosuhteiden pysymiseen saostuneen muodon puolella.

2.4.5 Suotautuminen

Tämä on yksinkertainen ja täysin fysikaalinen puhdistumisprosessi. Jos hiukkaset ovat kooltaan suurempia kuin maaperän huokoset, suodattuvat ne maaperään. Tämä voi tapahtua aivan maaperän pintaosissa tai vasta syvemmällä jos huokoset pienentyvät syvemmälle mentäessä. (Kivimäki 1992, 29)

2.5 Tekopohjavesi Suomessa

Tekopohjaveden valmistus aloitettiin 1800-luvun alussa Ranskassa ja Skotlannissa Saman vuosisadan loppuun mennessä tekopohjavettä valmistettiin myös Englannissa ja Yhdysvalloissa (Rönkä, Hatva, Iihola 1977). Ruotsin ensimmäisellä tekopohjavesilaitoksella Göteborgissa vettä imeytettiin allasimeytyksellä ja laitoksen suunnitteli J. G. Richert vuonna 1898. Saman herran johdolla tutkittiin vuosina 1901–1903 mahdollisuuksia muodostaa tekopohjavettä Suomen Vaasassa. Vaasassa imeytettiin Sandholmeen Karperöjärven vettä 2500 m^2 altaassa ja 100 metrin päässä olevasta kaivosta pumpattiin vettä talteen. Allas meni kuitenkin nopeasti tukkoon ja pumpatun veden suolapitoisuus oli korkea. (Juuti, Katko 2006, 144–147)

Nämä tutkimukset eivät johtaneet varsinaiseen tekopohjaveden muodostukseen, joka alkoi varsinaisesti vasta vuonna 1929 Vaasassa. Pilvi- ja Kalliolammesta johdettiin vettä 1600 m pitkällä betonijohdolla Getinflyedin maaperään. Tätä jatkettiin vuoteen 1952 asti, jonka jälkeen siirryttiin pintaveden käyttöön. (Juuti, Katko 2006, 144–147, 197–208, 221–222).

Suomessa tehtiin tekopohjavesikokeita myös pääkaupunkiseudun vedenhankintaongelmaan liittyen. Vettä otettiin Keravanjoesta ja imeytettiin Tikkurilanharjuun Vantaalla vuosina 1912–1914. Tulokset olivat kuitenkin niin huonoja, että kokeilu jäi kokeiluksi. (Rönkä ym. 1977; Artimo, Puurunen 2007, 6)

Kun tekopohjaveden muodostus Vaasassa oli päättynyt, aloitettiin se seuraavan kerran vuonna 1970 Lappeenrannassa Hanhikempin tekopohjavesilaitoksella (Rajala 2000, 136), jossa imeytykseen käytettiin altaita (Mälkki 1999). Esimerkkiä seurasi vuonna 1972 Kouvola, Kittilä ja Sysmä (Rajala 2000, 136). Hanhikemppi on Suomen vanhin edelleen toiminnassa oleva tekopohjavesilaitos, mutta kaikista ensimmäinen se ei suinkaan ole, vaikka niin useissa teoksissa väitetään.

Kivimäen (1992) tekemässä Suomen varsinaisten tekopohjavesilaitosten kartoituksessa saatiin laitosten lukumääräksi 21, joista viidessä imeytystä tehtiin vain kausittain ja kahdessa imeytystä ei ollut tehty yli kymmeneen vuoteen. Imeytys ja pumppausmääriltään Suomen suurin tekopohjavesilaitos oli tuolloin Porin Harjakankaan laitos, jossa oli neljä imeytysallasta, joista käytettiin samaan aikaan vain yhtä tai kahta Vettä imeytettiin noin 20 000–28 000 m^3/d. (Kivimäki 1992, 44, 51, 55)

Kivimäen (1995) rantaimeytyslaitosten kartoituksessa löytyi 28 varsinaista rantaimeytyslaitosta, jossa yli 30 % vedestä oli imeytynyttä rantaimeytynyttä tekopohjavettä. Näistä kolmella oli käytössä myös suoria imeytysmenetelmiä. Lisäksi kartoitettiin 56 vedenottamoa, jossa rantaimeytystä tapahtuu vähän ja 133 vedenottamoa, jossa rantaimeytys on mahdollista. (Kivimäki 1995, 17, 28–29)

Katkon (2012) mukaan Suomessa oli 26 tekopohjavesilaitosta ja kaksi oli suunnitteilla. Näistä laitoksista 17:ssa käytetään allasimeytystä, 11:ssa sadetusimeytystä ja kaivo- sekä rantaimeytyslaitoksia on molempia yksi (Katko 2013, 63). Tosin Katkon luokituksessa Tuusulaa ei ole merkitty kaivoimeytyspaikaksi, eikä rantaimeytyslaitoksia ole otettu mukaan samalla tavalla kuin Kivimäen (1995) kartoituksessa. Vuonna 2014 Suomessa juomaveden valmistukseen käytettävästä raakavedestä noin 20 % oli tekopohjavettä, 35 % pohjavettä ja 45 % pintavettä (Vahala 2014).

Toinen vuonna 2012 suunnitteilla olevista tekopohjavesilaitoksista on suuri Vehoniemi-Isokankaan tekopohjavesihanke, joka kuuluu TAVASE Oy:lle (Katko 2013, 63). Se on puolestaan Tampereen ja Valkeakosken seudun vedenhankin-

tayhtiö, jonka tehtävä on valmistaa tekopohjavettä Tampereelle ja sitä ympäröiville seuduille. Se ei kuitenkaan vastaa vesijohtoverkostoon vaikuttavasti vedenlaadusta tai veden jakelusta asiakkaille, mikä jää osakkaiden hoidettavaksi. (Pöyry Finland 2011, 4)

TAVASE:n tekopohjavesilaitoksen mitoitus vuorokausikeskiarvona on 70 000 m^3/d (Pöyry Finland 2011, 11). TAVASE perustettiin vuonna 2002 ja vuonna 2003 valmistui hankkeen YVA. Tekopohjavesihanke vaatii runsaasti tutkimuksia ja jokaiselle TAVASE:n tutkimukselle on perustamisesta asti haettu lupaa. Jokaisesta tutkimusluvasta on valitettu. Suurimmat tutkimukset on saatu valmiiksi ilmeisesti vuoteen 2011 mennessä. Hanketta on käsitellyt ainakin Keski-Suomen ympäristökeskus, Pälkäneen kunnan ympäristölautakunta, Länsi-Suomen ympäristölupavirasto, Vaasan hallinto-oikeus ja korkein hallinto-oikeus. (Pöyry Finland 2011, 10–13)

Hankkeen ympäristölupa päätös on tulossa ilmeisesti toukokuussa 2015. Siitä tulisi Suomen toisiksi suurin tekopohjavesilaitos, heti Virttaankankaan jälkeen.

2.6 Tekopohjavesi muissa maissa

Siinä missä Suomessa ja Ruotsissa tekopohjavedenmuodostus on usein veden pääasiallinen puhdistusmenetelmä, monissa muissa maissa se on vain yksi osa kokonaisvaltaisempaa puhdistusprosessia. Muissa maissa tekopohjavedenvalmistuksen tavoitteena voi olla veden varastoiminen tai vain tasalämpöisen ja hygieenisemmän raakaveden saaminen. (Helmisaari ym. 2003, 11; Albrechtsen, Boe-Hansen, Henze, Mikkelsen 1998)

2.6.1 Keski-Eurooppa

Imeytysveden lähteet ovat esimerkiksi Keski-Euroopassa teollisuuden likaamia. Pohjavesivarat ovat pieniä ihmisten määrään verrattuna, joten tekopohjavettä jou-

dutaan muodostamaan käyttäen paljon huonolaatuisempaa imeytysvettä kuin Suomessa. (Kivimäki 1992, 35)

Keski-Euroopan maissa tekopohjavedenmuodostus on huomattavasti hankalampaa ja tapahtuu suuremmassa mittakaavassa kuin Suomessa. Amsterdamin kaupungin läheistä pohjavesiesiintymää käytettiin liian paljon hyväksi vuosina 1853 – 1956, jonka seurauksena merivettä alkoi virrata pohjavesiesiintymään ja juomakelpoisen veden saanti oli vaarassa. Ongelma ratkaistiin vuonna 1956 tuomalla 55 kilometrin päästä Reinin jokivettä dyynialueelle, jossa pohjavesiesiintymä sijaitsee ja jonne vettä alettiin imeyttää altaiden avulla. Imeytysvesi joudutaan kuitenkin saostamaan, selkeyttämään ja pikasuodattamaan ennen imeyttämistä, sillä Reinin joki on varsin likaista. Pohjavesiesiintymä ja miljoonien ihmisten vedensaanti pelastettiin ja hanke kannusti muidenkin kaupunkien vesiyhtiötä aloittamaan tekopohjavedenmuodostuksen Hollannissa. Samalla alkoi jokien ja arvokkaiden dyynipohjavesialueiden suojelu. (Horst 1998)

2.6.2 Kuivat maat

Todella kuivissa olosuhteissa tekopohjavedenmuodostuksesta saatua vettä ei välttämättä ole edes tarkoitus juoda. Muun muassa Australiassa on imeytetty hulevesiä ja jopa puhdistettuja jätevesiä osittain suolaisiin pohjavesiesiintymiin, joita käytetään vain kasteluveden hankkimiseen. Hule- ja jätevesiä on imeytetty Adelainessa kaivojen avulla noin 100 metrin syvyyteen esiintymään, jonka päällä on vettä läpäisemätön maakerros, mikä tekee esiintymästä paineellisen. Esiintymään imeytetään vettä talviaikaan kun taas kesällä, jolloin kasteluvedentarve on suurempi, esiintymästä pumpataan vettä samoja kaivoja käyttäen. Kyseistä tekniikkaa kutsutaan ASR:ksi (aquifer storage and recovery). (Bosher, Simms, Kracman 1998; Dillon, Pavelic 1998)

ASR-menetelmää on käytetty myös Yhdysvalloissa vuodesta 1969 asti, mutta siellä pohjavesiesiintymistä saatua vettä voi juoda. Kuten Australiassa, myös Yhdys-

valtojen ASR-kaivot ulottuvat syvälle maaperään ja esiintymä on vettä läpäisemättömän kerroksen alla. Pohjavesiesiintymien alkuperäinen vesi on sellaisenaan kelvotonta juomakäyttöön ilman tehokasta puhdistusta, esimerkiksi suurien suola, nitraatti tai fluoripitoisuuksien takia. Esiintymään imeytetty vesi sekoittuu alkuperäisen veden kanssa ja se otetaan käyttöön samasta kaivosta esimerkiksi hätätilanteen sattuessa tai kulutusmaksimien aikaan. (David ja Pyne 1998)

3 AHVENISTON TEKOPOHJAVESILAITOS

3.1 Varhaiset vaiheet

Jo 1800-luvulla oli ennustettu, että Hämeenlinnan kaupungin lähellä olevasta Ahveniston harjun maaperästä voitaisiin saada kylliksi hyvälaatuista vettä vesilaitostoimintaa varten. Tähän viittasi harjun keskellä olevan Ahveniston järven hyvä vedenlaatu. Tuolloin arveltiin, että harjussa liikkuu ”pohjavesisuonia”, joista voisi ”vedennostokoneella” saada runsaasti vettä. Hämeenlinnan vesilaitos perustettiin vuonna 1910 ja sen raakavetenä käytettiin pohjavettä, jota saatiin Ahveniston järven lähelle, Ämmänsuolle rakennetusta kahdesta putkikaivosta. Vesi pumpattiin harjun laelle rakennettuun ylävesisäiliöön, josta vesi jaettiin alas kaupunkiin. (Juuti, Rahala, Katko 2000, 17–59)

Ahveniston vesilaitos osoittautui varsin toimivaksi ratkaisuksi. Kahdesta kaivosta saatiin vettä noin 2400 m^3/d ja pohjaveden laatu oli hyvä, ainakin entisiin jätevedestä saastuneisiin kaupungin kaivoihin verrattuna. Kaksi ensimmäistä kaivoa palvelivat pitkään ja vasta vuonna 1940 tutkittiin YIT:n toimesta uusia kaivon paikkoja, jotka löytyivätkin aivan edellisten kaivojen läheisyydestä. Uudet kaivot valmistuivat 1943 ja niiden yhteiseksi antoisuudeksi arvioitiin 4300 m^3/d. (Juuti ym. 2000, 102–106).

Samassa YIT:n tutkimuksessa suositeltiin Ahvenistolle myös veden alkaloimista ja raudan poistoa, mutta sota-ajat viivästyttivät toteutusta. Ylävesisäiliötä laajennettiin ja sitä alettiin nyt kutsua vesitorniksi. Samoissa tiloissa vesi ilmastettiin eräänlaisella porrasilmastusjärjestelmällä. Kun veteen liukeni tässä vaiheessa happea, saostuivat rauta ja mangaani selkeytysaltaaseen, josta vesi virtasi vielä kolmelle hiekkasuodattimelle. (Rajala 2000, 107–108).

Toinen hyvä pohjavedenottopaikka oli löytynyt vuonna 1944 Kylmälahdesta Hattelmalanharjun pohjavesiesiintymästä, mutta sitä alettiin hyödyntää vasta vuonna 1969. Kylmälahdessa oli tuolloin viisi kaivoa vieri vieressä aivan laitoksen ku-

peessa. Vesi alkaloitiin soodalla ja myöhemmin lipeällä. (Juuti ym. 2000, 110–114)

Vuosina 1955–1979 oli Hämeenlinnassa käytössä myös Katumajärven pintavesilaitos. Noihin aikoihin Suomessa oli muutenkin kasvava trendi suosia pintavettä, mutta 1970-luvulta lähtien alkoi pohjaveden suosio jälleen nousta (Katko 2013). Myös Hämeenlinnassa päätettiin 1970-luvulla keskittää juomaveden valmistus pohjaveteen. Pintavedestä luopuminen pystyttiin toteuttamaan tekopohjaveden muodostukseen ryhtymisellä ja pohjavesilaitoksia laajentamalla. Pintavesilaitoksen jäädessä pois käytöstä Ahvenistolle rakennettiin viisi uutta kaivoa vuosina 1976–1978 ja itse laitos uusittiin vuonna 1981. Tästä lähtien Ahveniston vesilaitos on ollut Hämeenlinnan kaupungin päävesilaitos, josta Kylmälahden vesilaitoksen toimintaa ohjataan. (Juuti ym. 2000, 110–135)

3.2 Pohjavedestä tekopohjaveteen

Pitkin harjua ja sen pohjavesiesiintymää oli asennettu kymmeniä pohjaveden havaintoputkia 1970-luvun alusta lähtien (Suomen pohjavesitekniikka 1997, 6), joiden avulla seurattiin karua totuutta pohjaveden pinnan vaihteluista. Liitteessä 19 on kuva tyypillisestä havaintoputkesta. Vuosikymmenten aikana Ahveniston harjun pohjavesiesiintymän vedenpinta oli laskenut useita metrejä, sillä vuodesta 1946 lähtien vettä oli otettu enemmän kuin esiintymän luontainen antoisuus salli (Manninen 2002, 23–24). Tämä näkyi esimerkiksi arvokkaan Ahveniston järven vedenpinnan laskuna. (Rajala 2000, 136)

Ahvenistonjärvi on eräänlainen pohjavesijärvi, jonka vedenpinta on hyvin samalla tasolla pohjaveden pinnan kanssa. Liitteessä 11 näkyy pohjaveden ja Ahvenistonjärven pintojen erot. Järven vesi koostuu osaksi pohjavedestä ja eikä olisi täysin väärin kutsua sitä lähteeksi. Järvi on hämeenlinnalaisille arvokas virkistyspaikka. Lähimmät tuotantokaivot ovat parin sadan metrin päässä järven rannasta ja suurin osa kaivoista on noin 600 metrin päässä varsinaisella Ämmänsuon vedenottamol-

la. Karttakuva Ahvenistonjärvestä ja sen ympärillä olevista kaivoista on liitteessä 3.

Tekopohjaveden muodostuksesta lähdettiin hakemaan ratkaisua pohjavedenpinta-ongelmaan. Vuonna 1972 Hämeenlinnan kaupunginhallitus anoi lupaa tekopohjaveden muodostukseen. Vuonna 1971 kaupungin vedenkulutus oli 12 000 m^3/d, mutta tuolloin oli käytössä myös Katuman pintavesilaitos. Tuolloin ennustettiin, että vuonna 1980 vedenkulutus olisi 19 000 m^3/d ja vuonna 1990 noin 27 500 m^3/d. (Länsi-Suomen vesioikeus 1975)

Moiset ennusteet eivät toteutuneet vaan vedenkulutus lähti laskuun jätevesimaksu lain myötä, kuten myöhemmin kuviosta 15 nähdään.

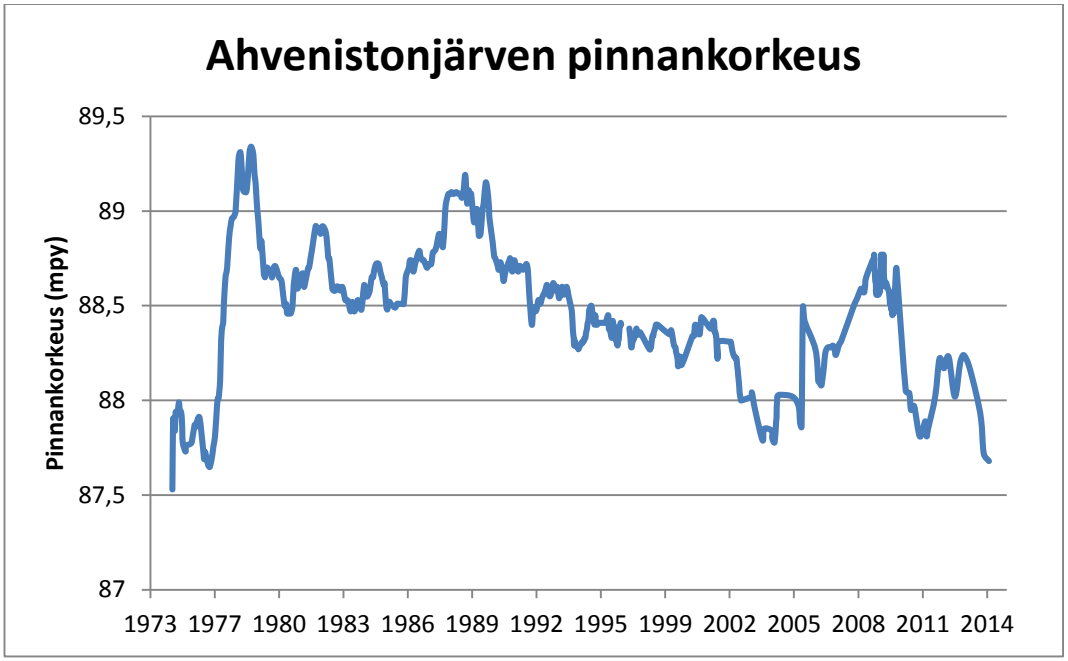
Alun perin oli tarkoitus rakentaa ensimmäisessä vaiheessa kaksi imeytysallasta, joilla saataisiin imeytettyä keskimäärin 5500 m^3/d. Seuraavassa vaiheessa oli tarkoitus rakentaa lisää altaita niin paljon, että vettä saataisiin imeytettyä keskimäärin 16 500 m^3/d (Länsi-Suomen vesioikeus. 1975).

Imeytysveden lähteenä päätettiin käyttää Alajärveä, jonne rakennettiin vedenottamo. Sieltä vesi pumpattiin noin 3400 metriä pitkää putkea pitkin Ahveniston harjuun. Tuo paikka on noin 1 km päässä Ahveniston ja 2,7 km päässä Kylmälahden vesilaitoksista kaivoineen. Liitteessä kaksi etäisyydet on esitetty kartalla. Harjulta pieni mäen laki leikattiin pois ja tilalle rakennettiin imeytysallas, johon vesi tuli kahdesta purkuputkesta. Toista allasta ei syystä tai toisesta rakennettu. (Juuti ym. 2000, 136–137)

Allas on edelleen paikallaan ja toiminnassa. Sen pinta-ala on noin 2700 m^2 ja syvyyttä tavallisesti noin metrin verran. Altaan suunnitteli Oy Vesi-Hydro Ab.

Kun allas otettiin käyttöön, ei ollut täyttä varmuutta kuinka paljon altaalla voisi vettä imeyttää. Arvioitiin, että maksimi imemiskyky voisi olla 11000 m^3/d ja tätä lähdettiin tavoittelemaan 18.8.1976 kun imeytys aloitettiin. Allas imi kaiken, mutta se johti pieneen tulvaan noin kilometrin päässä Ahveniston järven parkkipaikalla. Altaan imeytys opittiin kuitenkin pian hallitsemaan ja pohjaveden pinta palau-

tui muutamien kuukausien käytön jälkeen paremmalle tasolle kuten kuvio kahdeksan näyttää. (Juuti ym. 2000, 137)



Kuvio 8. Ahveniston pinnankorkeutta säädellään imeytyksen avulla. Pinta on jälleen huolestuttavan alhaalla. (HS-Veden tietokanta)

Allas toimi muutaman vuoden moitteettomasti, mutta alkoi sen jälkeen tukkeuta säännöllisesti, kuten imeytysaltaille on tapana. Altaalla pystyttiin imeyttämään suunnilleen alun perin tavoiteltu määrä eli 5000 m^3/d jos se ei ollut tukkeutunut, mutta lisäimeytykselle oli silti tarve. Vuonna 1985 Oy Vesi-Hydro Ab suunnitteli kaksi uutta imeytysallasta muutaman sadan metrin päähän ensimmäisestä altaasta. Uudet altaat rakennettiin samaan harjuun paikkaan nimeltä Holstila. Siinä oli ennen ollut soranottoalue, joka täytettiin joskus 1980-luvun alussa hieman kyseenalaisilla maa-aineksilla, kuten myöhemmin käy ilmi. Vanhojen suunnitelmien mukaan muita vaihtoehtoisia paikkoja altaille olivat muun muassa läheiset supat. Uusissa altaissa maa-aines oli karkeampaa reunoilla, joista vesi alkoi paremmin imeytymään maaperään. Kun uudet imeytysaltaat otettiin käyttöön, imeytystä pystyttiin jakamaan, eikä vanha allas tukkeutunut yhtä usein (Manninen 2002, 7). (Rajala 2000, 137–138; Juuti, Rajala 2011, 88–89)

3.3 Tekopohjavesitutkimusten aika

Ahveniston vesilaitokselle tulevassa raakavedessä oli 1990-luvun alussa ongelmana suuret rauta- ja mangaanipitoisuudet. Ensiksi ongelmasta yritettiin päästä eroon käyttämällä hyväksi Ahveniston vedenottamon vanhoja kaivoja hyväksi veden uudelleen imeytyksessä. Osa pumpatusta vedestä ilmastettiin ja uudelleen imeytettiin kahdesta vanhasta kaivosta takaisin maaperään. Vuonna 1993 uudelleen imeytetty vesimäärä oli 600 m^3 ja vuonna 1998 300 m^3. Tällä tavalla olosuhteet muuttuivat kaivojen läheisyydessä jälleen hapettaviksi, jolloin saatiin rauta- ja mangaanipitoisuuksiltaan vähäisempää vettä. Tätä kutsutaan VYR®- menetelmäksi (Suomen pohjavesitekniikka 1997, 4). Aluksi kyseinen järjestely toimi hyvin, mutta ajan mittaan imeytyskäytössä olleet kaivot tukkeutuivat ja rautapitoisuudet kohosivat jälleen. Jotain muuta oli keksittävä. (Rajala 2000, 116–117)

3.3.1 VIVA-hanke

1990-luku oli sadetusimeytyksen tulon aikaa. Myös Ahvenistolla päätettiin aloittaa sadetusimeytyskokeilu vuonna 1995 toivoen, että uudella imeytystavalla olisi vaikutus rauta- ja mangaanipitoisuuksiin. Samalla haluttiin välttää uusien altaiden ympäristöhaittoja ja imeyttää vettä mahdollisimman edullisesti. (Manninen 2002, 8)

Uuden imeytysmenetelmän vaikutuksia ei ollut tuolloin kuitenkaan vielä selvitetty, joten Ahveniston sadetusimeytyskokeilu oli hyvä mahdollisuus korjata asia. Metsäntutkimuslaitos suoritti kolmen vuoden tutkimuksen Ahvenistonharjulla yhdessä Hämeenlinnan kaupungin vesilaitoksen kanssa. Hankkeen rahoitukseen osallistui myös kolme siitä kiinnostunutta vesilaitosta, neljä ympäristökeskusta ja Suomen pohjavesitekniikka. Hanke nimettiin VIVA:ksi. (Manninen 2002, 8–9; Helmisaari ym. 1999, 5)

Tutkimuksissa haluttiin saada selville, mikä on vaikutus tekopohjaveteen ja kasvillisuuteen, kun vuotuinen sademäärä kasvaa yhtäkkiä noin 650 mm:stä jopa 10

metriin ja kun imeytyvän veden ravinnepitoisuus ja pH ovat korkeampia (Helmisaari 1999, 14–16). Vesilaitoksella kiinnosti tämän lisäksi edelleen sadetusimeytyksen vaikutukset tekopohjaveden happipitoisuuteen ja siten raudan sekä mangaanin liukenemiseen.

Joulukuussa 1995 perustettiin kolme koesadetuskenttää, jotka sijaitsivat II-ja III-altaiden länsipuolella olevalla jyrkällä harjun rinteellä. Hieman myöhemmin sadetuskenttiä tuli samaan paikkaan kolme lisää. I-altaan viereen perustettiin myös kaksi sadetuskenttää, mutta nämä eivät kuuluneet VIVA-tutkimukseen (Manninen 2015). Sadetuskentillä testattiin erilaisia sadetusmääriä eri vuodenaikoina eri reikäväleillä. Harjussa pidettiin myös kahta koealaa, joihin kasvillisuuden muutoksia verrattiin. Koeimeytykset jatkuvat vuodesta 1995 vuoteen 1998, mutta VIVA-tutkimus alkoi vasta kesällä 1996. Koeimeytysten jälkeen tutkittiin vielä koealojen kasvillisuuden palautumista. (Helmisaari 1999, 14 ja Liite 2)

Vesinäytteitä otettiin imeytys- vajo- ja pohjavedestä, joissakin tapauksissa jopa päivittäin. Pohjavesinäytteet kerättiin harjun havaintoputkista ja vajovesinäytteiden ottoon käytettiin levy- ja imulysimetrejä. Kairaamalla otettiin maaperänäytteitä kolme kertaa kesässä ja joitakin kertoja talvella. Seuraavina vuosina näytteidenotto vähentyi huomattavasti (Manninen 2002, 13).

Tutkimuksissa havaittiin ioninvaihdon voimistuminen, joka johti pH-arvojen ja ravinnepitoisuuksien muuttumiseen. Humuskerroksen pH-arvon kohoamisen takia orgaanisen typen mineralisaatio voimistui ja happamuudelle herkkä nitrifikaatio alkoi maaperässä (Helmisaari 1999, 82–83). Näitä asioita on käsitelty edellä luvuissa 2.4.1 ja 2.4.3.

Sadetusimeytys aiheutti selvää eroosiota ensin humuskerroksessa ja sen jälkeen kivennäismaassa, tosin tähän vaikutti myös jyrkkä rinne. Juurien paljastuminen altisti niitä pakkaselle ja sienitaudeille. Pääteltiin, että sadetussuihku ei saisi osua maahan liian kovalla paineella. Talvi-imeytysalalla eroosio oli vähäistä. Tästä pääteltiin, että on hyvä jättää välillä kasvukausi imeyttämättä, jolloin kasvillisuus pääsee sitomaan paljastunutta maata. (Helmisaari ym. 1999, 61–63)

Eniten suurista sademääristä ja ravinteisuuden muutoksista kärsivät aluskasvillisuus ja pensaat. Aluksi karuissa oloissa viihtyvät kasvit kärsivät, kun kosteammissa ja ravinteikkaammissa oloissa viihtyvät heinät ja ruohot menestyivät. Lopulta olosuhteet muuttuivat myös näille liian kehnoiksi (Helmisaari ym 1999, 63).

Puihin asennetut kasvupannat mittasivat niiden kasvussa tapahtuvia muutoksia. Näistä saatujen mittaustulosten ja aikaisempien vuosikymmenien puunkasvuun verrattuna, ei voitu sanoa, että sadetuksella olisi puiden kasvuun ainakaan negatiivista vaikutusta. Toisaalta eräs koeimeytysalalla suoraan vesisuihkun alapuolella ollut kuusi kasvoi merkittävästi enemmän sadetuksen aikana. Jotkin puut kärsivät lahovaurioista, mutta nämä olivat perua jo tutkimusta edeltäviltä ajoilta, eikä tutkimuksessa voitu osoittaa, että sadetus sitä lisäisi. Mitään systemaattista eroa koeimeytysalojen puiden ja vertailualojen puiden välillä ei silti havaitt. (Helmisaari 1999, 63–71)

Kaikki seitsemän sadetuskenttää jäivät tutkimusten jälkeen käyttöön. Viisi sijaitsee II ja III-altaiden vieressä ja kaksi I-altaan vieressä. Nykyään sadetuskenttien kasvillisuus poikkeaa selvästi luonnollisesta. Eniten käytetyillä kentillä aluskasvillisuus on hyvin niukkaa, mutta kuusi pystyy kasvamaan kaikille kentillä. Imeytysjärjestelyt ovat pysyneet sadetusimeytyksen aloittamisesta lähtien ainakin tähän päivään asti suunnilleen samana ja niitä havainnollistetaan liitteiden 6 ja 7 kuvissa. Yksi pH-tutkimuksissa ollut sadetuskenttä ei siirtynyt kuitenkaan lopulliseen tuotantokäyttöön (Manninen 2015).

3.3.2 Virtausmallinnus

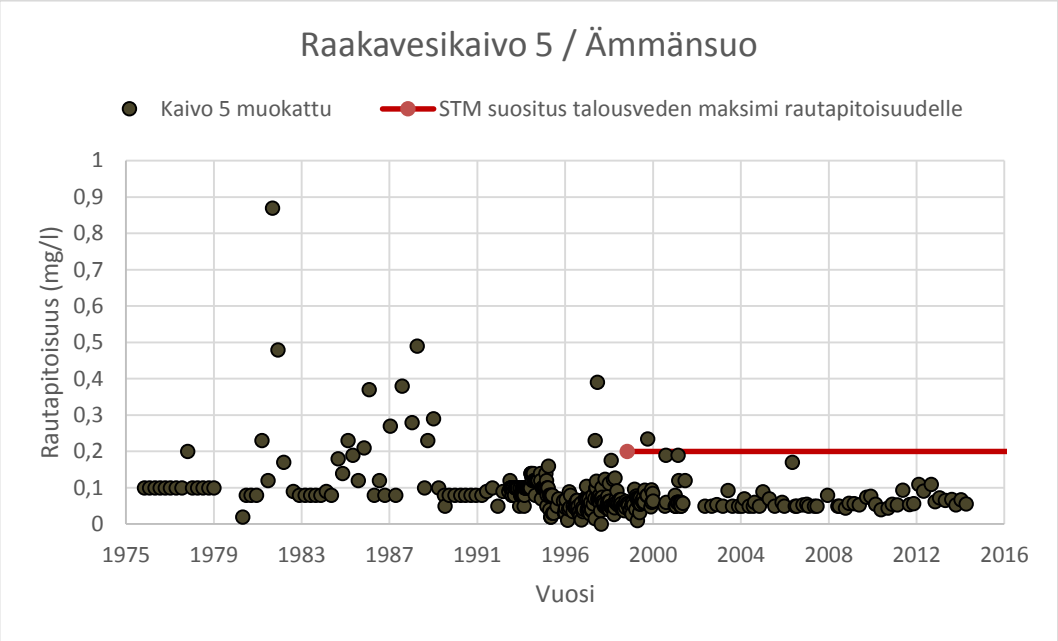
Samaan aikaan kun VIVA-tutkimukset olivat käynnissä, teki Suomen pohjavesitekniikka pohjaveden virtausmallia Ahveniston harjulta. Mallinnuksessa käytettiin vuosien mittaan kerääntyneitä mittaushavaintoja muun muassa sadannasta, imeytyskertoimista ja pohjavedenkorkeuksista. Niitä täydennettiin mittaamalla pohjavedenkorkeuksia havaintoputkista koeimeytysten ollessa meneillään. Mallinnus

simuloi veden liikkeitä harjussa, käyttäen hyväksi syötettyjä lähtötietoja. (Suomen pohjavesitekniikka 1997, 12; Manninen 2002, 21)

Mallinnuksella saatiin varmuutta pohjaveden liikkeistä ja sen tulokset viittasivat vahvasti siihen, että Ahveniston ja Hattelmalanharjujen välissä on jonkinlainen pohjavedenjakaja. Kun Ahvenistolta pumpataan noin 9000 m^3/d, on viipymä imeytysalueelta noin 90 päivää. Lisäksi tehtiin simulointiajo poikkeustilanteesta, jossa imeytettäisiin 15000 m^3/d ja vettä otettaisiin Ahvenistolta 16000 m^3/d. Mallinnuksen mukaan tällaisessa tilanteessa imeytysalueella pohjavedenpinta nousisi 0,6 m ja vastaavasti Ahveniston vedenottokaivoilla se laskisi noin metrin verran. Tällöin pohjavesivarastosta poistuisi noin 180 000 m^3 vettä ja viipymä kaivoille olisi 50 päivää. Hämeenlinnan kaupungin vedentarve pystyttäisiin poikkeustapauksessa tyydyttämään Kylmälahden ollessa täysin poissa käytöstä ilman haitallisia ympäristövaikutuksia, mutta pitempiaikaisella käytöllä olisi vaikutus vedenlaatuun. (Suomen pohjavesitekniikka 1997, 17–18)

Sadetusimeytyksen ansiosta veden happipitoisuus pysyi parempana ja imeytysveden mukana tuleva rauta jäi maaperän pintavyöhykkeeseen (Suomen pohjavesitekniikka 1997, 11, 19; Helmisaari 2003, 122). Kuviossa yhdeksän näkyy Ämmänsuon pitkään käytössä olleen kaivo 5:n rautapitoisuuksia vuosien varrelta.

Sadetusimeytyksen käyttöönoton jälkeen satunnaiset korkeat rautapitoisuudet monessa kaivossa ovat hävinneet. Osassa Ahveniston vanhimmista kaivoista on kuitenkin pysyvästi korkeammat rautapitoisuudet. Ne olivat pitkään pois käytöstä, mutta Ahveniston vesilaitoksen saneerauksen yhteydessä 2014, otettiin käyttöön uudestaan hiekkapikasuodatus, minkä jälkeen vanhojakin kaivoja on voitu jälleen käyttää.



Kuvio 9. Varhaiset rautamittaukset tehtiin epätarkalle mittaustavalla, jolloin pienin mahdollinen kirjattu pitoisuus oli 0,1 mg/l. Todellisuudessa pitoisuudet ovat olleet tätä pienempiä. VIVA-tutkimusten aikaan käytettiin tavallista tarkempia mittausmenetelmiä rautapitoisuudet määrittämiseksi ja näytteitä otettiin runsaasti enemmän. (Kuvaajan tiedot HS-Veden tietokannasta)

3.3.3 TEMU-hanke

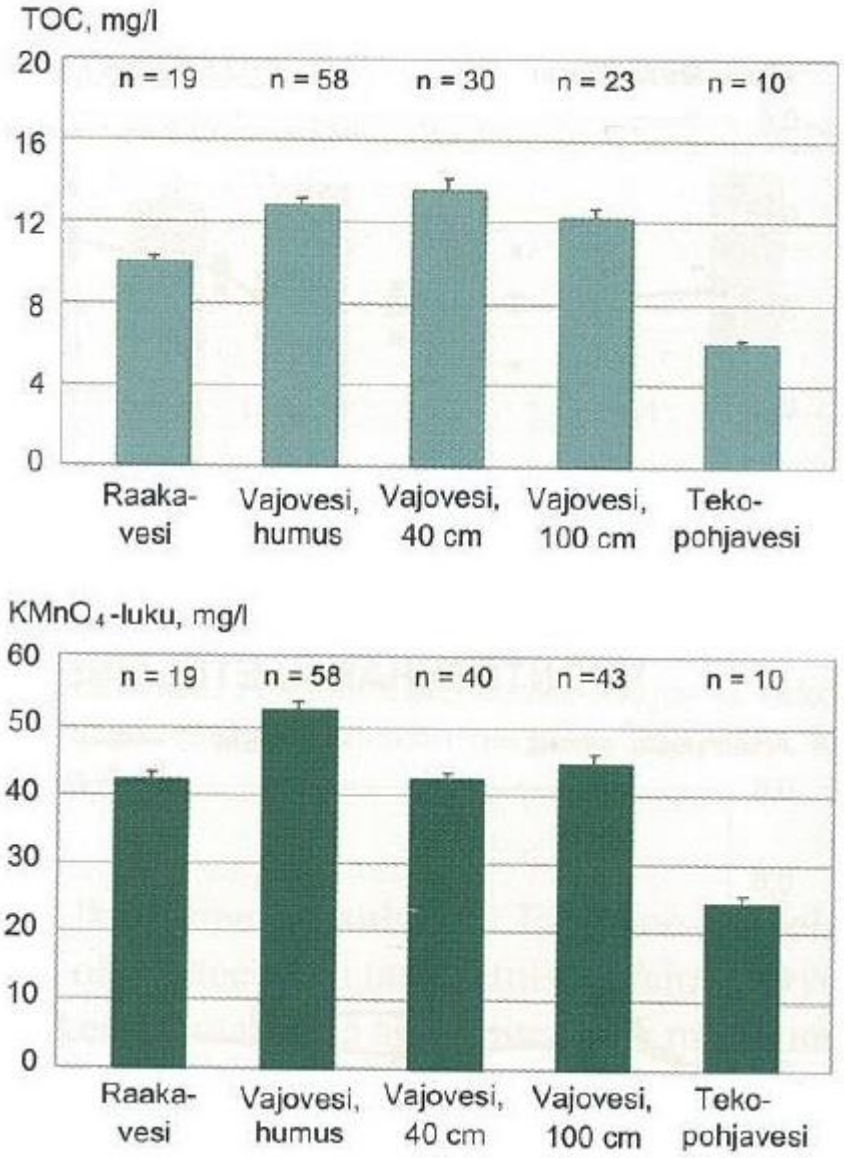
VIVA-tutkimuksien loputtua 1998 siirryttiin lähes heti uuden TEMU-tutkimuksen pariin, joka on jo aiemmin mainittu. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tekopohjaveden muodostusprosessin tutkiminen ja se kesti neljän vuotta (Helmisaari ym. 2003, 7). Tässä hankkeessa tutkimuksia tehtiin Ahveniston lisäksi Vuonteenharjun, Pursialan, Rusutjärven ja Jäniksenlinnan tekopohjavesilaitoksilla. Kyseinen tutkimus lienee merkittävin Suomessa tehty tutkimus tekopohjavedestä.

Ahveniston vesilaitosta kiinnosti erityisesti kuinka suuri osa orgaanisesta aineesta hajoaa maaperässä. Se osuus joka pidättäytyy maaperään aiheuttaa tukkeutumista ja ilman puhdistusta harju menettää ajan mittaan puhdistuskykynsä. (Manninen 2002, 14)

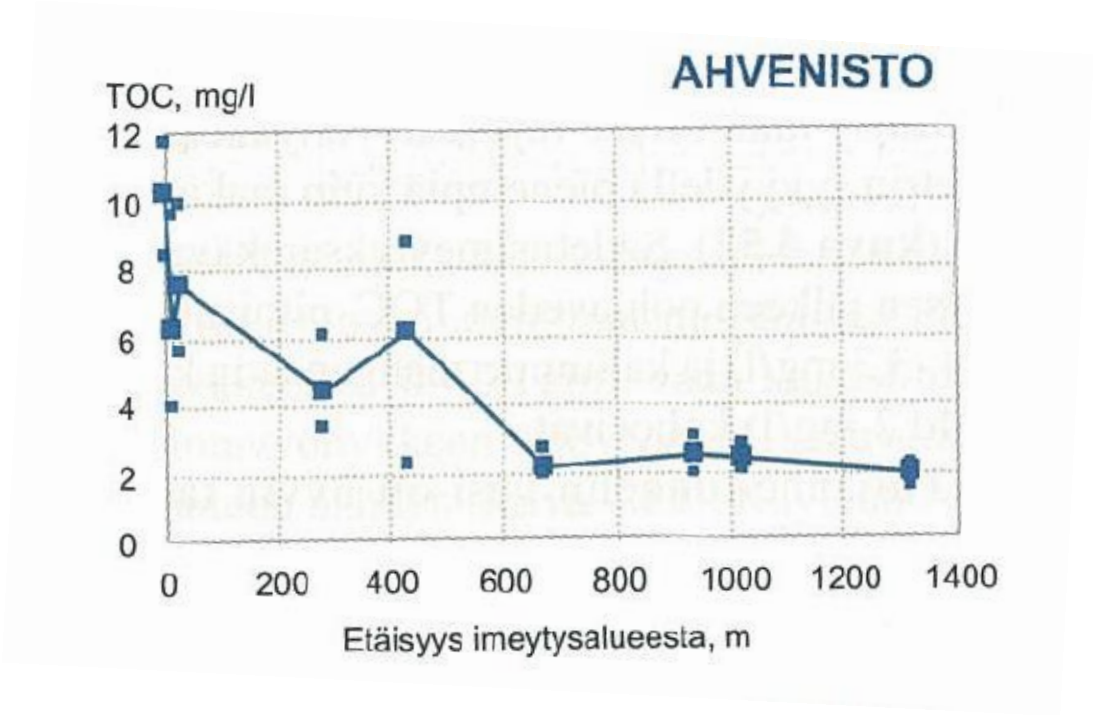
TEMU-hankkeessa yhden sadetuskentän pH-arvon palautumista seurattiin muutaman kuukauden ajan. Muiden sadetuskenttien seuraaminen päättyi ja ne siirtyivät tuotantokäyttöön (Manninen 2015). Lisäksi syksyllä 1999 käytettiin erikoisporaa Ahveniston ykkösimeytysaltaan maaperän ja sen biologisen tilan tutkimiseen (Manninen 2002, 15). Kyseinen allas on vanhimpia, mitä Suomessa on edelleen imeytyskäytössä. Vesinäytteitä otettiin jälleen eri syvyyksistä havaintoputkia ja lysimetrejä käyttäen. (Helmisaari 2003, 35–37)

Pitkään oli vallalla käsitys, että imeytettävän veden sisältämä liukoinen orgaaninen aines puhdistuu vedestä parhaiten aivan imeytyksen alkuvaiheessa. TEMU-tutkimuksessa havaittiin yllättävästi, että kokonaishiilipitoisuudessa, jolla orgaanisen aineen poistumaa tutkittiin, ei suinkaan tapahtunut odotetun suuruista vähentymistä pintavyöhykkeissä, vaan vasta paljon myöhemmin kuvioiden 10 ja 11 tapaan. Ahveniston tapauksessa sadetus paksuun humuskerrokseen päinvastoin lisäsi orgaanisen aineen määrää vajovedessä. Tutkimuksen loppupäätelmänä oli, että suurin osa orgaanisen hiilen vähenemisestä tapahtuukin vasta pohjavesivyöhykkeessä, ainakin niillä tekopohjavesilaitoksilla, jotka tutkimukseen osallistuivat. (Helmisaari ym. 2003)

Tämä havainto oikeastaan perustelee kaivoimeytyksen käytön. Jos pintakerroksilla ei ole suurta merkitystä puhdistumisen kannalta, ei ole syytä miksi vettä ei voisi imeyttää suoraan syvemmällekin, esimerkiksi kaivoimeytyksellä.



Kuvio 10. Ahvenisto paksu humuskerros nosti liukoisen orgaanisen aineen pitoisuutta sadetusimeytyksessä. Tekopohjavesi tarkoittaa tässä tapauksessa imeytysalueen vieressä olevasta havaintoputkesta otettua vettä. (Kuvat: Helmisaari ym. 2003, 110)



Kuvio 11. Ahvenistolla vesi puhdistuu orgaanisesta aineesta 600 metrin matkalla, jonka jälkeen TOC-pitoisuus vakiintuu tasolle 2 mg/l. Imeytyksen ja vedenoton välinen matka ja viipymä ovat siten riittäviä. (Kuva: Helmisaari ym. 2003, 112)

Hiilidioksidipitoisuuksia ja orgaanisen aineen vähenemistä vertaamalla etsittiin vastausta Ahveniston vesilaitosta askarruttaneeseen ongelmaan orgaanisen aineen kohtalosta. Pitoisuuksien laskelmissa oli kuitenkin monia epävarmuustekijöitä ja tulokset eivät olleet kovin tarkkoja. Suuntaa-antavana tuloksena voitiin kuitenkin sanoa, että Ahvenistolla maaperään pidättäytymisellä on biohajoamista suurempi merkitys orgaanisen aineen vähenemässä. (Helmisaari ym 2003, 115)

Koeimeytysten aikana ammoniumin ja kokonaistypen pitoisuudet olivat melko alhaiset, mutta kun imeytys lopetettiin, ne kohosivat merkittävästi. Tämä johtui siitä, että mineralisaatio ja nitrifikaatio jatkui, vaikka sadetus oli jo loppunut. Lopuksi arvioitiin nitraattitypen huuhtouman määrää metsämaasta. Kun koealojen yhteispinta-ala arvioitiin hehtaariksi, vuosittainen sadanta 600 mm ja tästä pohjaveteen suotautuvaksi määräksi 200 mm, saatiin huuhtoumaksi sadetusimeytyksen jälkeiseksi vuodeksi 37–59 kg NO_3-N/ha/a. Tätä pidettiin erittäin suurena, sillä luonnossa huuhtouma on enimmillään noin 40 kg NO_3-N/ha/a. Kolmantena vuon-

na koesadetuksen jälkeen huuhtouma oli vielä 2 kg NO_3-N/ha/a, joka sekin on Ahveniston luonnollista suurempi. (Helmisaari ym. 2003, 81–83) Nitraattitypen huuhtouma on sikäli huolestuttavaa, että se on ravinteena pois kasveilta.

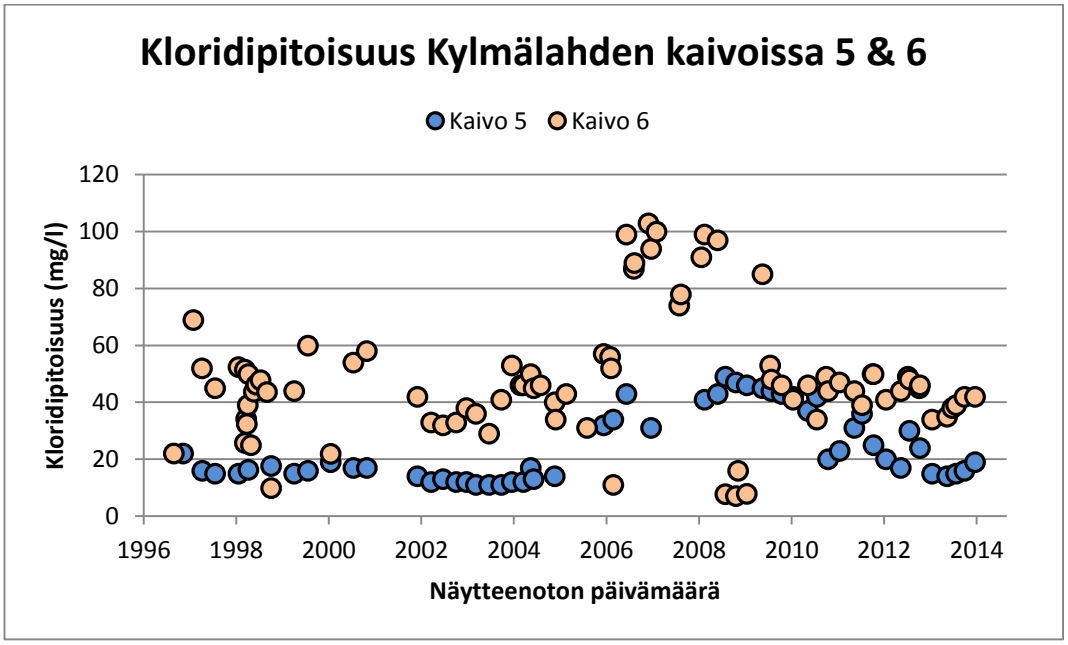
3.4 Myöhempien aikojen tapahtumat

TEMU-hankkeen jälkeen tekopohjaveden muodostumiseen liittyviä tutkimuksia oli Ahvenistolla tehty tarpeeksi. Sen jälkeen hankkeet ovat keskittyneet pohjaveden virtausten tutkimiseen ja pohjaveden suojeluun.

3.4.1 Pohjavesien suojelusuunnitelma

Hattulan, Hämeenlinnan, Kalvolan ja Rengon pohjavesialueiden suojelusuunnitelma on osa laajempaa Salpausselkä-hanketta, jonka tavoitteena on pohjaveden suojelun edistäminen. Suojelusuunnitelma valmistui vuonna 2006 ja se kattoi kaikki alueen 37 pohjavesialuetta. Aikaisempi pohjavesien suojelusuunnitelma oli vuodelta 1994. Vesilaissa määritetään pohjavesien muuttamis- ja pilaamiskielto ja suunnitelman tavoitteena oli selvittää mitä käytännön toimia tarvitaan näiden noudattamiseen. (Pohjavesien suojelusuunnitelma 2006, 1)

Ihmistoiminnan aiheuttamia tyypillisimpiä pohjavedenlaatuun vaikuttavia tekijöitä on tiesuolauksesta aiheutuva kloridipitoisuuksien ja peltojen lannoituksista aiheutuva typpiyhdisteiden pitoisuuksien kasvu. Sosiaali-ja terveysministeriön, eli STM:n talousveden suositusarvo kloridin enimmäispitoisuudelle on 250 mg/l, joka harvoin ylittyy, mutta putkistojen syöpymisen ehkäisemiseksi kloridin tulisi olla alle 25 mg/l, mihin ei aina päästä. Esimerkiksi Kylmälahden kaivossa K6 on kloridipitoisuus ollut tavallisesti 40–60 mg/l, katso kuvio 12. (Pohjavesien suojelusuunnitelma 2006, 24)



Kuvio 12. Kaivo 6 on lähempänä tietä kuin kaivo 5. Molemmissa on kuitenkin havaittavissa runsaammin kloridia vuosina 2006–2008.

Kylmälahden kaivon K6 korkeat kloridipitoisuudet johtuivat tiesuolauksista, joita tehdään läheisillä valtateillä 3 ja 10. Kylmälahden vesilaitos sijoittuu aivan näiden risteyskohtaan, eikä valtateiden liittymäalueilla tehdyt ensimmäiset pohjavesisuojaukset kyenneet estämään tiesuolan päätymistä pohjaveteen. Liitteessä 4 on esitettynä Kylmälahden alueen karttakuva. Pohjavesialue ja myös sen muodostumisalue kulkee aivan risteyskohdan alitse, joten myös onnettomuusriski erityisesti vaarallisten kuljetusten osalta lisäsi riskiä. (Pohjavesien suojelusuunnitelma 2006, Liite 2)

Muita pohjavesiesiintymien riskejä Ahvenistonharjulla ja Hattelmalanharjulla olivat muun muassa öljysäiliöt, ampumaradat, hulevesisuppa, moottorirata ja vanha akkupurkaamo (Insinööritoimisto Reijo Ristola 2006, Liite 2). Liittymäalue ei ollut riskeistä aivan merkittävin, mutta tämän opinnäytetyön kannalta oleellinen.

3.4.2 Hattelmalanharjun pohjavesiesuojaus

Valtateiden 3 ja 10 liittymän ja niiden viereisen maantien 130 pohjavesisuojaustyöt alkoivat vuonna 2010. Töiden ensimmäisen vaiheen rakentajana vuonna 2010 toimi Destia Oy ja seuraavana vuonna Lemminkäinen Infra Oy. Työn tilaajana oli Uudenmaan ELY-keskus ja HS-Vesi antoi suunnittelua varten lähtötietoa pohjaveden korkeuksista ja laadusta, joita kerätään alueen havaintoputkista ja kaivoista. Töiden alkamista edelsi parin vuoden esiselvitys alueen aikaisemmista pohjavesien suojauksista, sopivan alueen rajaamisesta ja alueilta kerättävien sadevesien pois johtamisesta. (Uudenmaan ELY-keskus 2012, 6; Destia 2009, 4)

Veden imeytymisen kannalta merkittävin suojauksista oli bentoniittimatto, jonka päälle tuli ohutmuovi, salaojakerros, suodatinkangas, murskeesta koostuva suojaverhous ja kasvualusta. Bentoniitti tiivistyy veden kanssa, jolloin se ja ohutmuovi luovat vettä läpäisemättömän kerroksen. Tämän päällä salaojakerros ja sen putkisto kuljettaa veden ja samalla tiesuolan ja muut mahdolliset haitta-aineet toisaalle. Tällaisia rakenteita sijoitettiin lähes kauttaaltaan teiden ja ramppien reunoille 6–10 metrin etäisyydelle työalueella. (Destia 2011, 7–10; Destia 2012)

Pohjaveden suojauksen haittapuolena on, että sadeveden imeytyminen ja siten pohjaveden muodostuminen alueella vähenee, varsinkin kun merkittävin muodostumisalue kulkee juuri suojausten kohdalta. Suojausten alueelta vettä ei periaatteessa pitäisi imeytyä laisinkaan vaan se kulkeutuu hulevesiputkien ja ojien kautta Vanajaveteen. Kaikki tämä vesi on pois siitä vedestä, josta muodostui pohjavettä ja joka virtasi Kylmälahden kaivoille (Destia 2011, 10).

Pohjavesisuojausalueen kokonaispinta-ala on noin 25 ha. Varsinaisten pohjavesisuojausten pinta-ala on noin 8,8 ha (Koski 2015). Aikaisemmin tiealueeltakin vesi valui viheralueelle ja imeytyi, joten myös tiealueen pinta-alakin täytyy ottaa huomioon. Kun kokonaispinta-alasta vähentää liittymien väliin jäävät viheralueet, joista vesi oletettavasti pääsee edelleen imeytymään, tulee pohjaveden imeytymiseen vaikuttavan pinta-alan vähenemäksi noin 22 ha. Jos vuosittaiseksi sademääräksi arvioidaan 550–650 mm ja, että ennen suojauksia alueelle tulevasta sateesta

imeytyi maahan 40–60 %, niin pohjaveden muodostuksen vähenemä uusien suojausten takia on noin 160–240 m^3/d. Näissä laskelmissa ei oteta huomioon alueella jo olleita, toimimattomia pohjavesisuojauksia.

3.4.3 Isotooppitutkimus

Hapen isotooppijakaumaa tutkimalla voidaan saada selville veden alkuperä. Pintavedet ovat alttiina haihtumiselle, jolloin veden $^{18}O/^{16}O$-suhde on korkea. Pohjavedessä tilanne on päinvastainen. Pintaveden ja pohjaveden sekoitussuhteiden avulla voidaan laskea, kuinka suuri osa on luonnollista pohjavettä, ja kuinka suuri osa on vastaavasti pintavettä, toisin sanoen tekopohjavettä. (Ikäheimo, Mäki-Torkko 2009, 2)

Konsulttiyhtiö Pöyry suoritti syyskuussa 2009 ja 2010 isotooppitutkimuksen Ahveniston- ja Hattelmalanharjujen alueella. Vesinäytteitä otettiin lähinnä havaintoputkista pitkin harjua ja tuotantokaivoista, mutta myös Ahveniston järvestä. Tarkoituksena oli selvittää kuinka suuri osa Ahveniston tuotantokaivojen vedestä on oikeastaan Alajärveltä ja virtaako imeytysalueelta tekopohjavettä Kylmälahden suuntaan.

Tuotantokaivojen tekopohjaveden osuus vaihteli 34–68 % välillä. Suurimmat pintaveden osuudet olivat imeytysaluetta lähimmissä Ahveniston kaivoissa K4 ja K8. Tutkimusalueen molemmilta reunoilta löytyi kaksi havaintoputkea, joista ei löytynyt käytännössä yhtään tekopohjavettä. Ensimmäinen näistä HP9402 on kaukana imeytysalueelta kaakkoon Kylmälahdesta ja toinen HP9414 Ahveniston järven pohjoispuolella. Tästä pääteltiin, että tekopohjavesi virtaa Ahveniston järven kautta eteenpäin pitkittäisharjussa, eikä sen vierestä.

Ahveniston kaivojen keskimääräinen tekopohjaveden osuus on 64 %, kun Kylmälahdessa se on 39 %. Suomen pohjavesitekniikan vuonna 1996 tekemässä virtausmallitutkimuksessa Ahveniston tekopohjaveden osuudeksi arvioitiin 83 % ja

Kylmälahden 17 %. Kylmälahden suuntaan tosiaan kulkeutuu vettä imeytysalueelta, mutta selvästi vähemmän kuin Ahvenistolle.

3.5 Harjujen maaperätutkimus

Vuonna 2013 valmistui GTK:n tekemä pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys, joka kattoi Parolan-, Ahveniston- ja Hattelmalanharjut. Tutkimuksessa selvitettiin kalliopinnan korkeutta, pohjavedenpintaa ja maakerrosten rakenteita. Tuntemalla nämä tiedot saadaan muun muassa parempi kuva pohjaveden virtausolosuhteista ja pystytään varautumaan pohjavettä uhkaaviin onnettomuustilanteisiin. Tutkimukseen liittyvien kairauksien ohella rakennettiin kaikkiaan 14 havaintoputkea lisää.

Tutkimuksissa tultiin samaan lopputulokseen kuin vuoden 1997 pohjavesimallinnuksessa. Harjujaksossa on Kylmälahden ja imeytysalueen välissä vedenjakaja, joka muodostuu jonkinlaisesta vettä huonosti johtavasta kerroksesta. Tämä muodostuma jakaa pohjavedenvirtauksia niin, että imeytysalueelta vesi virtaa lähinnä luoteeseen kohti Ahvenistoa, eikä kaakkoon kohti Kylmälahtea.

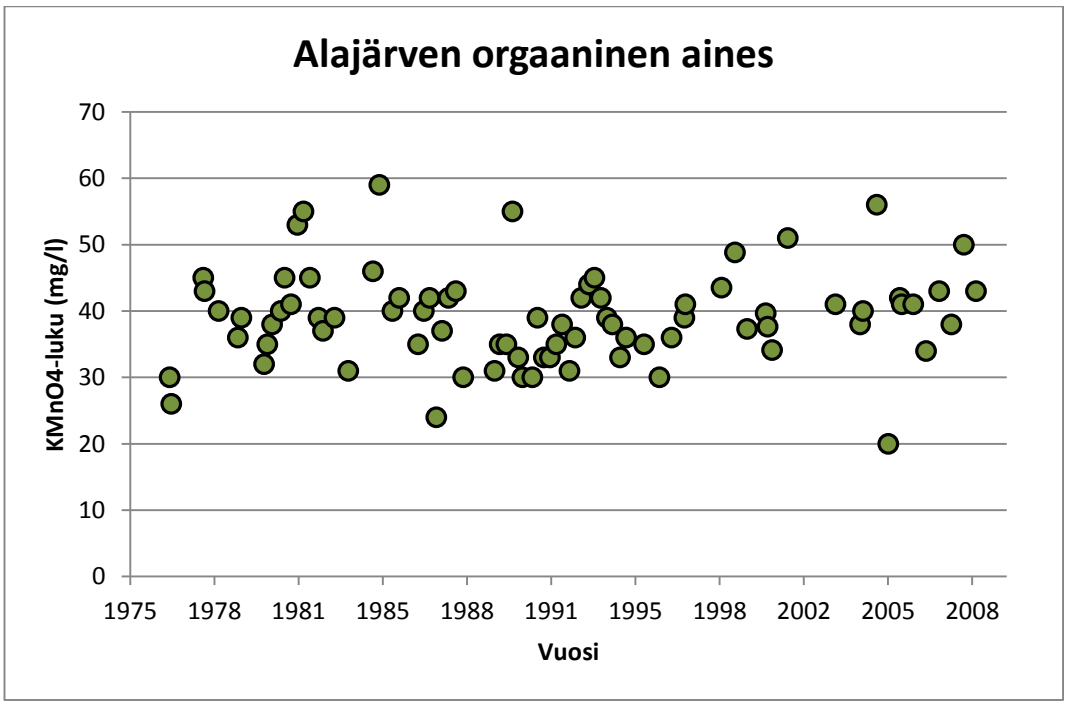
Viimeistään tässä vaiheessa oltiin varmoja pohjavedenjakajasta, joka selittää myös isotooppitutkimuksen tuloksia Kylmälahden vähäisestä tekopohjaveden osuudesta.

3.6 Nykyinen imeytysjärjestelmä

3.6.1 Imeytysvesi

Imeytysvesi otetaan edelleen Alajärven Saunalahdesta, jonka rannalla on pumppaamorakennus. Vesi tulee imusiivilän läpi 335 m pitkää putkea pitkin rakennuksen alakerrassa olevaan tilaan, josta kaksi keskipakoispumppua imee vettä järvestä ja pumppaa kohti imetysaluetta.

Alajärven rannalla on kesämökkejä ja yleinen uimaranta matonpesupaikkoineen. Maakaistale erottaa uimarannan ja imeytysveden ottokohdan toisistaan. Kun aikaisemmin uimarannalla on ympäristötarkastajien toimesta havaittu esimerkiksi sinilevää, ei sitä ole kuitenkaan havaittu imeytysvedessä. Alajärven vesi on yleiseltä laadultaan keskinkertaista. $KMnO_4$- luku on usein 30–50 mg/l kuvion 13 tapaan. Koska viipymä imeytyksestä vedenottoon on noin 90 päivää, sopii se Rönkän ym. (1977) arvioon sopivasta esikäsittelemättömästä imeytysvedestä.



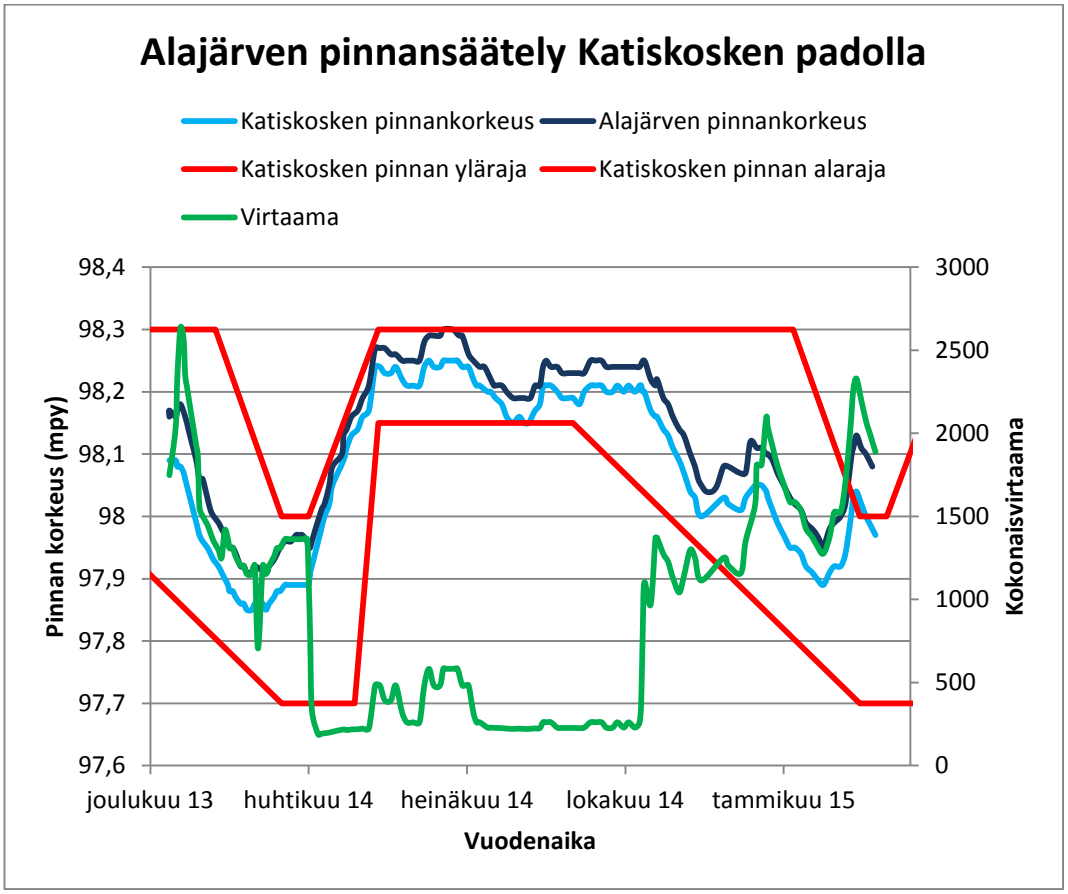
Kuvio 13. Alajärven orgaanisen aineen määrä on pysynyt tasaisena. Korkeimmat $KMnO_4$-luvut ovat keväältä ja loppusyksystä (Kuvaajan tiedot HS-Veden tietokannasta)

Pumpattu imeytysvesi kulkee 3300 m pitkän putken kautta imeytysalueelle. Putki kulkee metsän ja pellon alta ja sen varrella on neljä ilmanpoistokaivoa, joissa on kaksivaiheiset automaattiset ilmanpoistajat. Putken alkupää on vuotanut ja korjattu ainakin vuosina 1978 ja 1984. Putken loppuosaa on korjattu vuonna 1997 sujuttamalla, ja tämä on pienentänyt putken halkaisijan alkuperäisestä 500 mm:stä ilmeisesti 400 mm:iin.

3.6.2 Katiskosken pato

HS-Veden täytyy säännöstellä Alajärven vedenpintaa Katiskosken padolla. Padolla hallitaan Alajärvestä poistuvan veden määrää ja siten padon ylävirrassa olevien järvien pintaa. Henkilökunta pitää säännöstelyohjeen mukaista tarkkaa kirjanpitoa padon virtaamasta ja vedenkorkeudesta ja tarvittaessa pienentää padon virtaamaa Alajärven pinnan pitämiseksi sopivana.

Hämeenlinnan kaupunki ryhtyi hoitamaan padon juoksutusta vuonna 1975 osana tekopohjaveden muodostamista. Länsi-Suomen vesioikeus antoi tuolloin päätöksen, jossa määriteltiin vesimäärät joita Alajärvestä sai ottaa tekopohjaveden muodostukseen sekä ala- ja ylärajat Alajärven pinnalle eri vuodenaikoina. Vettä sai ottaa 6 milj. m^3/a, mutta enintään 20 000 m^3/d. Vettä ei saanut ottaa ollenkaan, jos vesi Katiskoskella laski liian alhaiseksi. Kevättulvan aikoihin padon virtaamaa tuli lisätä, jotta Alajärven vedenpinta ei nousisi liikaa sulavesien johdosta ja jotta alavirralla toimiva voimalaitos saisi riittävästä vettä. Toisaalta virtaama ei saanut kasvaa liikaa, jotta alavirrassa olevien maanviljelijöiden pellot eivät olisi tulvineet liikaa. Kuvio 14 kuvaa vuoden aikaista padon säätelyä.



Kuvio 14. Lumet ovat sulaneet viime vuosina tavallista aikaisemmin, minkä seurauksena suurin virtaama on saattanut jo kulkea padon läpi, kun siihen luvan mukaan pitäisi alkaa varautumaan patoamalla aukkoja. (Kuvaajana tiedot HS-Veden tietokannasta)

Alkuperäisessä säännöstelyssä kevättulvan aikainen juoksutus oli liian suuri, jonka seurauksena Alajärven pinta laski keväisin niin alas, että imeytysvedenotto jouduttiin keskeyttämään noin kuukaudeksi. Vuonna 1981 säännöstelyyn haettiin muutos, jossa kevättulvan aikaista juoksutusta vähennettiin. Voimalaitosta ei enää ollut ja maanviljelijöiden tulvariski pieneni. Alajärven rantatonteilla vesi ei noussut liikaa ja varmuus imeytysveden saamisesta parantui. Kuivien kesien aikana on ollut kuitenkin imeytyskatkoksia, kun Alajärven pinta on laskenut liikaa (Manninen 2015).

3.6.3 Imeytysalue

Imeytysalueella on tällä hetkellä kolme imeytysallasta ja seitsemän sadetuskenttää. Imeytysalueen vieressä olevalla harjun huipulla on yläkaivo, jonne vesi pumpataan Alajärveltä. Ennen yläkaivoa on noin vuonna 1995 tehty haara, josta otetaan kahdelle sadetuskentälle vettä. Yläkaivosta vesi valuu painovoimaisesti muihin imeytysjärjestelmiin. Ensimmäisestä jakokaivosta vesi haaraantuu I-altaaseen ja toisesta jakokaivosta II-ja III-altaisiin. Näiden jakokaivojen välistä lähtee pinnalla kulkeva putkihaara viidelle sadetuskentälle rinteeseen. Täydentäviä kuvia imeytysalueelta on liitteissä 16–18.

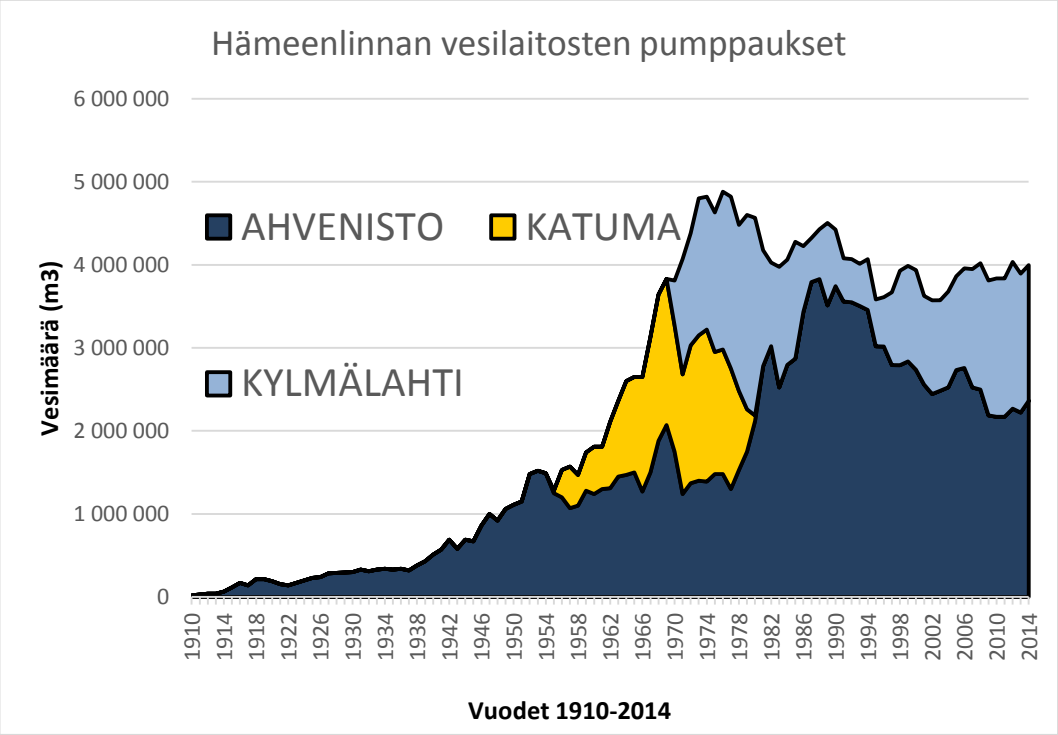
Jokainen imeytysjärjestelmistä voidaan sulkea venttiilillä. Sadetusputkissa venttiileitä on jokaisessa haarassa niin, että yhdestä alasta voidaan imeyttää esimerkiksi vain ylintä osaa.

Vesioikeuden antamassa luvassa säädetään, että pohjavedenkorkeutta ja sen laatua tulee tarkkailla Ahveniston vedenottamon ja imeytysalueen lähistöllä. Myös vesimäärien ottaminen Alajärvestä ja Ahvenistolta on mitattava. Kylmälahden pohjavesiesiintymän käyttöönottolupa on vuodelta 1968 ja myös sen on antanut Länsi-Suomen vesioikeus.

4 TEKOPOHJAVEDEN IMEYTYKSEN KEHITTÄMINEN

4.1 Lähtökohdat

HS-Veden syksyllä 2014 valmistunut siirtolinja, niin sanottu HHIT-linja, kuljettaa vettä Hämeenlinnan Ahveniston vesilaitokselta Hattulan ja Iittalan kautta noin 40 kilometrin päähän Toijalaan. Putkea pitkin kulkee päivittäin 2000 m^3, josta suurin osa on peräisin Ahveniston kaivoista. Loput tulevat matkan varrelta Hattulan ja Kalvolan kaivoista. Kuviosta 15 näkyy Hämeenlinnan kaupungissa olevien vesilaitosten jakamaa vettä vuosien varrelta



Kuvio 15. Jätevesimaksulaki tuli voimaan vuonna 1974, eivätkö hurjat ennusteet vedenkulutuksen kasvamisesta toteutuneet veden ominaiskäytön lähdettyä laskuun. Vedentarve Hämeenlinnan laitoksilla on pitkään ollut samana, mutta vuonna 2015 se tulee nousemaan. (Kuvaajan tiedot HS-Veden tietokannasta)

Sekä Ahvenistolla että Kylmälahdessa pohjavesiesiintymää käytetään hyväksi niin paljon kuin luonnollinen sadanta ja tekopohjaveden muodostus nykyisellään mah-

dollistavat. Näköpiirissä on tilanne, jossa pohjavesiesiintymää käytetään enemmän kuin sen antoisuus luonnollisena ja keinotekoisena, ei ole kaukana.

Olisi tärkeää, että Hämeenlinnan vesilaitoksiin kohdistuvaa painetta vedenhankkimisessa pystyttäisiin helpottamaan, ettei vesitase Ahveniston harjulla pääse kääntymään jälleen negatiiviseksi. Tästä syystä imeytystäkin tulisi tehostaa niin, että joko Ahvenistolle tai Kylmälahteen virtaisi enemmän vettä.

Imeytyksen tehostaminen ei ole ainoa toimenpide ongelman ratkaisemiseksi. HS-Vesi on rakentanut uuden vedenottokaivon vuonna 2014 Hattulaan ja toisen kaivon rakennustyöt ovat alkamassa keväällä 2015. Näiden kaivojen avulla tilannetta saadaan helpotettua jo ennen imeytyksen tehostamista. Ne ottavat vetensä kuitenkin samasta pohjavesiesiintymästä kuin Ahvenisto. Uusien kaivojen vedenotto näkyy ennen pitkää myös Ahvenistolla pohjavedenpinnan alenemana.

Uusilla tuotantokaivoilla tai uudella imeytysalueella ei yksistään ongelmaa ratkaista. Ne ainoastaan pohjustavat lopullista ratkaisua, joka on kokonaisimeytyksen lisääminen tai oikeammin sanottuna palauttaminen entiselleen. Tälle lisäimeytysmäärälle täytyy olla kuitenkin imeytyskeino valmiina. Ilman kokonaisimeytyksen lisäämistä on uusi imeytysalue vain veden siirtämistä Ahveniston kaivoista Kylmälahden kaivoihin.

Alajärven pumppukoneisto mitoitettiin tuottamaan vesioikeuden antaman luvan mukaiset 20000 m^3/d. Alkuperäinen putki on vuodelta 1976, mutta osa siitä on uusittu sujuttamalla uutta putkea vanhan paikalle. Tämä on kuitenkin pienentänyt putken halkaisijaa ja siten myös putken läpi kulkemaa virtaamaa. Aikaisemmin Alajärveltä tulevaa vettä säädeltiin kahdella erisuuruisella pumpulla, riippuen siitä paljonko taivaalta satoi vettä, paljonko hämeenlinnalaiset käyttivät vettä ja kuinka alhaalla vedenpinta oli (Manninen 2000, 28–29). Nykyään pumpuista käytetään vain yhtä, jolla imeytysalueelle saadaan noin 6500 m^3/d, koska sujutuksen takia putkesta ei enempää läpi saada, vaikka toinenkin pumppu olisi käytössä (Manninen 2015). Suurimmillaan imeytysmäärä on ollut noin 10 000 m^3/d.

Jokaista kolmea allasta imeytetään niin paljon kuin niillä vain pystytään. Maaliskuussa 2015 I-allas oli lähes ääriään myöten täynnä vettä ja se oli tukkeutumassa. I-altaan imeytys keskeytettiin huhtikuussa jolloin tuli tilaisuus tutkia paljonko vettä allas kykeni tukkeutuneena imemään. Altaan pinta laski noin 10 cm ensimmäisen vuorokauden aikana. Altaan pinta-ala on noin 2700 m^2, joten altaasta imeytyi noin 270 m^3 päivässä, mikä on huono suoritus verrattuna aikaisemmin saavutettuun 5000 m^3/d.

Kaikki sadetuskenttiä ei voida käyttää yhtä aikaa. Osa kentistä tulisi olla toipumassa, mutta käytännössä sitä on vaikea toteuttaa. Sadetusputket sijaitsevat jyrkässä harjun rinteessä, jossa vesi alkaa helposti valumaan alas. Alimpia sadetushaaroja ei käytetä ollenkaan, koska niistä vesi pääsisi valumaan poluille ja altaisiin muutaman kuukauden imeytyksen jälkeen. Näin yhdestä sadetuskentästä on mahdollista käyttää kunnolla noin puolia haaroista. Syksyllä osassa sadetuskentistä imeytys lopetettiin ja putket tyhjennettiin jäätymisen estämiseksi. Huhtikuussa 2015 imeytys aloitettiin kentillä uudestaan ja tuolloin kahta kenttää ei imeytetty ollenkaan. Lopuista viidestä sadetuskentästä imeytettiin vain ylimpiä sadetushaaroja.

Imeytyksen liiallinen lisääminen nostaisi pohjavedenpintaa, jolloin varsinkin harjun reuna-alueilla olisi vaara pohjaveden purkautumisesta ulos harjusta. Näillä reuna-alueilla on molemmissa suunnissa asuinalueita, joissa kellarit voisivat alkaa tulvia. Tällainen tilanne on koettu aikaisemminkin Ahvenistonharjulla kun imeytys aloitettiin hieman liian innokkaasti. Imeytystä Ahveniston suuntaan ei siis voida lisätä loputtomasti, tiedetään että noin 11000 m^3/d imeytys Ahveniston suuntaan aiheuttaa tulvan kun vedenotto Ahvenistolla on noin 4000 m^3/d. Kun imeytystä saadaan lisättyä, tulisi pohjavedenpintaa tarkkailla havaintoputkista tavallista useammin. Myös yksityiskaivojen vedenpinnan tarkkailu on hyvä keino kerätä lisätietoa.

Kuten monista aikaisemmista maaperätutkimuksista ja virtausmalleista on käynyt ilmi, Kylmälahteen virtaa nykyisestä imeytysjärjestelmästä vain vähän vettä imeytysalueelta pohjavedenjakajan takia. Käyttökokemusten mukaan III-altaalla voi-

daan Kylmälahteen imeyttää jonkin verran (Manninen 2015). Jos pohjavedenjakaja pystyttäisiin jotenkin ylittämään, saataisiin myös Hattelmalanharju tehokkaammin tekopohjaveden muodostukseen. Pohjavesiesiintymissä olevista havaintoputkista on mitattu 90-luvun puolivälistä asti, liitteissä 9-13 esitettyjä pohjavedenkorkeuksia ja niistä on selvästi havaittavissa trendi pohjavedenpinnan laskeminen.

Kylmälahden kaivojen pumppujen tuotot ovat 2500 m^3/d ja ottolupaa on 7000 m^3/d. Vettä pumpattiin Kylmälahdesta vuoden 2015 tammikuun keskiarvona laskettuna 4600 m^3/d. Luvan puitteissa mahdollisuudet olisi siis pumpata enemmänkin, mutta pohjavettä ei vain tule kaivoihin tarpeeksi luonnostaan. Lisäksi on vaara rantaimeytymiselle Vanajasta, jos pumppausta lisätään liikaa.

Tekopohjaveden muodostuksen lisäämisellä Hattelmalanharjulla, voitaisiin saada Kylmälahden pohjavesiesiintymän pinta nousemaa, jolloin kaivoista saataisiin enemmän vettä ja Kylmälahti voisi jakaa suuremman osan Hämeenlinnan vedestä. Toki tämä määrä olisi aluksi pois Ahvenistolle virtaavasta vedestä, mutta tämä tulisi muuttumaan kun Alajärven tuloputki uusittaisiin sujutuksen kohdalta. Tuona päivänä on hyvä olla imeytysalueella järjestelyt imeyttämiseen valmiina. Kylmälahdella saattaa olla parempi hyötysuhde imeytyksestä. Kaikkia pohjavedenvirtausreittejä ja purkautumisteitä ei kuitenkaan voida tietää.

4.2 Uusi imeytysalue

Uuden imeytysalueen paikkaa alettiin selvittää vuoden 2015 alusta lähtien. Pohjaveden virtausta Kylmälahden suuntaan haittaava pohjavedenjakaja, oli pystytty aikaisempien tutkimusten perusteella paikantamaan joidenkin satojen metrien päähän III-altaasta. Uuden imeytysalueen suunnittelun lähtökohdaksi otettiin sellaisen imeytysalueen löytäminen, josta vesi pääsisi helposti imeytymään maaperään ja josta vedellä olisi esteetön matka harjua pitkin Kylmälahteen. Imeytysmenetelmänä tarkasteltiin ensisijaisesti kaivoimeytystä ja toissijaisesti sadetusimey-

tystä. Myös allasimeytystä pidettiin yhtenä, mutta jokseenkin epätodennäköisenä, vaihtoehtona.

TAVASE:n imeytyskaivoilla on pystytty imeyttämään noin 1000–7000 m^3/d (Pöyry Finland 2011, 12). Rusutjärven imeytyskaivoilla on imeytetty hyvin samantapaisia määriä, katso liite 8. Ahvenistolle mahdollisesti tulevasta imeytyskaivosta voisi siis varovaisen arvion perusteella imeyttää noin 2000 m^3/d, riippuen tietenkin maaperän vedenjohtavuudesta.

Oli tiedossa, että II- ja III-altaat oli rakennettu vanhalle Pyykkilukon soranottoalueelle ja epäiltiin, että soranoton päättyessä joskus 1980-luvun alussa, aluetta olisi maisemoitu sopimattomalla maa-aineksella. Asiaa päätettiin tutkia tarkemmin harjun kohdalta, joka kartalla näytti sopivalta imeytykseen. Yhdessä konsulttiyhtiö Pöyryn kanssa kaivettiin helmikuussa 2015 yhdeksän koekuoppaa harjun rinteeseen, liitteessä 5 näkyvään kohtaan, noin neljän metrin syvyyteen.

Kahdeksassa koekuopassa maa-aines oli sekarakeista, jonka seassa oli tiiliä, erikokoisia kiviä, puuta, sahanpurua, betonia, muovia ja yms. Epäilykset osuivat siis oikeaan ja täyttömaan seassa oli selvästi rakennusjätettä tai niin sanottua täytemaata. Maa-aines ei kuitenkaan haissut pilaantuneelta tai vaaralliselta. Vedenjohtavuudeltaan se oli kuitenkin täysin imeytykseen kelvotonta. Kanta-Hämeen ELY-keskukselle välitettiin tutkimuksen tulokset. Ympäristöviranomaisilla ei ole ilmeisesti ollut tietoa täyttömaasta, sillä pohjaveden suojelusuunnitelmassa ei siitä ole mainintaa.

Rinteen korkeimmasta koekuopasta löytyi kuitenkin 1,5 metrin täyttömaan jälkeen harjun luonnollinen maaperä, joka näytti lupaavammalta. Kuviosta 16 näkee täytemaan ja luonnollisen harjun maaperän merkittävän eron. Pääteltiin, että aikoinaan sorakuopan täyttö on suoritettu kaatamalla suuria määriä täytemaata harjun rinteeltä, nykyiseltä lenkkipolulta alas. Harjun ylimmässä kohdassa oli kuitenkin huonosti tilaa minkään imeytyksen toteuttamiselle. Kaivoimeytys putkikaivolla syvälle täyttömaan läpi voisi hyvinkin onnistua, mutta se vaatisi todennäköisesti täyttömaiden läpikotaisen tutkimisen. Jos täyttömaan seassa on jotain vedenlaa-

tua heikentävää, on huomioitava, että se on siinä tapauksessa kerennyt vaikuttaa pohjaveteen jo ainakin 30 vuoden ajan. Sadevesi imeytyy täyttömaan läpi, eikä pohjavedenlaadussa ole havaittu tähän mennessä pilaantumisen merkkejä.

Kuvio 16. Vasemman kuvan koekuopassa näkyy täytemaan ja harjun luonnollisen maaperän raja. Oikeassa kuvassa on toisesta koekuopasta löytynyt selvä rakennusjätekerros. (Kuvat: Pöyry Finland)

Uuden imeytysalueen paikaksi alettiin suunnitella Hattelmalanharjua Rengontien itäpuolelle, jossa soranotto ei vanhojen karttakuvien perusteella ollut yhtä voimakasta, minkä johdosta harjun luonnollinen maaperä olisi helpommin löydettävissä. Siellä on enemmän tilaa imeytykselle ja alue on varmemmin pohjavedenjakajan Kylmälahden puolella. Harju on siellä myös matalammalla, joten veden johtamista alueelle, vanhalla painovoimaan perustuvalla järjestelmällä pidettiin tuolloin vielä mahdollisena.

Uusi imeytysalue sijaitsisi Rengontien itäpuolella, suppaan laskeutuvalla kaistaleella, josta on kuva liitteessä 21. Sen molemmilla puolilla kulkee harjun huiput, joissa kulkee lenkkipolut. Harjun pohjoispuolella on tiivis asuinalue ja eteläpuo-

lella peltoa ja hevostila. Tutkittaviksi imeytyskohdiksi valikoitui liitteessä 5 esitetyt kaksi paikkaa supan rinteestä, P1 ja P2.

Hattelmalanharju on Natura 2000-suojelualuetta ja osa siitä on myös luonnonsuojelualuetta. ”Hattelmalanharju on maisemallisesti ja kulttuurihistoriallisesti arvokas harju- ja lehtokokonaisuus” Harjulla kasvaa harvinainen pähkinäpensas ja muita huomionarvoisia lajeja. Alueen suojelun perustana ovat Fennoskandian runsaslajiset kuivat ja tuoreet niityt, boreaaliset lehdot sekä harjumuodostumien metsäiset luontotyypit. (Hämeen ELY-keskus. 2013).

Hattelmalanharjulla on Natura-alueen ohella kaksi suojeluohjelmaa; harjujen ja lehtojen. Kumpikaan näistä ei kuitenkaan sijaitse suunnitellulla imeytysalueella. Tästä oli pääteltävissä, että uusi imeytysalue ei sijaitsisi suojelualueen aivan kaikista tärkeimmällä alueella. Harjun merkitystä ei tule silti vähätellä ja ympäristöarvot ovat tärkeitä myös HS-Vedelle. Kaivoimeytyksellä ympäristövauriot ja suuret pysyvät vauriot harjuun voitaisiin minimoida, kuten kappaleessa 2.2.3 havainnollistetaan.

Hämeen ELY-keskuksen viranomaisen kanssa käytiin maastossa tutkimassa, sijoittuisiko imeytysalue luonnonsuojelualueelle. Samalla arvioitiin minne entinen soranotto on ulottunut. Savista täyttömaata löytyi pinnasta koekuoppia kaivamattakin ja maaston muodoista pystyi havaitsemaan epäluonnollista tasaisuutta. Sorakuoppa on ulottunut ilmeisesti hieman suuremmalle alueelle kuin vanhoissa kartoissa oli merkitty. Voidaan kuitenkin olettaa, että täytemaa ohenee kohti reunoja. Suunniteltua imeytyspaikkaa päätettiin siirtää hieman kauemmas Rengontiestä, lähemmäs suppaa, jossa luonnollinen harjun maaperä on oletettavasti hyvin pinnassa.

Täyttömaan alueelle on jo kehittynyt täysikasvuista puustoa, mutta lehtipuut eivät näytä menestyvän savisessa maaperässä. Alueelta ei löytynyt esimerkiksi harvinaista kylmänkukkaa. Maastokäynnin perusteella hanke ei ”todennäköisesti merkittävästi heikentäisi” Natura-alueen luontotyyppejä. Jos Natura-aluetta ajatellaan

kokonaisuutena, sijoittuu hanke mitättömän pienelle ja vähiten merkittävälle alueelle.

Hanke vaatii Natura-alueeseen liittyvän ilmoitusmenettelyn. Tarkempi Natura-alueen luontotyyppien arviointi lienee vielä mahdollista. Uusi imeytysalue on niin ikään harjujen- ja lehtojen suojeluohjelmien ja luonnonsuojelualueen ulkopuolella, eikä vaadi niiden kannalta toimenpiteitä. Rakennusvaiheessa on kuitenkin varottava, ettei esimerkiksi maamassoja siirretä väliaikaisesti luonnonsuojelualueen puolelle.

HS-Vedellä on vanha Länsi-Suomen vesioikeuden antama lupa tekopohjaveden muodostukselle vuodelta 1975. Länsi-Suomen ympäristölupa virasto antoi vuonna 2003 luvan suorittaa imeytystä myös sadetusimeytyksenä. Luvissa ei määritetä tarkkaa imeytysaluetta. Tässä vaiheessa on epäselvää tarvitseeko imeytyksen laajennus Hattelmalanharjulle vesilainmukaisen lupamuutoksen.

4.3 Mittaus & kartoitus

Samalla kun tutkittiin uuden imeytysalueen sijaintia, päivitettiin nykyisten imeytysalueiden tietoja. Kun alustavat imeytyspaikat P1 ja P2 löytyivät Hattelmalanharjulta, pystyttiin myös kartoittamaan suurpiirteinen reitti uudelle putkilinjalle. Mittaustuloksia pystyttiin käyttää putken suunnittelussa.

4.3.1 Vanhan imeytysjärjestelmän kartoitus

Vesi valuu imeytysalueen yläkaivosta eri imeytysjärjestelmiin painovoimaisesti, mutta ei ollut itsestään selvää saadaanko vesi virtaamaan näin myös suunnitteilla olevalle imeytysalueelle. Nykyisen yläkaivon korkeusasematietoja löytyi alkuperäisistä tekopohjavesilaitoksen laajennussuunnitelmista vuodelta 1985. Niissä ilmoitettiin, että taso jolle vesi pumpataan Alajärveltä yläkaivoon, on 121,00 mpy. Tämä korkeus on kuitenkin vanhassa korkeusjärjestelmässä, joten siihen pitää li-

sätä korkeutta 0,456 m. Korkeus tarkistettiin vesilaitoksen Trimble GNSS-mittalaitteella. Vaaitus olisi ollut liian hankalaa maasto-olosuhteiden takia, eikä GNSS -mittauskaan onnistunut heti. Lopulta korkeusasemalle saatiin arvo 121,20 mpy, joka on neljän eri mittauksen keskiarvo. Hajontaa oli noin 10 cm suuntaansa.

Alkuperäisistä Vesi-Hydron tekemistä suunnitelmista löytyi korkeusasemat imeytysaltaille ja niiden putkelle. Ne eivät kuitenkaan vastanneet kaikin osin todellisuutta. Suunnitelman piirroksessa II-ja III-altaille menevä putki kulkee noin 1,8 m syvyydessä penkereessä. Altaiden jakokaivosta pystyttiin tarkastamaan millä syvyydellä putki kulkee ja tuloksena oli noin 3,5 m penkereestä.

Sadetusputkistoja ei ollut merkitty HS-Veden käyttämään paikkatieto-ohjelmaan. Asia korjattiin käyttäen hyväksi Trimblen GNSS -mittalaitetta. Metsäisessä maastossa ja kahden harjunrinteen välisessä montussa oli vaikea saada yhteys satelliitteihin. Takymetristäkään ei ollut apua, sillä puusto oli usein mittalinjan tiellä. Siksi osa sadetusputkien haaroista kartoitettiin mittanauhaa avuksi käyttäen. Sadetusputket kulkevat lähes suoraan ja suunnilleen suorakulmaisesti runkolinjasta. Mittanauhalla mitatut pisteet saivat korkeusarvonsa Maanmittauslaitoksen korkeusmallista. Lopuksi tulokset kirjattiin HS-Veden paikkatieto-ohjelmaan.

Tuloksien avulla saatiin koottua liitteessä 6 esitetty pituusleikkauskuva nykyisistä imeytysjärjestelmistä ja niiden korkeusasemista. Samaan piirustukseen on lisätty myös korkeuspisteitä uuden imeytysalueen alueelta, sekä alueelle kulkeva tuleva putkilinjaus. Vastaava asemapiirustus esitetään liitteessä 7.

4.3.2 Uuden raakavesiputken kartoitus

Putki kartoitettiin maastoon alustavasti huhtikuussa 2015. Sen reitti kulkee puutonta väylää pitkin, joka on ratsastajien käytössä. Reitin varrella on myös havaintoputki. Tämä polku on käytännössä ainoa väylä uudelle imeytysalueelle, jos metsän raivausta halutaan välttää. Väylästä on karttakuva kuviossa 17.

Putki tulee viedä Rengontien alitse, jonka vieressä kulkee paineviemäri ja vesijohto. Maantielain 2005/503 42 pykälässä kerrotaan, että tiealueelle sijoitettaville rakenteille on oltava tienpitoviranomaisen lupa (Maantielaki 2005). Rengontie on Hämeenlinnan kaupungin omistuksessa. Tien rakenteet rakenteiden ei pitäisi ulottua niin syvälle, että sillä olisi vaikutusta siihen korkeuteen, missä putki viedään tien alitse.

Koska kyseessä on uusi putki, täytyy sille hakea ensiksi sijoituslupaa kaupungilta. Tätä varten tarvitaan tarpeeksi tarkka asemapiirustus. Sen jälkeen voi hakea tienalituslupaa, jolloin täytyy olla suunnitelma liikennejärjestelyistä. Koska työ tapahtuisi kaivamatta, ei autoliikenteelle tarvita erityisiä liikennejärjestelyitä. Työn aikaiset putken tunkkauskaivannot estäisivät suojatien käytön. Tätä varten tarvitsee todennäköisesti väliaikaisen kiertotien. Tunkkauskaivannot täytyy myös suojata kaitein.

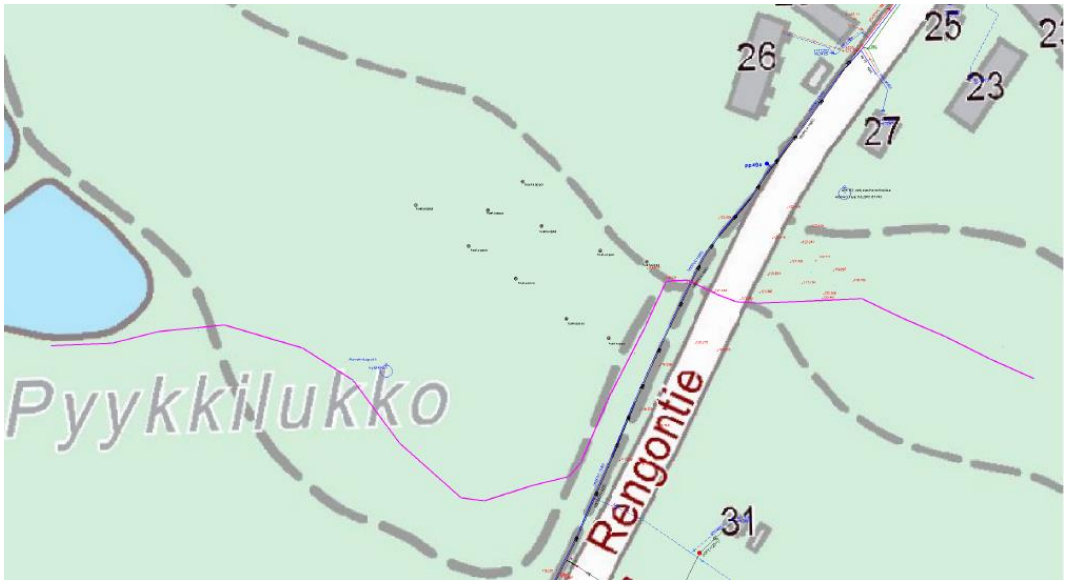
4.4 Putken suunnittelu

Käytettävissä oleva paine määräytyy yläkaivon tasosta, josta vesi lähtee valumaan alas vanhoille imeytysjärjestelmille. Suunnitelmissa on ollut jatkaa vuonna 1986 käyttöönotettua putkea III-altaan vierestä kohti uutta imeytysaluetta. Seuraavissa kohdissa on esitetty määritykset veden johtamisesta uudelle imeytysalueelle.

4.4.1 Reitti

Uusi putki tulee kulkemaan III-altaan vierestä ylös kohti Hattelmalanharjun lakea, jossa korkeus on suunnilleen sama kuin yläkaivolla. Kartoitusmittausten perusteella uudella imeytysalueella maanpinnankorkeus on noin 118 mpy. Putken tulee kuitenkin ylittää korkeampi kynnys, joka kulkee Rengontien kohdalla noin korkeudella 121,2 mpy. Siis samalla korkeudella kuin yläkaivon taso, josta vesi valuu painovoimaisesti. Pituusleikkauskuva on esitetty liitteessä 6 ja reitti uudelle imey-

tysalueelle kuviossa 17. Liitteessä 20 on puolestaan kuva Rengontien ja III-altaan väliltä.



Kuvio 17. Putki lähtee III-altaan vierestä ja se on kuvattu punaisella.

Putki asennetaan routasyvyyden alapuolelle. HS-Vedellä on ollut tapana asentaa 2,2 metrin syvyyteen putken laesta (Manninen 2015). Lumettoman maan aikaan, Hämeenlinnan seudulla ja maaperän ollessa silttimoreenia routasyvyys on suunnilleen kahdessa metrissä (RIL 2010, 93–94). Jos putkessa ei tapahtuisi painehäviöitä, niin vesi virtaisi helposti Rengontien muodostavan kynnyksen yli, joka on 2,2 metriä lähtötasoa alempana.

4.4.2 Painehäviöt

Putkivirtauksessa tapahtuu kahdenlaista painehäviötä, jonka seurauksena virtaama menettää energiaa ja samalla siis veden nostokorkeutta. Painehäviötä on pääasiassa kahta erilaista: virtaushäviötä ja paikallishäviötä. (RIL 2010, 35)

Virtaushäviötä tapahtuu virtaavan veden ja putken seinämän välisestä kitkasta koko putken matkalla. Paikallishäviö on äkillinen paineen vähenemä, joka johtuu

jonkinlaisesta esteestä. Näitä on esimerkiksi putken nielu, mutka tai venttiili. (Stephenson ja Judd, 2002, 222–223)

Paikallishäviöiden laskemiseksi on monia kaavoja ja kertoimia, joiden käyttö riippuu erilaisista virtaustilanteista, eri kohdassa putkea, jotka on tehty eri materiaaleista, jotka ovat kuluneet eri tavalla, eri ajassa. Putkivirtauslaskelmissa joudutaan aina tekemään olettamuksia, eivätkä seuraavat laskelmat ole poikkeus tähän sääntöön.

Darcy-Weisbachin yhtälö täydelle putkelle on RIL (2010) mukaan yleinen kitkahäviökaava. Se kertoo kuinka paljon virtaama aiheuttaa painehäviötä tietyllä putken halkaisijalla ja pituudella.

$$h_f = f\frac{l * v^2}{d * 2g} \tag{7}$$

Kaavassa h_f on virtaushäviö (painehäviö), f virtaushäviökerroin, l pituus, v virtausnopeus, d halkaisija ja g on maan vetovoiman aiheuttama kiihtyvyys. Kertoimen f määrittämiseen on monia erilaisia laskentakaavoja, mutta Colebrook on soveltanut niistä yksinkertaisia nomogrammeja. Niistä voidaan virtaaman ja putken halkaisijan perusteella määrittää paineviivan kaltevuus, ilman että kaavaa 7 käytetään f:n määrittämiseen. (RIL 2010, 36)

Jos nesteen putkivirtauksessa ei tapahtuisi painehäviötä, olisi paineviiva suora. Neste saataisiin johdettua putkella samalla tasolle, kuin mistä se on lähtenyt. Tämä ei ole kuitenkaan mahdollista, joten paineviiva on kalteva. Kun paineviivan kaltevuuden kertoo putken pituudella saa tietää, mikä on putken matkalla kokonaispainehäviö. Jos kaavassa 7 ei olisi termiä l, laskettaisiin siinä juuri paineviivan kaltevuutta.

Colebrookin nomogrammeja on erilaisille putken karkeusarvoille k. Ahveniston tekopohjavesilaitoksen laajennussuunnitelmista käy ilmi, että muoviputken mitoituslaskelmissa on vuonna 1985 käytetty k-arvoa 0,4. RIL (2010, 36) suosittelee muoviputken k-arvoksi 0,2, jos putken karkeuden mittaustietoja ei ole saatavilla.

Sekä RIL (2010, 36), että vanhat suunnitelmat ilmoittavat, että k-arvoissa on otettu huomioon paikallishäviöt. Kaksi käytettyä Colebrookin nomogrammia on liitteissä 14 ja 15

Asennettujen putkien ulkohalkaisija on 315 mm ja sisähalkaisija 285 mm. Putken pituus yläkaivolta III-altaalle on noin 575 m. Tällä matkalla virtaama pienenee kun vesi haarautuu eri altaille ja sadetuskentille.

III-altaalta uudelle imeytysalueelle tulevan putken koko voidaan määrittää sen mukaan, paljonko painehäviötä sallitaan. Mitä isompi virtaama ja pienempi putken halkaisija, sitä enemmän tapahtuu painehäviötä. Putken koko pysyy luonnollisesti samana, mutta virtaamaa voi muuttua merkittävästikin, jos esimerkiksi sadetus otetaan kokonaan pois ja altaita imeytetään enemmän. Painehäviö on syytä laskea erilaisille virtaustilanteille.

Toinen kaava paineviivan kaltevuuden ja siten painehäviön laskemiseksi on Hazern-Williamsin kaava, joka sopii tilanteeseen, jossa sisähalkaisija ≥ 50 mm ja virtausnopeus ≤3 m/s. (RIL 2010, 36)

$$Q = 0{,}278 * C * d^{2{,}63} * I^{0{,}54} \qquad (8)$$

Jossa C on putken materiaalikerroin, muoville 140–150. I on paineviivan kaltevuus, Q virtaama ja d putken halkaisija. (RIL 2010, 36–37)

Seuraavaksi on kaava muutettuna sopivaan muotoon:

$$I = \sqrt[0{,}54]{\frac{Q}{0{,}278 * C * d^{2{,}63}}} \qquad (9)$$

Josta painehäviön matkalla saa kertomalla putken pituudella.

Seuraavissa taulukossa on esitetty lasketut painehäviöt kahdella Colebrookin nomogrammilla ja Hazen-Williamsin kaavalla laskettuna. Imeytysveden virtaama on jaettu melko tasaisesti eri imeytysjärjestelmille. Virtaama pienenee veden kulkiessa pidemmälle runkoputkessa ja veden jakaantuessa esimerkiksi sadetusken-

tälle. Lopuksi on jäljellä 2000 m^3/d uudelle imeytysalueelle. Tarkoituksena on tarkastella millaisia painehäviöitä eri menetelmät antavat. Osuudet 1-5 ovat merkittyinä pituusleikkaukseen liitteessä 6.

Taulukko 1. Painehäviöt putkiosuuksilla jos imeytys toteutettaisiin nykyisillä imeytysmäärillä. Vesi ylittäisi kynnyksen jokaisen menetelmän mukaan.

Kokonaisimeytys: 6500 m3/d (2015 tilanne)						Colebrook		Hazen-Williams
						k=0,2	k=0,4	-
	Q			**l**	**d**	**hf**		
	m3/d	l/s	m3/s	m	mm	m	m	m
1	5500	64	0,06	75	285	0,15	0,23	0,2
2	5500	64	0,06	200	285	0,40	0,60	0,6
3	4500	52	0,05	100	285	0,18	0,2	0,2
4	3250	38	0,04	100	285	0,12	0,18	0,1
5	2000	23	0,02	400	285	0,12	0,2	0,2
					Yhteensä	0,97	1,41	1,3

Taulukko 2. Tässä tilanteessa kokonaisimeytys on 10000 m^3/d ja siitä 1000 m^3/d haaroittuu sadetukseen ennen yläkaivoa. Colebrookin nomogrammi kun k = 0,4 antaa tulokseksi, että vesi ei ihan ylittäisi kynnystä.

Kokonaisimeytys: 10000 m3/d						Colebrook		Hazen-Williams
						k=0,2	k=0,4	-
	Q			**L**	**d**	**Hf**		
	m3/d	l/s	m3/s	m	mm	m	m	m
1	9000	104	0,10	75	285	0,53	0,68	0,55
2	6600	76	0,08	200	285	0,80	1,00	0,82
3	4500	52	0,05	100	285	0,20	0,20	0,20
4	3250	38	0,04	100	285	0,12	0,13	0,11
5	2000	23	0,02	400	285	0,20	0,20	0,18
					Yhteensä	1,85	2,21	1,86

Varsinkin nomogrammien tuloksissa voi olla paljon epävarmuutta, koska paineviivan kaltevuus riippuu täysin nomogrammin lukijan päättelystä. Hazen-Williamsin tulokset on laskettu C-arvolla 145.

Painehäviö riippuu suuresti virtaamasta, mutta sitä ei imeytysalueella nykyisellään juuri mitata. Virtauksia säädetään muutamana kerran vuodessa, eikä ole todellista tietoa imeytysmääristä eri kohteissa. Kokonaisimeytys tiedetään kuitenkin hyvin. Painehäviölaskelmissa käytetyt virtaukset ovat ainoastaan kirjoittajan arvioita siitä, kuinka vesi jakaantuu tai voisi jakaantua eri järjestelmille.

Laskelmat on tehty olettaen, että uusi putki on sisähalkaisijaltaan 285 mm, kuten vanhemmat putket. Jos putki olisi kooltaan esimerkiksi 200 mm, niin painehäviö kasvaisi heti, mikä ainakin Hazen-Williamsin kaavalla laskettuna tarkoittaisi, että vesi ei enää ylittäisi kynnystä.

$$h_f = \sqrt[0,54]{\frac{0,023m^3/s}{0,278 * 145 * 0,2m^{2,63}}} * 400\ m = 0,77m$$

4.4.3 Pumppaus

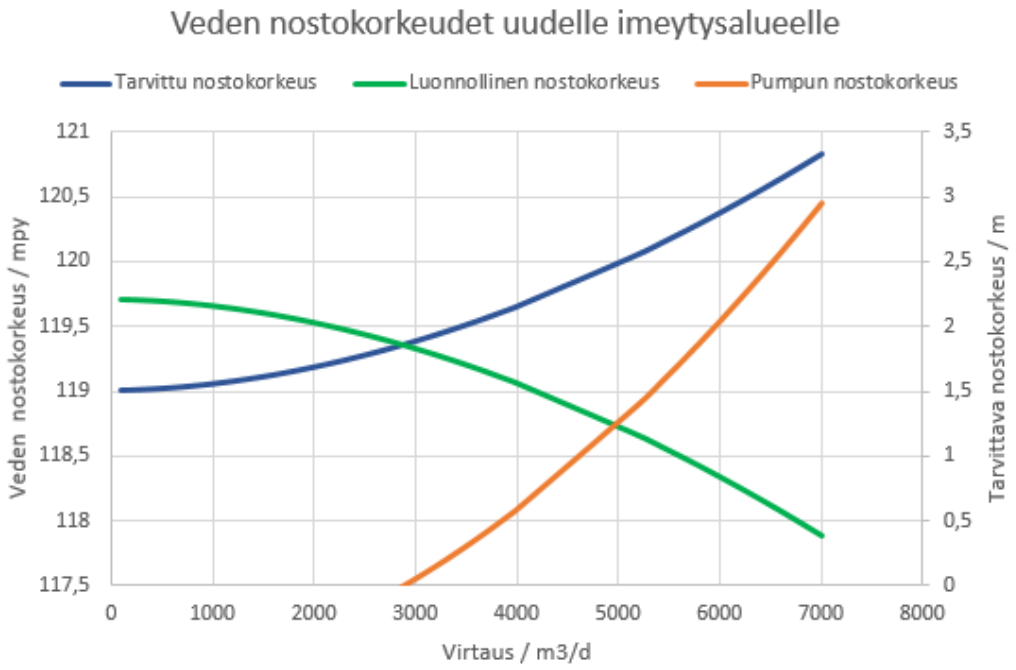
Veden saaminen alueelle on epävarmaa ja riippuu monesta tekijästä. Vaikka järjestelmä toimisi aluksi, voisi virtauksen kasvattaminen esimerkiksi sadetuskentille kasvattaa myös painehäviön liian suureksi. Imeytysalueelle haluttu virtaamakin saattaa vielä muuttua paljonkin. Yllä olevissa laskuissa on vain oletettu, että virtaama voisi olla esimerkiksi 2000 m^3/d.

Lisäksi on muistettava, että ainoastaan veden saaminen uudelle imeytysalueelle ei välttämättä riitä. Jos imeytys päätettäisiin esimerkiksi toteuttaa sadetusimeytyksenä, niin veden pitäisi nousta entistä korkeammalle, koska uudet sadetusharavat saattaisivat levittäytyä korkeammalla rinteeseen. Kaivoimeytyksen tilanteessa vesi olisi hyvä saada syötettyä kaivoon paineella. Kaivoon tulisi todennäköisesti ilmas-

tusventtiili, jonka kautta paineella kaivoon tuleva vesi imisi ejektorin lailla ilmaa veteen. Juuri ja juuri kaivoon lirisevä vesi ei kovin hyvin ilmaa imisi.

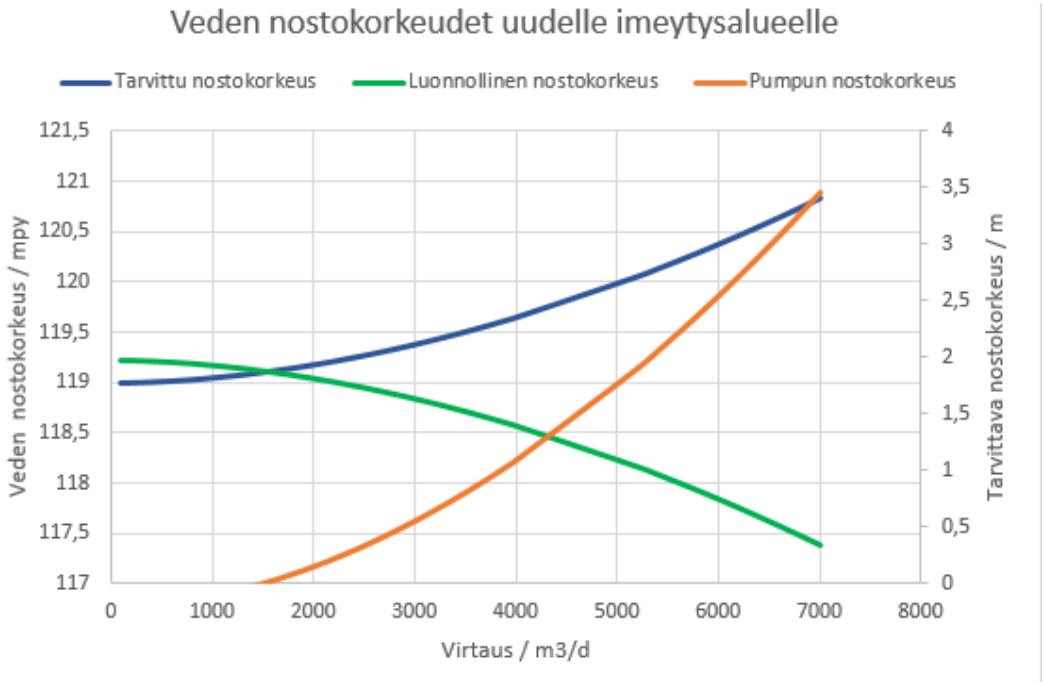
Tarve pumpulle on ilmeinen jos halutaan varmistua, että vesi saadaan uudelle imeytysalueelle, huolimatta kaikista muuttuvista tekijöistä. Tätä varten on koottu excel-taulukko, joka laskee annetuista tiedoista painehäviöt ja piirtää kuvaajan, josta näkee mihin veden halutaan nousevan, mihin se nousee luonnollisesti ja mikä olisi pumpulta tarvittava nostokorkeus.

Ohjelmaan syötetään aluksi kokonaisimeytysmäärä ja sen jakaantuminen eri imeytysjärjestelmiin. Siitä lasketaan painehäviöt Hazen-Williamsin kaavalla ennen veden nostamista uudelle imeytysalueelle. Sen jälkeen annetaan kynnyksen korkeus, joka lienee 119 mpy sekä paine, jolla veden pitäisi kynnys ylittää, esimerkiksi 0,5 bar tai 5 m. Tästä ohjelma laskee nostokorkeuden eri virtauksilla ja siitä aiheutuvalla painehäviöllä. Ohjelman piirtämät kuvaajat näyttävät eri oletuksilla laskettuina kuvioiden 18, 19 ja 20 kaltaisilta.

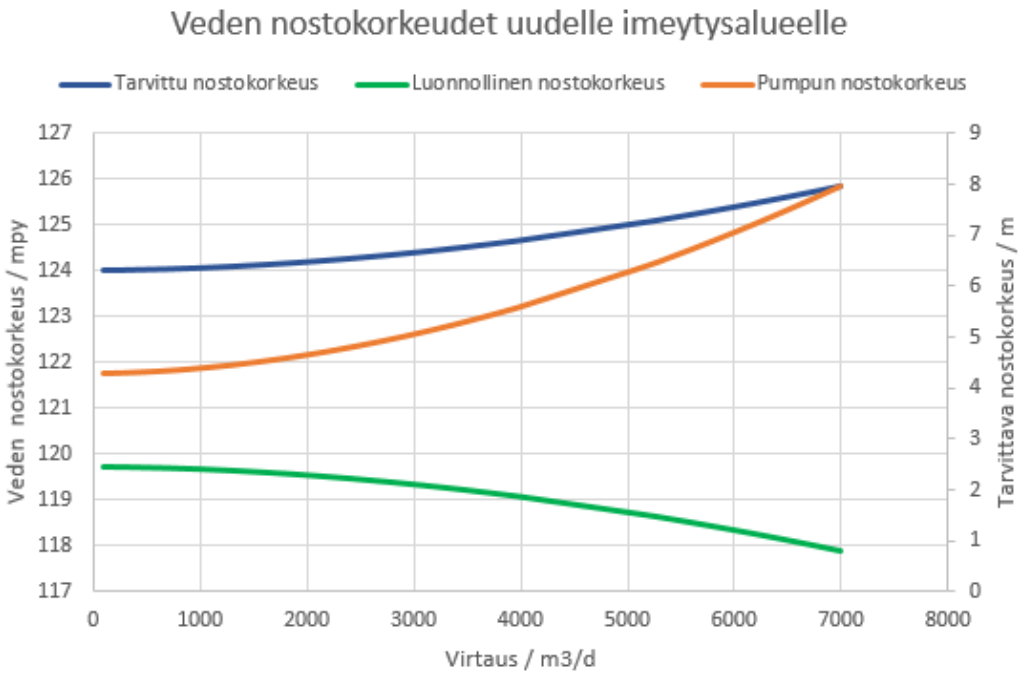


Kuvio 18. Tässä tilanteessa kokonaisimeytys on 8000 m^3/d ja haluttu paine, jolla kynnys pitäisi ylittää on 0. Riittää siis, että se vesi vaivoin pääsee kynnyksen yli. Veden luonnollinen nostokorkeus on tarvitun nostokorkeuden yläpuolella. Niiden akseli on vasen pystyakseli. Näillä virtauksilla uudelle imeytysalueelle saataisiin 2000 m^3/d ilman pumppausta. Pumpun nostokorkeusakseli on oikea pystyakseli. Se kertoo oikeastaan kahden muun käyrän välisen etäisyyden.

Kuvion 18 perusteella voisi saada käsityksen, että kun haluttu virtaama on noin 3000 m^3/d, niin ollaan kriittisessä pisteessä, jossa pumppausta tarvittaisiin. Tämä ei kuitenkaan pidä ihan paikkaansa, koska painehäviöitä ei ole laskettu tämän virtaaman tuomiseen. Kuvio 19 yrittää havainnollistaa tilannetta.



Kuvio 19. Kokonaisimeytysmäärä on tässä tilanteessa 9000 m^3/d ja uudelle imeytysalueelle menevä virtaama on 3000 m^3/d. Pumppausta tarvittaisiin jo noin 1500 m^3/d virtauksella, koska aiemmilla putkiosuuksilla on virtaama kasvanut.



Kuvio 20. Tässä on tilanne, jossa kokonaisimeytys on 8000 m^3/d ja haluttu paine on 5 m. Vesi ei nouse kynnyksen yli. Jos uudelle imeytysalueelle halutaan 2000 m^3/d 0,5 bar paineella, niin tarvitaan pumppu, joka nostaa moisen määrän noin viisi metriä ylöspäin.

Pumpun käytössä piilee kuitenkin ongelma. Yläkaivo pystyy syöttämään putkeen vain tietyn määrän vettä. Jos vettä imeytetään alkupäässä runsaasti, ei virtaamaa ole pumpun kohdalla välttämättä tarpeeksi jäljellä. Tällöin pumpun imupuolelle muodostuu alipaine, joka vahingoittaa putkea. Alentunut paine voi johtaa myös siihen, että vesi ei nouse sadetushaaroihin. Tätä varten ennen pumppua täytyy asentaa painemittari ja pumpun automatiikkaan täytyy syöttää arvot, joiden mukaan pumppu käynnistyy ja sammuu paineen mukaan. (Manninen 2015)

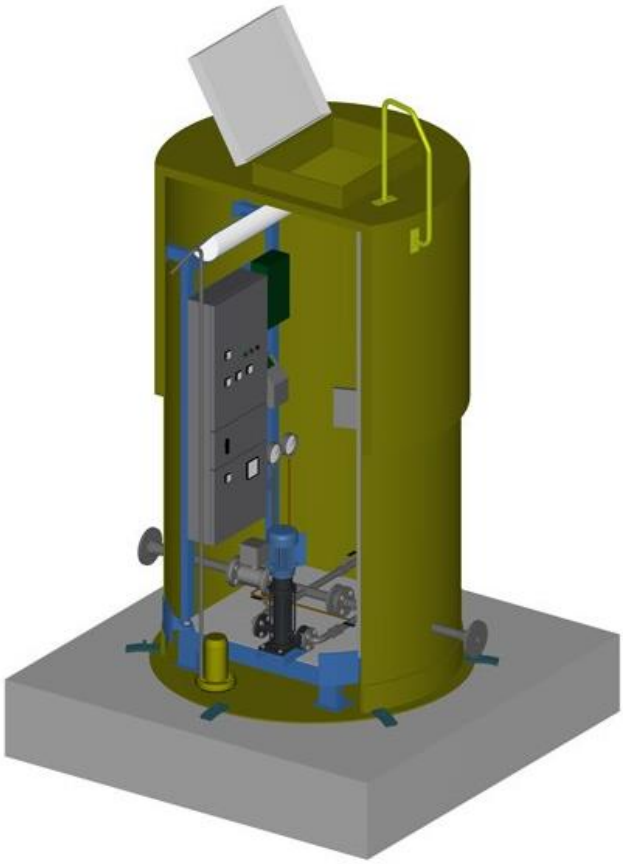
Yläkaivon pinta on kohdassa 121,2 mpy ja pumppu oletettavasti kohdassa 92 mpy. Riippuen imeytysjärjestelyistä ja painehäviöistä, paine olisi pumpun kohdalla noin 2,7 bar. Tämä on yläraja, jossa pumppu käynnistyy. Painovoimaisessa järjestelmässä olevien sadetushaarojen ylin korkeus on noin 109 mpy. Tämä ja pumpun korkeusaseman erotus antaa paineen alarajan, jolloin vettä saadaan edelleen sadetuskentän korkeimpaan haaraan. Pumppaus keskeytyisi jos paine laskee alle

1,7 bar. Toki jos pumppausta ohjataan taajuusmuuttajalla, niin pumppausta voidaan vain pienentää.

Pumppaus hoidettaisiin todennäköisesti III-altaan eteläpuolella. Putki sinne tulisi III-altaaseen vettä vievästä putkesta. Siihen täytyisi tehdä uusi haara, koska vanhoissa suunnitelmissa ei mainita, että putkeen olisi sellaista valmiiksi jätetty.

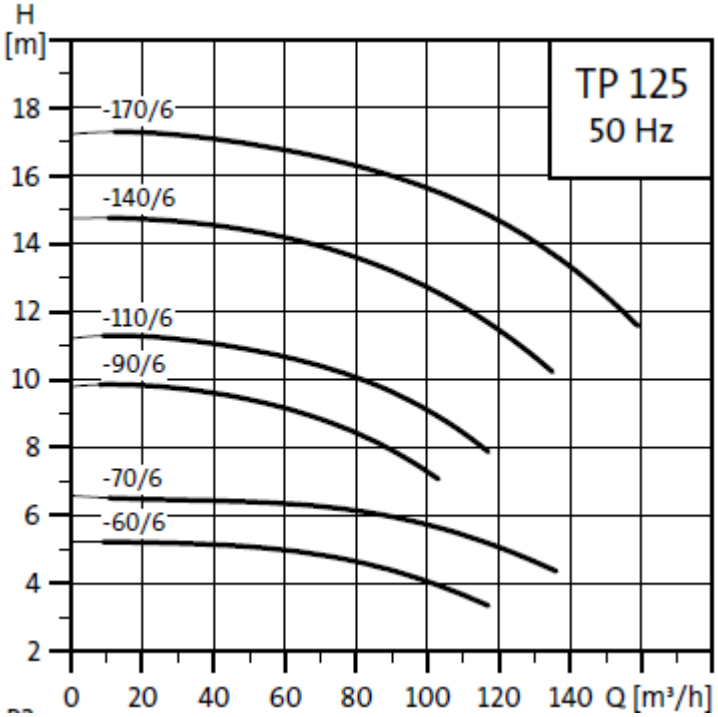
Toinen vaihtoehto olisi ottaa uudelle imeytysalueelle vettä III-altaasta (Manninen 2015). Altaan pinta täytyisi olla tällöin tietenkin koko ajan tarpeeksi korkealla, jotta pumppaus uudelle imeytysalueelle ei olisi katkonaista. Tällä hetkellä III-altaasta menee II-altaaseen ylivuotoputki, joka pitäisi ehkä tukkia tarpeeksi korkean pinnan saamiseksi. Tässä tilanteessa aiemmin kuvailtua paineen mukaista käynnistystä ja sammutusta ei tarvitsisi. Pumppaus käynnistyisi ja sammuisi sen sijaan III-altaan pinnan mukaan.

Pumppu sijoitettaisiin tarpeeksi suuren kaivorakenteen sisään, jonne asennettaisiin samalla venttiili ja todennäköisesti virtausmittari. Kaivon tulee olla tarpeeksi suuri, jotta siellä mahtuu työskentelemään. III-altaan vieressä on sähkökaappi, josta voidaan viedä paineenkorottamolle sähkökaapelit samassa kaivannossa kuin sinne kulkeva uusi putki. Kuviossa 21 on Lining yhtiön esimerkkikuva paineenkorotuspumppaamosta.



Kuva 21. Paineenkorotuspumppaamo. Samaan tilaan voi saada myös automaatiokeskuksen. (Lining 2015)

Pumpun tarkempi valinta tehdään vertaamalla tarvittavaa virtaamaa ja nostokorkeutta erikokoisten pumppujen vastaaviin. Tiedoista haetaan toimintapiste, jossa pumppu kykenee antamaan virtaaman ja nostokorkeuden, jonka systeemi tarvitsee. Kuviossa 22 on esimerkki Grundfosin pumppukäyrästä, joka saattaisi olla tarkoitukseen soveltuva.



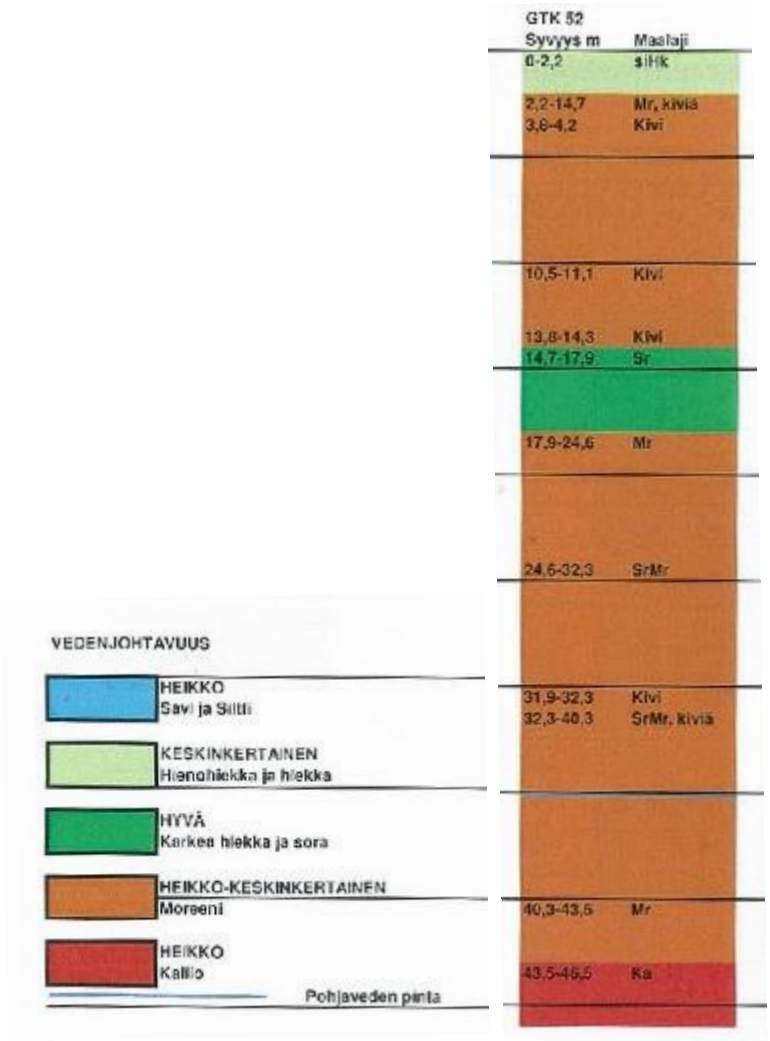
Kuvio 22. Käyrät ovat pumppujen potkurien erikokoisia halkaisijoita. Jos haluttu nostokorkeus on esimerkiksi 5-10m ja virtaama 2000m^3/d eli noin 80 m^3/h niin näistä halkaisijaltaan 60–90 mm pumput pääsevät siihen. (Kuva: Grundfos 2015, 94)

4.4.4 Imeytysmenetelmä

Koska uusi imeytysalue sijaitsisi Natura-alueella, on kaivoimeytys entistä todennäköisempi vaihtoehto. Imeytysallas ei tule kysymykseenkään, eikä sadetusimeytyskään ole kovin realistinen vaihtoehto. Uuden imeytysalueen pinta-osien ollessa täytemaata, ei vesi imeytyisi pinnalta ilman täytemaan pois kuorimista. Ainoaksi todelliseksi vaihtoehdoksi jää kaivoimeytys.

Imeytyskaivon tyyppiin vaikuttaa suuresti tulevat maaperätutkimus, joka koostuu ainakin koekairauksesta ja sen yhteydessä tehdystä pohjaveden havaintoputkesta. Näiden antamien tietojen perusteella määritetään maaperän vedenjohtavuus ja siten vesimäärä, joka voitaisiin imeyttää. Jos täytemaa ulottuu vain pintakerroksiin, on kuilukaivo imeytysvaihtoehto putkikaivon rinnalla.

Lähellä suunniteltua imeytysaluetta on vuonna 2013 asennettu havaintoputki GTK 52. Sen kairauksen yhteydessä on tehty maalajianalyysi, kuten tapana on. Tämä on nähtävissä kuviossa 23. Kyseinen havaintoputki sijaitsee harjun kohdassa, joka on ilmeisesti ollut entisen soranottoalueen reunalla. Sen avulla saadaan edes jonkinlainen kuva maaperästä.



Kuvio 23. Muutaman kymmenen metrin päässä suunnitellusta imeytysalueesta olevan havaintoputken GTK 52 maaperätiedot. Jos uudella imeytysalueella on samanlainen maaperä niin noin 15 metrissä on sopiva sorakerros. Muuten maaperä sattuu olemaan tältä kohdalta harjua juuri vedenjohtavuudeltaan hieman heikompaa moreenia. (Kuvat GTK)

Imeytyskaivon pinnalle jäävät rakenteiden suuruus riippuu miten kaivo rakennetaan. Todennäköisesti kaivoon tulisi kuitenkin ilmastusventtiili sekä pinnanmit-

taus tiedonlähettimineen. Näistä jälkimmäinen vaatii sähköt, joten todennäköisesti maan päälle jäisi jonkinlainen kaivorakenteen osa tai koppi. Imeytyskaivo tarvitsee myös noin kolme metriä leveän huoltotien.

Imeytyskaivossa on varauduttava sen tukkeutumiseen. Putkikaivon tukkeutumisesta ei ole ilmeisesti kokemuksia Suomessa. Putkikaivo asennettaisiin todennäköisesti noin 30 metrin syvyyteen. Kaivon puhdistaminen sieltä voisi olla hankalaa ja sopivaa tekniikkaa voi olla hankala löytää. Kuilukaivon tapauksessa kaivo voisi olla noin viisi metriä syvä ja sen pohjalle voisi laittaa suodatinhiekkakerroksen. Sellaisen tukkeutuminen ja puhdistaminen olisi huomattavasti helpompaa ja halvempaa. Tosin kuilukaivon voi toteuttaa ainoastaan jos maaperä on jo pintaosista vettä hyvin johtavaa.

4.5 Pintakuorman mittaus

Ahveniston tekopohjavesilaitoksen merkittävä puute on virtausmittarien vähäisyys imeytysalueelta. Imeytysjärjestelmiin virtaava vesi jakaantuu pinta-alan mukaan pintakuormaksi. Sen yksikkö on esimerkiksi m/d, joka voi kuitenkin olla harhaanjohtava, sillä se on vain supistettu muoto $m^3/(m^2*d)$:stä.

Alajärven imeytysvesipumppaamolla on automaattinen virtausmittaus, mutta veden jakaantumista eri imeytysjärjestelmiin pintakuormaksi, ei tiedetä. Itse imeytysalueella on yksi virtausmittari, joka mittaa kuinka paljon virtaa kahdelle altaalle ja viidelle sadetuskentälle, mutta tämä tieto yksinään on nykyään lähes merkityksetön.

Kuinka paljon milläkin imeytysaltaalla tai sadetuskentällä on vuoden aikana imeytetty, on perustietoa, jota on hyvä kerätä vuosien varrelta talteen. Tieto auttaa imeytysalueiden toiminnan seuraamisessa ja tulevaisuudessa tiedolle voi olla tarvetta. Tietoa voi käyttää esimerkiksi opinnäytetyön tekijät tai hydrogeologit harjun virtauksia tutkiessaan. Tällä hetkellä on oikeastaan mahdoton sanoa pystytäänkö I-altaalla imeyttämään keskimääräisesti yhtä hyvin kuin altaan alkuaikoi-

na. Jonkinlainen käsitys tästä voi työntekijöiden mielessä olla, mutta varma mittaustieto puuttuu. VIVA-tutkimusten aikaan pintakuormaa mitattiin ämpärin ja sekuntikellon avulla, joten siitä on jonkinlainen käsitys muutamalta vuodelta (Manninen 2015).

Uuden imeytysalueen ohessa suunniteltiin virtausmittarien lisäämistä imeytysalueelle. Virtausmittarit asennetaan putken liitoskohtaan, joten se vaatii putken katkaisua ja kaivon, jossa on tarpeeksi tilaa. Putkessa olevan virtausnopeuden on myös oltava tarpeeksi suuri, mikä kuitenkin riippuu mittarin tyypistä. Jos putki on halkaisijaltaan liian suuri, täytyy mittarin kohdalle tehdä putken kuristus, jolloin virtausnopeus suurenee.

Käytännöllisintä on, että virtausmittari ja sen yhteydessä oleva venttiili toimisivat etäyhteydellä. Silloin niitä pystyisi säätämään esimerkiksi Ahveniston vesilaitokselta käsin. Tämä vaatii luonnollisesti sähköä, jota imeytysalueella on tosin tarjolla kolmelta sopivissa paikoissa olevilta sähkökaapeilta.

Vaikeuksia imeytysalueella aiheuttavat virtausmittarien sijoituspaikat ja niiden määrä. Mittarit tarvitsevat suojakseen kaivon, koska muuten, ne vesilaitoksen kokemuksella, joutuvat ilkivallan kohteeksi. Mittarit tarvitsevat uudet kaivorakenteet, sillä jo olemassa olevat kaksi jakokaivoa, ovat liian ahtaita mittarien liittämiselle. Virtausnopeus voi jäädä liian pieneksi, joten putket vaativat kuristuksen. II- ja III-altaiden kohdalla ongelma on, että putki kulkee noin 3,5 metrin syvyydessä jyrkän harjun ja altaiden välisellä penkereellä, missä on sortumisvaara. Putkitöiden ajaksi altaatkin pitäisi todennäköisesti tyhjentää.

4.5.1 Magneettinen virtausmittari

Magneettisessa virtausmittauksessa muodostetaan magneettikenttä putkessa virtaavaan veteen. Jos putkessa virtaava neste on sähköä johtavaa, niin muodostuu jännite, joka on suhteessa virtaukseen. Tätä jännitettä mitataan putken ulkopinnoilla olevilla sensoreilla, joten itse virtaukseen ei olla kosketuksessa. Tällainen

mittaus vaatii suoraa putkea ylävirtaan päin 3-5 putken halkaisijan mittaa ja 0-3 halkaisijan mittaa alavirtaan. Nämä mitat ovat sensorien tasolta mitattuna. On tosin olemassa magneettisia mittareita, jotka eivät tarvitse virtaustasoitusetäisyyttä (Manninen 2015). (Universal flow monitors 2015)

Magneettiset virtausmittarit ovat tyypillisiä vesihuollon sovelluksissa. Usein niitä käytetään putkissa, joissa vesi virtaa juuri painovoimaisesti. Putken täytyy olla kuitenkin täynnä vettä, muuten mittaukseen tulee suurta virhettä. Imeytysalueen tapauksessa tämä ei ole ongelma, sillä putket virtaavat aina täysinäisinä, kunhan yläkaivo syöttää vettä jatkuvasti. (Universal flow monitors 2015)

4.5.2 Ultraääninen virtausmittari

Ultraäänisiä virtausmittareita on kahdenlaisia, molemmat perustuvat ääniaaltojen lähettämiseen. Kuten magneettisessa mittauksessa, myös ultraäänimittaus suoritetaan putken ulkopuolisilla laitteistoilla, joten veteen ei olla kosketuksessa. Jotkin ultraäänimittareista voidaan asentaa putkeen täysin ilman putkitöitä. Tämä tekisi asentamisesta kaikista helpointa, mutta toisaalta näiden mittaustarkkuudessa on ongelmia. (Universal flow monitors 2015)

Ensimmäisessä menetelmässä vastaanotin lähettää ääniaallon veteen, joka heijastuu vedestä takaisin. Jos vedessä ei ole virtaamaa, palaa ääniaalto samalla taajuudella. Mitä enemmän virtaama on, sitä enemmän heijastuva taajuus muuttuu. Mittari laskee virtauksen taajuuden muutoksen suuruudesta. Tämä on ultraäänimenetelmistä halvempi. (Universal flow monitors 2015)

Toisessa menetelmässä on lähetin-vastaanotinparit sekä ylä-, että alavirrassa. Ne ampuvat toisiin päin ultraääniaaltoja. Kun näiden kahden välinen ääniaallon kulkuaika on sama, on putken virtaama nolla. Jos putkessa on virtaamaa, kestää ylävirrasta alavirtaan kulkevan ääniaallon kauemmin kulkea alavirran vastaanottimeen. Mittari laskee virtauksen kulkuaikojen erosta. Tämä on ultraäänimenetelmistä tarkempi. (Universal flow monitors 2015)

4.5.3 Siivikkomittari

Myös siivikkomittari voisi yksinkertaisuudessaan olla vaihtoehto virtausmittarin tyypiksi imeytysalueelle. Niissä veden virtaama on verrannollinen sen pyörittämän roottorin pyörimisnopeuteen. Siivikkomittareita käytetään nesteille ja kaasuille, joilla on pieni viskositeetti. (Halko, ym.1996, 94)

Woltman-mittari on eräänlainen siivikkomittari. Siinä virtaama kohtaa roottorin akselin suuntaisesti ja roottorin liike välitetään laskijalaitteelle mekaanisesti. Turbiinimittari toimii samankaltaisella roottorilla kuin Woltman-mittari, mutta siinä mittarin tieto saadaan myös sähköisenä. Woltman-mittarin mittaustarkkuus on noin 2 %, kun taas turbiinimittarin 0,5-1,0 % (Halko, ym.1996, 94)

Imeytysalueella virtaamia säädellään muutaman kerran vuodessa, joten virtausmittariksikin voisi soveltua vain mekaaninen mittari, josta virtaama luetaan ja kirjataan manuaalisesti ilman tiedon lähettämistä automaation välityksellä vesilaitokselle. Tämä sitoisi tietenkin työmiehen säännölliseen mittarin lukeman tarkistamiseen esimerkiksi kerran kuussa.

4.5.4 Mittarien sijoittelu

Ilmeisesti magneettiset virtausmittarit ovat vesihuollossa kaikista yleisimmin käytettyjä. Ultraäänimittarit ovat uusin ja kaikista kallein vaihtoehto, mutta toisaalta niiden asennus voisi käydä kaikista helpoiten. Siivikkomittari on vanha tekniikka, joka voisi yksinkertaisuudessaan sopia imeytysalueelle. Se olisi vaihtoehdoista varman kaikista edullisin, jolloin mittareita voisi laittaa useampaan kohtaan. Siivikkomittari tosin aiheuttaa pienen painehäviön.

Uuden imeytysalueen yhteydessä virtausmittari todennäköisesti asennettaisiin pumpun ja sen kaivon yhteyteen. Minimivaatimuksena olisi, että jokaiselle imeytysaltaalle ja kahteen haaraan, josta sadetukseen otetaan vettä, asennetaan vir-

tausmittarit. Sadetushaaroista ensimmäisestä vesi virtaa kahdelle sadetuskentälle ja toisesta viidelle. Näin vaihtoehto yhdessä virtaamaa mitattaisiin yhteensä kuudesta kohdasta.

Toinen vaihtoehto on mitata myös jokaisen sadetuskentän virtaama. Tällöin virtausmittareita olisikin kuuden sijaan 11, koska haarakohtiin ei tarvitsisi kahta mittaria asentaa. Yksi erikoinen toimenpide olisi murtaa II- ja III-altaan välinen penger jolloin kaksi allasta olisikin vain yksi. Silloin tarvittaisiin vain yksi virtausmittarikin ja sen voisi asentaa helpompaan kohtaan. II-ja III-altaat ovat kuitenkin eri korkeustasolla. Tässä tapauksessa veden saaminen leviämään entiselle III-altaalle vaatisi veden korkean padotuksen entisessä II-altaassa.

Altaiden virtausmittarit vaatisivat isomman ja syvemmän kaivon, koska niiden putkistot kulkevat maan alla. Tämä vaatisi myös suurempia putkitöitä. Sadetuskenttien mittarikaivot voisivat olla vain yksinkertaisia betonirenkaita, joiden läpi pintaputki viedään. Betonirenkaat voisivat olla puoliksi maan alla ja niiden sisään tulisivat virtausmittarit. Samalla kun sadetuskenttien mittarit asennettaisiin, voitaisiin hieman kunnostaa sadetuskentille kulkevaa väylää, joka on nykyään lahonneista parruista, piikkilanka-aidasta ja pusikosta koostuva temppurata.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Toimeksiantajan kannalta oli tärkeää saada hanke aluille ja etenemään. Tavoitteena oli saada valmiiksi suunnitelma millä uutta imeytysaluetta lähdettäisiin toteuttamaan ja vanhaa uudistamaan. Tämä opinnäytetyö kuvastaa sitä vaihetta missä suunnittelutyö oli noin kolmen kuukauden jälkeen. Vaikka opinnäytetyö päättyy, ei suunnittelu suinkaan ole ohi, päinvastoin joiltakin osin on se vasta aluillaan.

Sopiva imeytysalue on alustavasti löydetty ongelmista huolimatta. Se mahdollisti vesilaitoksen puolesta tarkemmat suunnitelmat veden johtamisesta sinne. Tätä varten suoritettiin maastomittauksia korkeustietojen saamiseksi. Samoja tietoja etsittiin myös tekopohjavesilaitoksen aikaisempien laajennusten suunnitelmista. Nämä tiedot eivät olleet aina keskenään yhtenevät, joten valintoja täytyi tehdä. Kerätyillä tiedoilla saatiin ensimmäiset painehäviölaskelmat tehdyiksi, jotka eivät tosin tässä muodossaan ole erityisen hyödyllisiä. Niiden avulla voitiin sanoa, että pumppaus tarvitaan, mutta sen mitoitusta ei ole tehty. Laskelmat on viety kuitenkin siihen pisteeseen, mihin ne on mahdollista ollut viedä.

Yllätyksenä tuli virtausmittarien hankala toteuttaminen imeytysalueella. Jossain vaiheessa opinnäytetyön merkittäväksi osa-alueeksi kaavailtu aihe rajautui melkein työn ulkopuolelle. Virtausmittarien tärkeys on kuitenkin korkealla ja liittyy myös uuden imeytysalueen suunnitteluun esimerkiksi virtausmäärien leviämisen osalta.

Suunnittelun seuraava vaihe on maaperätutkimukset, joiden mukaan imeytysmenetelmä ja sen virtaamamitoitus voidaan tehdä. Ensisijaisena menetelmänä on koko ajan pidetty kaivoimeytystä, mutta kaivon tyypistä ei ole sen suurempaa varmuutta. Myös sadetusimeytys pidettiin pitkään vaihtoehtona, mutta sen toteuttaminen uudella imeytysalueella, ei näytä mahdolliselta. Maaperätutkimukset koostuvat ainakin kairauksesta, jonka yhteydessä asennetaan pohjaveden havaintoputki. Näiden antamien maaperä- ja vedenjohtavuustietojen avulla tullaan arvioimaan, paljonko vettä voitaisiin imeyttää. Kaivoimeytys vaatii paikan, josta voi imeyttää pistemäisesti. Täytemaan paksuus määrittelee onko kaivo mahdollista

toteuttaa kuilukaivona. Jos täytemaata on enemmän kuin noin muutaman metrin, täytynee kaivon olla putkikaivo.

Maaperätutkimuksien puuttuessa myös painehäviölaskelmat ovat tässä vaiheessa epävarmoja. Laskelmat voidaan viedä loppuun, kun arviot mahdollisesta imeytysmäärästä alkavat kirkastua. Opinnäytetyössä esillä ollut arvio 2000 m^3/d on tekijän oma arvio, joka voi olla kaukana lopullisesta.

Uuden imeytysalueen sijoittaminen Natura 2000-alueelle on ongelmallista, eikä sitä ehdotettaisi jos parempi paikka olisi jossain tarjolla. Tekopohjaveden muodostamisessa on jo pitkään haettu tapaa, joka olisi sekä ympäristöystävällinen, että tehokas. Tämä hanke ei ole siitä poikkeus. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että hanke pysyttäisiin toteuttamaan ilman suojeltujen luontotyyppien vaarantamista. Uudelle imeytysalueelle on Hattelmalanharjulla onneksi tilaa luonnonsuojelualueen ulkopuolella ja kaivoimeytys minimoisi vaikutukset.

Toivottavasti hanke onnistuu niin, että imeytyskaivolla saadaan pohjavedenpinta Hattelmalanharjulla kohoamaan. Kokonaisimeytyksen palauttaminen entiselleen on vielä kauempana tulevaisuudessa, mutta uudella imeytysalueella otetaan sitä kohti ensimmäiset askeleet.

LÄHTEET

Ahonen, J., Rauhaniemi, T., Valjus, T. 2013. Geologisen rakenteen selvitys Parolan, Ahveniston ja Hattelmalanharjun pohjavesialueilla. Geologian tutkimuskeskus

A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Artimo, A., Puurunen, O., Saraperä, S., Ylander, I. 2007. Geologinen informaatio tekopohjavesihankkeen toteuttamisessa – Pohjavesitutkimukset Virttaankankaalla. Turun Seudun Vesi OY

Albrechtsen, H-J., Boe-Hansen, R., Henze, M., Mikkelsen, P.S. 1998. Microbial growth and clogging in sand column experiments simulating artificial recharge of groundwater. Teoksessa Peters,J.H. Artificial recharge of groundwater.

Binnie, C., Kimber, M. 2013. Basic water treatment – Fifth edition. ICE publishing.

Bosher,C.B., Simms,T.O., Kracman,B. 1998. Wastewater aquifer storage and recovery (ASR) – Towards sustainable reuse in South Australia. Teoksessa Peters,J.H. Artificial recharge of groundwater

David. P., Pyne. G. 1998. Aquifer storage recovery. Recent developments in the United States. Teoksessa Peters,J.H. Artificial recharge of groundwater

Destia Oy. 2012. Valtateiden 3 ja 10 sekä maantien 130 pohjavesisuojaus ja eritasoliittymän parantaminen Hattelmalanharjun alueella, Hämeenlinna. Suunnitelmakarttojen loppupiirrustukset.

Destia Oy / Infrasuunnittelu. 2011. Vt 3 ja mt 130 Hattelmalanharjun pohjavesisuojaus vaihe 2 KU

Dillon. P., Pavelic. P., 1998. Environmental guidelines for aquifer storage and recovery: Australian experience. Teoksessa Peters,J.H. Artificial recharge of groundwater

Grundofs pumppukäyrät-esite. Viitattu 19.5.2015
net.grundfos.com/Appl/WebCAPS/.../Grundfosliterature-147006.pdf

G.ter, Horst. 1998. The role of artificial recharge of groundwater for the water supply of Amsterdam. Teoksessa Peters,J.H. Artificial recharge of groundwater

Halko, P., Härkönen., S, Lähteenmäki, I., Välimaa, T. 1996. Teollisuuden mittaustekniikka- perusmittauksia. Oy Edita Ab.

Hakoniemi, R., Tanttu, U. 2010. Imeytyskaivot tekopohjaveden muodostamisessa. Vesitalous 5/2010

Hatva, T., Lapinlampi, T., Gustafsson, Juhani., Hiisvirta, L., Liimatainen, J., Salonen, L., Santala, E., Seppänen, H. 1996. Kaivo-opas. Suomen ympäristökeskus. Helsinki

Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003. Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Helmisaari, H-S., Derome, J., Kitunen, V., Lindroos, A-L., Lumme, I., Monni, Satu., Nöjd, P., Paavolainen, Laura., Pesonen, E., Salemaa, M., Smolander, A. 1999. Veden imeytyksen vaikutukset metsämaahan ja kasvillisuuteen sekä vajo- ja pohjavedenlaatuun – VIVA- tutkimushankkeen loppuraportti. METLA / Vantaan tutkimuskeskus

Helmisaari, H-S., Derome, J., Kitunen, V., Lindroos, A-L., Lumme, I., Monni, Satu., Nöjd, P., Paavolainen, Laura., Pesonen, E., Salemaa, M., Smolander, A. 1998. Sprinkling infiltration in Finland: Effect on forest soil, percolation water and vegetation. METLA / Vantaa Research Centre

Helmisaari, H-S. 2003. Tiivistelmä. Teoksessa: Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Hämeen ELY-keskus. 2013. Hattelmalanharju Viitattu 28.4.2015. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Luonto/Suojelualueet/Natura_2000_alueet/Hattelmalanharju(7111)

Iihola, Heikki. 1974. Tekopohjavesitutkimukset. Teoksessa Pohjaveden hyväksikäyttö ja suojelu. Kajosaari, Eero., Airaksinen, Jussi., Helenius, Lauri., Laukkanen, Eero., Wihuri, Heikki., Viikari, Pertti

Ikäheimo, J., J Mäki-Torkko. 2009. Isotooppiselvitys. I vaiheen tulokset.

Pohjavesiensuojelusuunnitelma. .Insinööritoimisto Risto Reijola. Koljonen, J., Jylhä-Ollila, M., Eerikäinen, A., Huuhko, J., Onnila, P., Kantonen, P. 2006. Hattulan, Hämeenlinnan, Kalvolan ja Rengon pohjavesialueiden suojelusuunnitelma 27.11.2006.

Juuti, P., Rajala, R., Katko, T. 2000. Terveyden ja ympäristön tähden - Hämeenlinnan kaupungin vesilaitos 1910 – 2000. Karisto OY. Kirjoittajat ja Hämeenlinnan kaupungin vesilaitos.

Katko, T.S. 2013. Hanaa! Suomen vesihuolto – kehitys ja yhteiskunnallinen merkitys. Suomen vesilaitosyhdistys.

Kivimäki, A-L. 1995. Rantaimeytys tekopohjaveden muodostamismenetelmänä. Vesi- ja ympäristöhallitus.

Kivimäki, A-L. 1992. Tekopohjavesilaitokset Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja numero 98. Helsinki.

Kivimäki, A-L., Lahti, K., Hatva, T., Tuominen, S.M., Miettinen, I.T. 1998. Removal of organic matter during bank filtration. Teoksessa Peters,J.H. Artificial recharge of groundwater

Kolehmainen, Reija. 2009. Tekopohjaveden tuotannon optimointi perustutkimuksen avulla. Vesitalous 3/2009.

Koski, H. 2015. Uudenmaan ELY-keskus. Hankkeen projektipäällikön sähköpostiviesti.

Lindroos, A –J., Smolaner, A., Helmisaari, H-S., Höijer, L., Derome, J. 2003.Metsämaan pintakerroksen pH-Arvo ja ravinteiden pitoisuudet. Teoksessa Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Lining. Paineenkorotusasemat. Viitattu 22.5.2015 http://www.lining.fi/tuotteet/pumput-ja-pumppaamot/paineenkorotusasemat

Länsi-Suomen vesioikeuden päätös tekopohjaveden muodostamisesta. 1975.

L 23.6.2005/503. Maantielaki. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 5.5.2015. https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503#L3P42

Manninen, H. 25.5.2015. Haastattelu. Hämeenlinna.

Manninen, H. 2002. Opinnäytetyö. Ahveniston tekopohjavesilaitoksen ympäristömuutokset. HAMK.

Miettinen. 2003. Mikrobit ja levät. Teoksessa Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003.. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Miettinen, Ilkka., Illmer, Kari. Tekopohjaveden laatu. Teoksessa Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos,

Mälkki, E. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Helsinki

Pöyry Finland. 2011 Imeytys- ja merkkiainekoe Pälkäneellä, Loppuraportti. TAVASE OY. Viitattu 17.4.2015.
http://www.tavase.fi/ladattavat/Loppuraportti_30032011_low.pdf

Pöyry Finland OY. 2011. Vehoniemen-Isokankaan harjualueen tekopohjavesilaitoksen yleissuunnitelma. TAVASE OY. Viitattu 28.5.2015
http://www.tavase.fi/fi/aineistot.html

Pääkkönen, Jorma. 2003. Epäorgaaniset aineet. Teoksessa Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003.. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Pääkkönen, P., Kytövaara,A., Reijonen, R., Määttä, J. 2003. Raakaveden esikäsittelykokeet. Teoksessa Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU- tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003.. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

Reijonen, R. 2003. Tekopohjaveden virtausolosuhteet. Teoksessa: Tekopohjaveden muodostaminen: imeytystekniikka, maaperäprosessit ja vedenlaatu – TEMU-tutkimushankkeen loppuraportti. Helmisaari, H-S., Illmer, K., Hatva, T., Lindroos, A-J., Miettinen, I., Pääkkönen, J., Reijonen, R., Mäenpää, L. 2003.. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus.

RIL 141. 1982. Yleinen vesitekniikka. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry

RIL 237-2-2010. Vesihuoltoverkkojen suunnittelu. Mitoitus ja suunnittelu. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry

Rönkä, E., Hatva, T., Iihola, H.1977. YVY tutkimus 34: Tekopohjaveden muodostaminen. Helsinki.

Ränkman, Esa. 2010. Tekopohjavesiprosessin tarkastelu ja kehittäminen Nokian vesilaitoksella. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto

Suomen pohjavesitekniikka. 1997. Ahveniston tekopohjavesialueen mallintaminen ja tekopohjaveden laadun parantaminen. Helsinki

Stephenson, T., Judd,S. 2002. Process science and engineering for water and wastewater treatment. IWA publishing.

Tamski, M. Nokian vesi. Haastattelu 28.12.2014

Tanttu, Unto. Tuusulan seudun vesilaitos kuntayhtymä. 28.10.2014

Universal flow monitors verkkokotisivut. Ultrasonic flowmeters for clean water. Viitattu 15.5.2015 http://www.flowmeters.com/ultrasonic-for-clean-water

Universal flow monitors verkkokotisivut. Magnetic flowmeters for clean water. Viitattu 15.5.2015. http://www.flowmeters.com/magnetic-for-clean-water

Uudenmaan ELY-keskus. 2012. Valtateiden3 ja 10 sekä maantien 130 pohjavesi-suojaus Hattelmalan eritasoliittymän alueella, Hämeenlinna - Pohjavesisuojauksen kuvaus.

Vahala, Riku. 2014. Drinking water management in the Nordic countries. Poh-joismaiden juomavesikonferenssi Helsingissä 2014. Esitys vesilaitosyhdistyksen verkkosivuilla. Viitattu 30.1.2015. http://lato.poutapilvi.fi/p4_vesijaviemari/files/3748/Vahala_Riku.pdf

Vaitomaa,J. 1998. Sinilevien ja niiden tuottamien maksatoksiinien käyttäytyminen imeytyksessä. Kokeita harju- ja sedimenttipatsailla.Suomen ympäristökeskus 174.

LIITTEET

Liiteluettelo

Liite 1: Karttakuva HS-Veden toiminta-alueesta vuonna 2015

Liite 2: Karttakuva tekopohjaveden muodostuksesta Hämeenlinnassa

Liite 3: Karttakuva Ahvenistonjärvestä ja Ahveniston vesilaitoksesta

Liite 4: Karttakuva Hattelmalanharjusta & Kylmälahden vesilaitoksesta

Liite 5: Karttakuva suunnitellusta imeytysalueesta

Liite 6: Pituusleikkauskuva imeytyksestä

Liite 7: Asemakuva imeytysjärjestelmistä

Liite 8: Rusutjärven tekopohjavesilaitoksen imeytyskaivojen imeytysmäärät

Liite 9: Havaintoputkitietoa Hattelmalanharjulta

Liite 10: Havaintoputkitietoa valtateiden liittymäalueelta

Liite 11: Ahvenistonjärven ja pohjaveden pinnankorkeudet

Liite 12: Havaintoputkitietoa Ahvenistonharjulta

Liite 13: Havaintoputkitietoa Kylmälahdesta

Liite 14: Colebrookin nomogrammi kun k =0,2

Liite 15: Colebrookin nomogrammin kun k= 0,4

Liite 16: Kuvia I-altaasta

Liite 17: Kuva II-altaasta

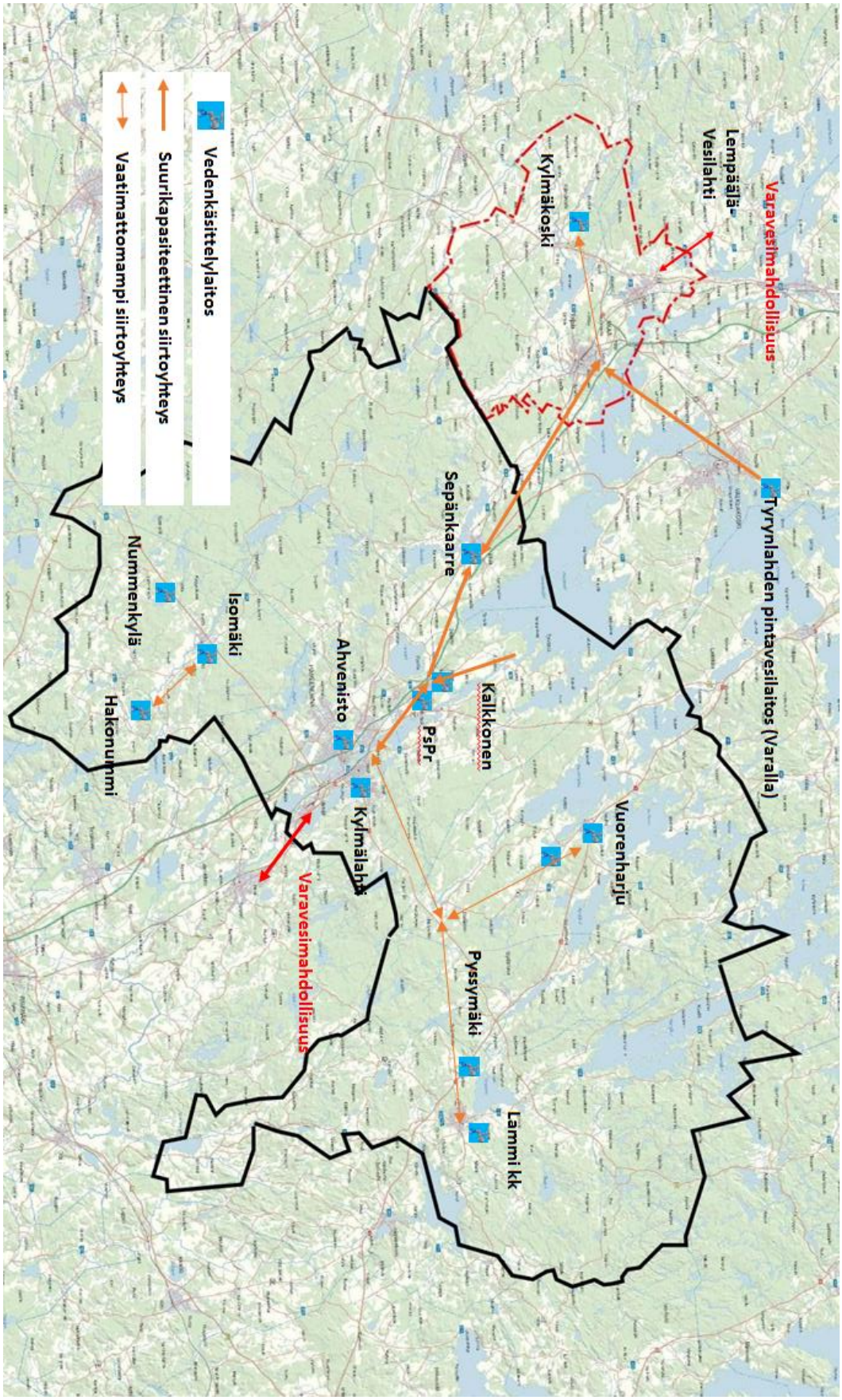
Liite 18: Kuva III-altaasta

Liite 19: Kuva havaintoputkesta

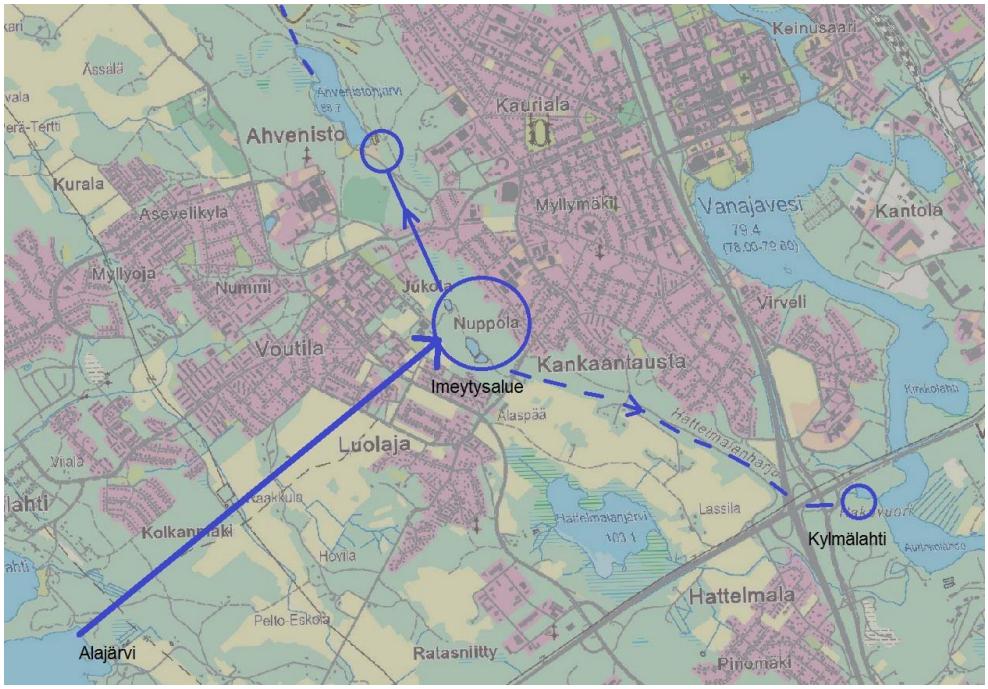
Liite 20: Kuva reitistä uudelle imeytysalueelle

Liite 21: Kuvia suunnitellulta imeytysalueelta.

Liite 1. HS-Veden toiminta-alue vuonna 2015

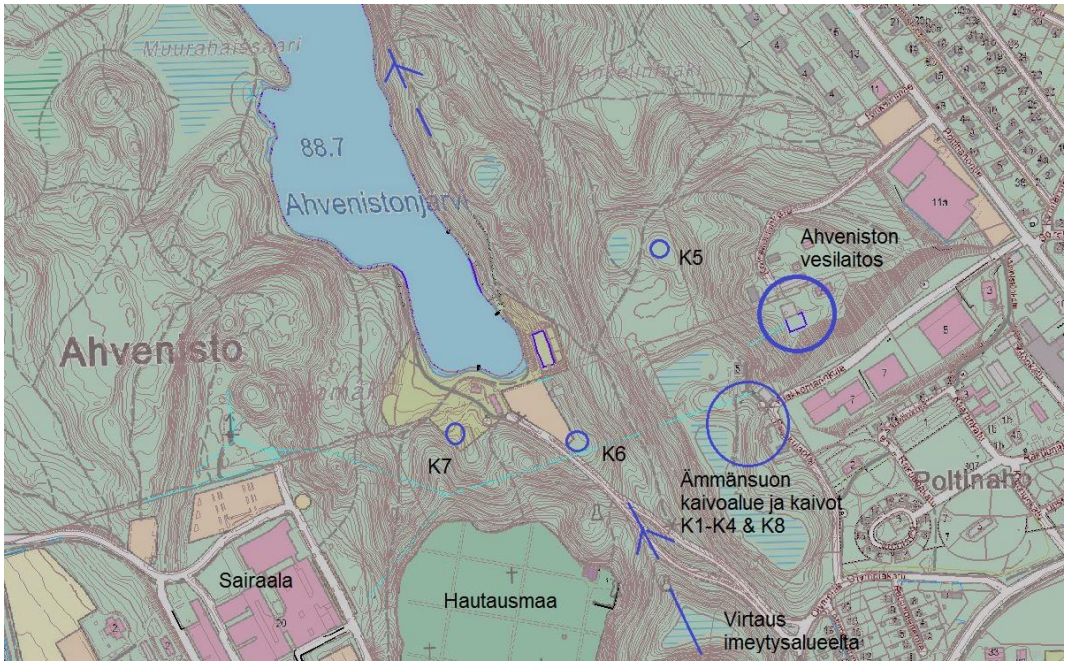


Liite 2. Tekopohjaveden muodostus Hämeenlinnassa

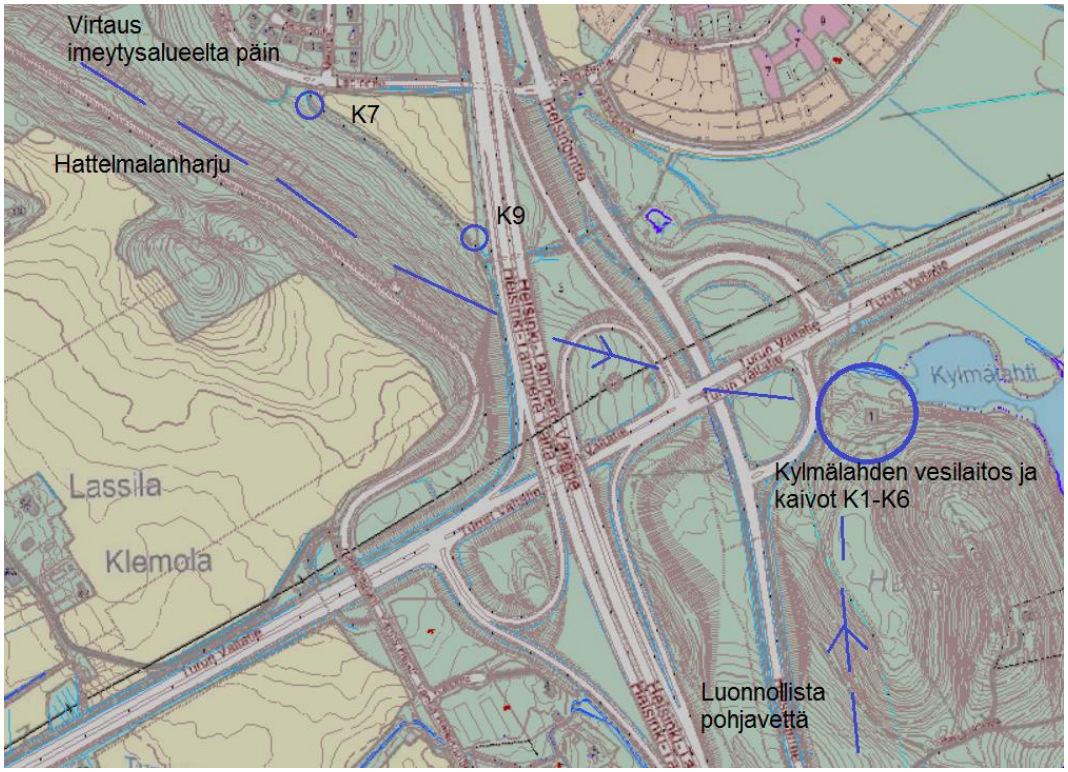


Osa vedestä valuu imeytyksestä myös Kylmälahteen. Ahvenistonjärvestä kaivojen ohi päässyt vesi kulkeutuu pohjoista kohti.

Liite 3. Karttakuva Ahvenistonjärvestä ja Ahveniston vesilaitoksesta (1:6000)

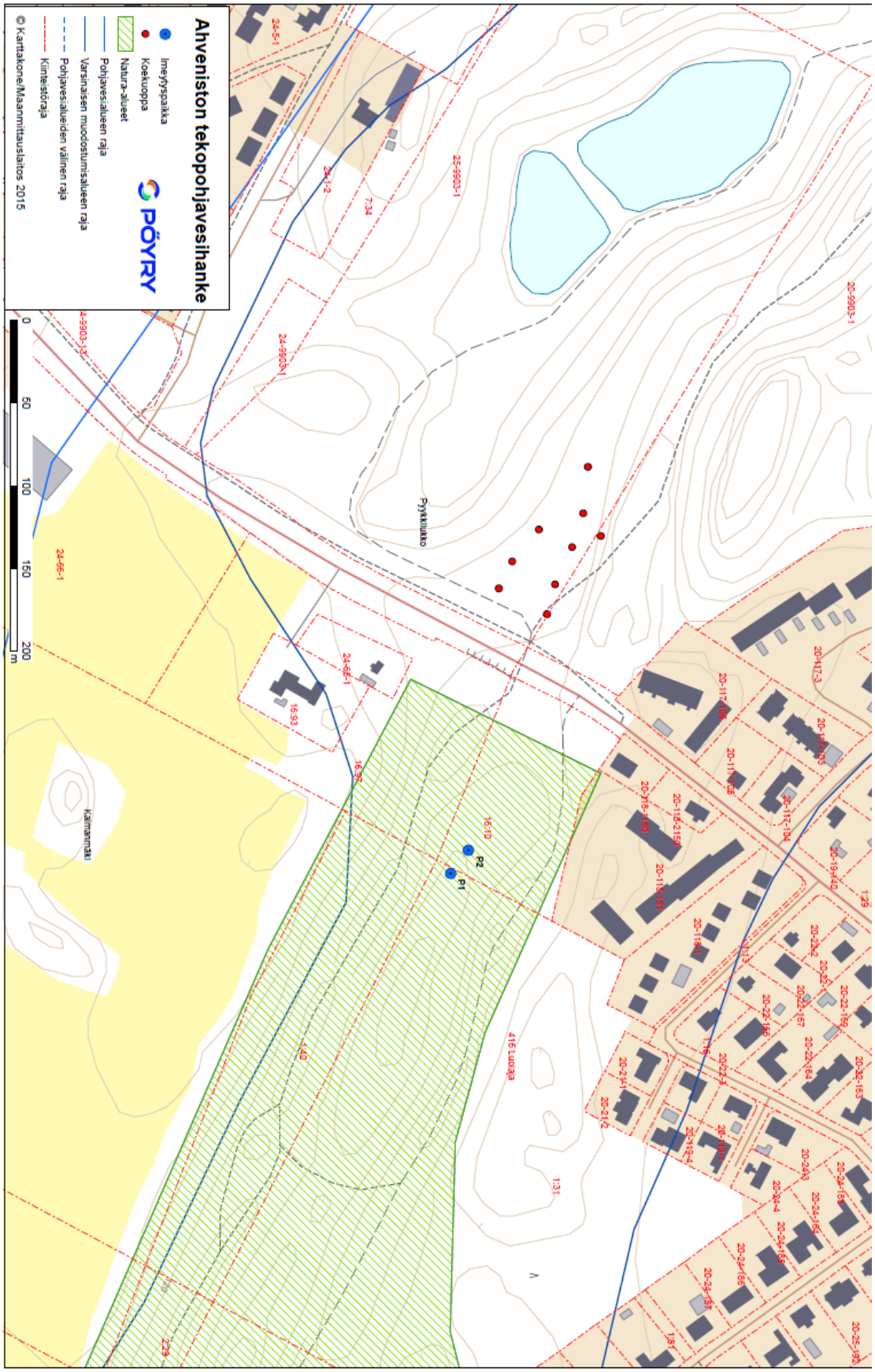


Liite 4. Karttakuva Hattelmalanharjusta & Kylmälahden vesilaitoksesta (1:4000)

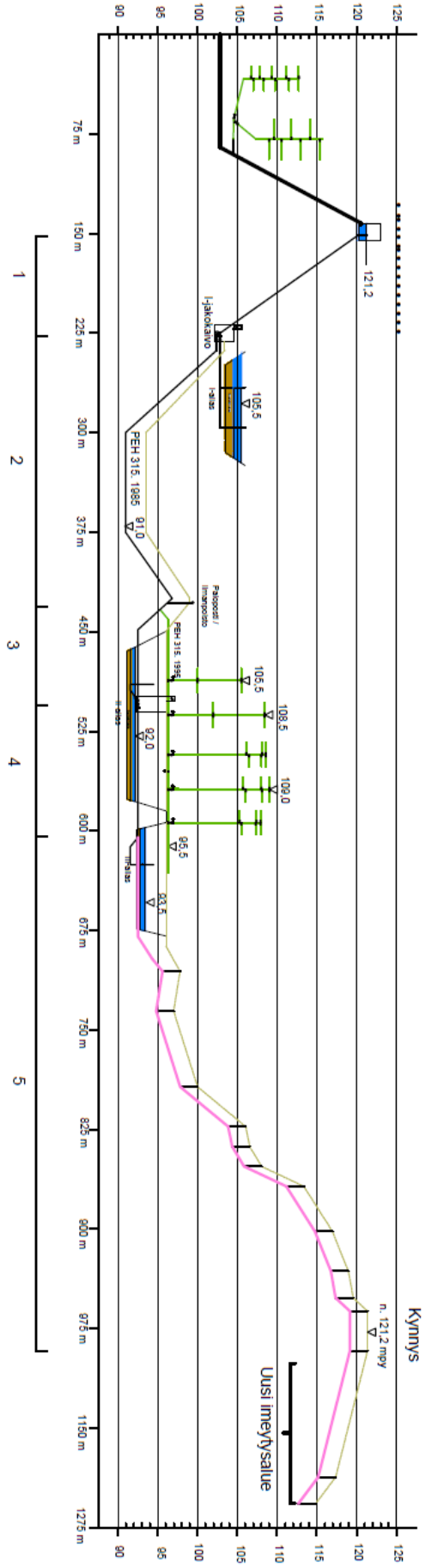


Hattelmalanharjun pohjavesiesiintymän virtaussuunnat sekä Kylmälahden kaivot ja vesilaitos. Valtateiden liittymäalueella on valmistunut pohjavedensuojaus vuonna 2011.

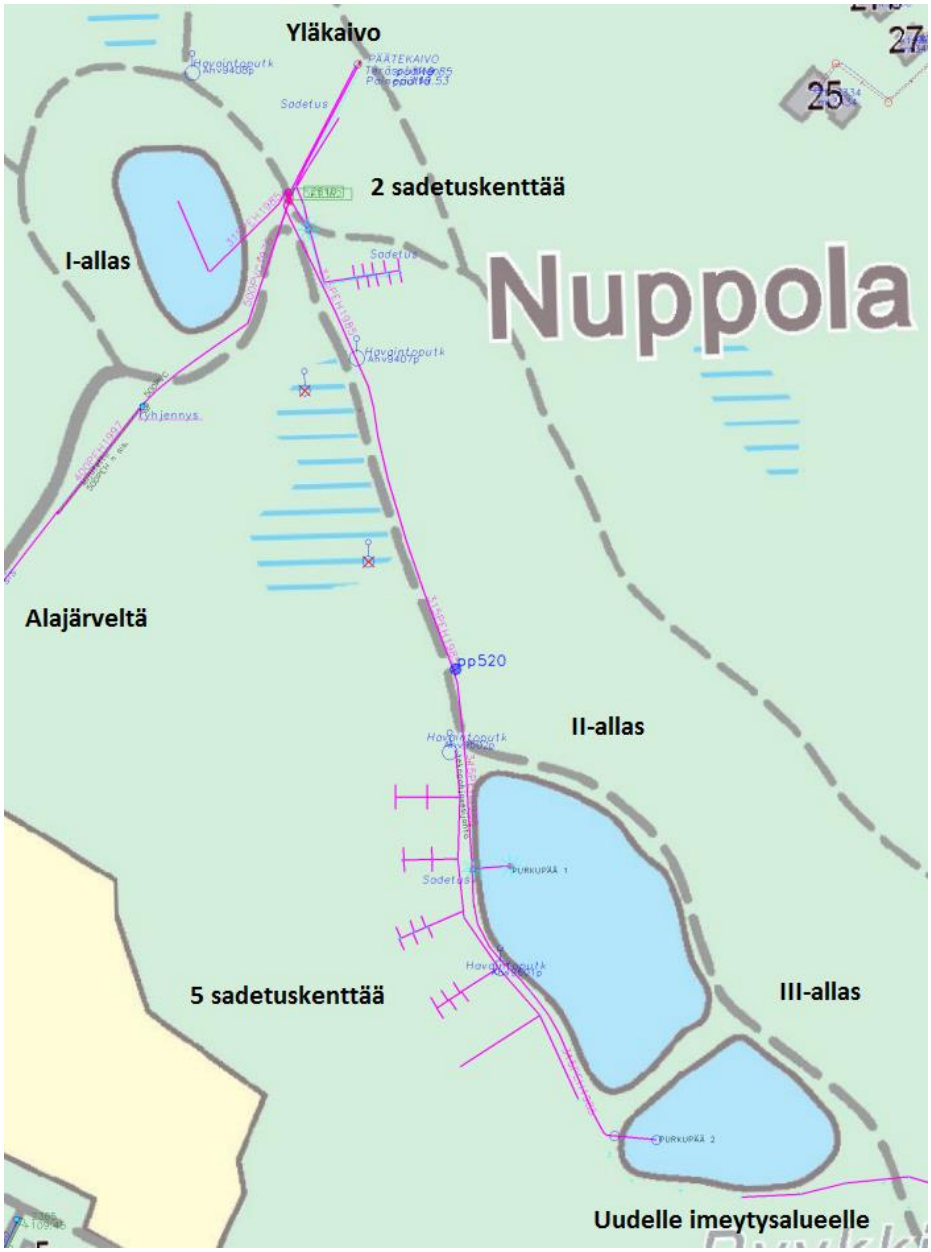
Liite 5. Karttakuva suunnitellusta imeytysalueesta



Liite 6. Pituusleikkauskuva imeytyksestä

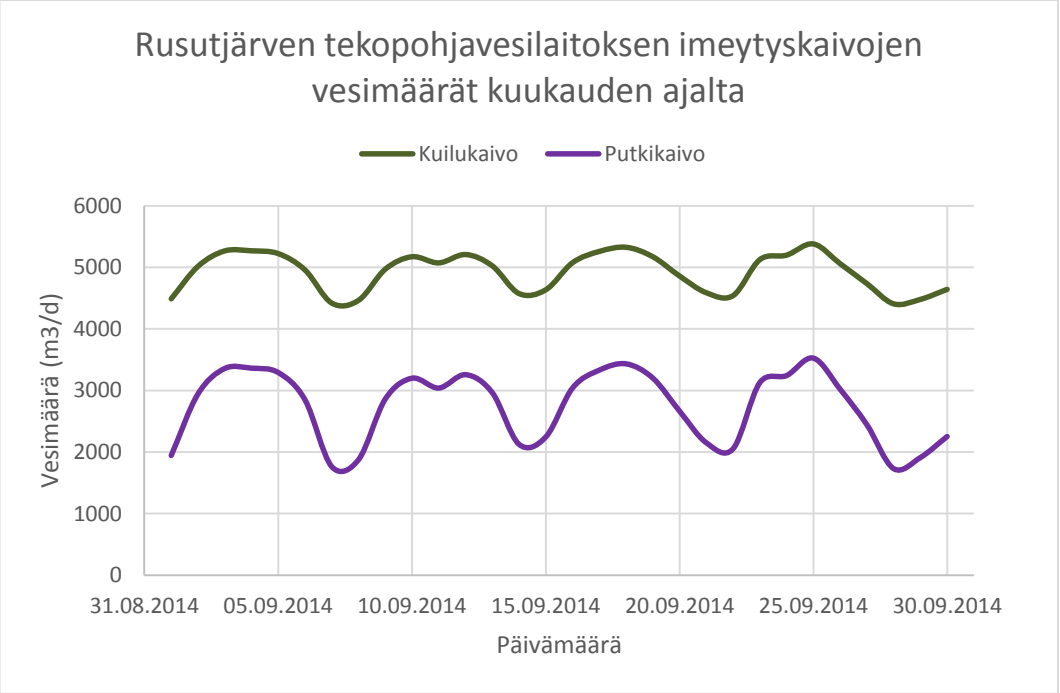


Liite 7. Asemakuva imeytysjärjestelmistä



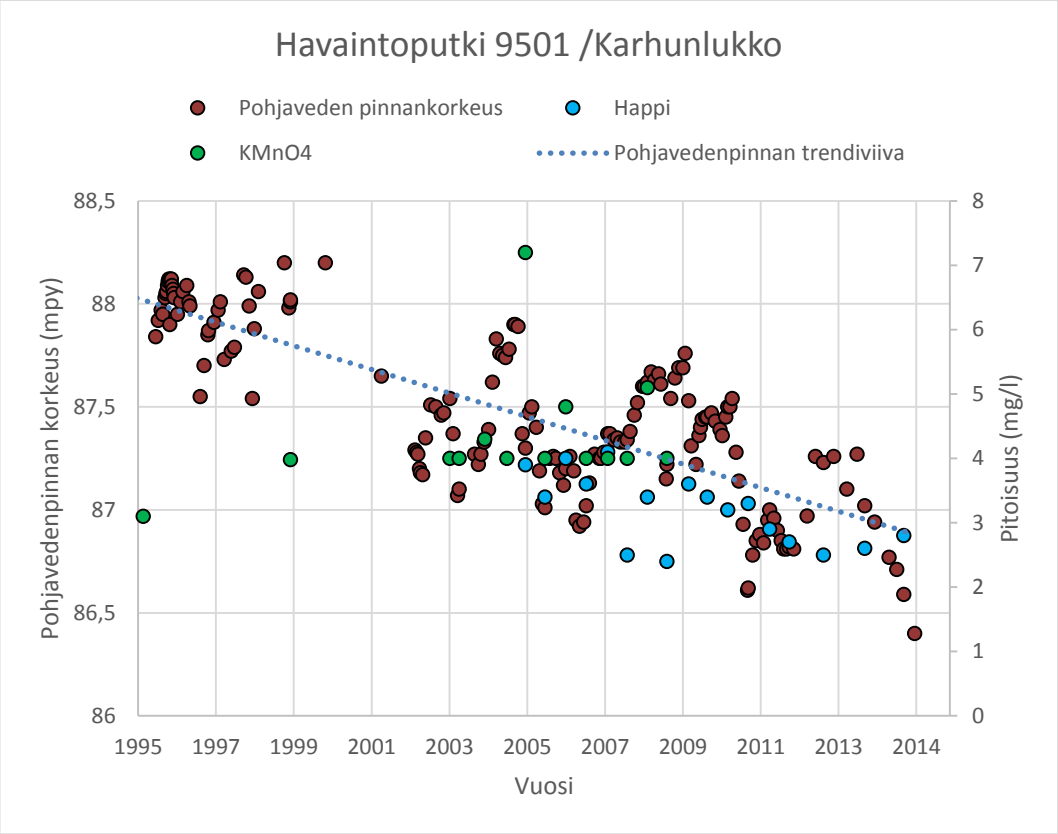
Kahdelta sadetuskentältä on tässä piirtämättä sadetushaarat.

Liite 8. Rusutjärven tekopohjavesilaitoksen imeytyskaivojen imeytysmäärät



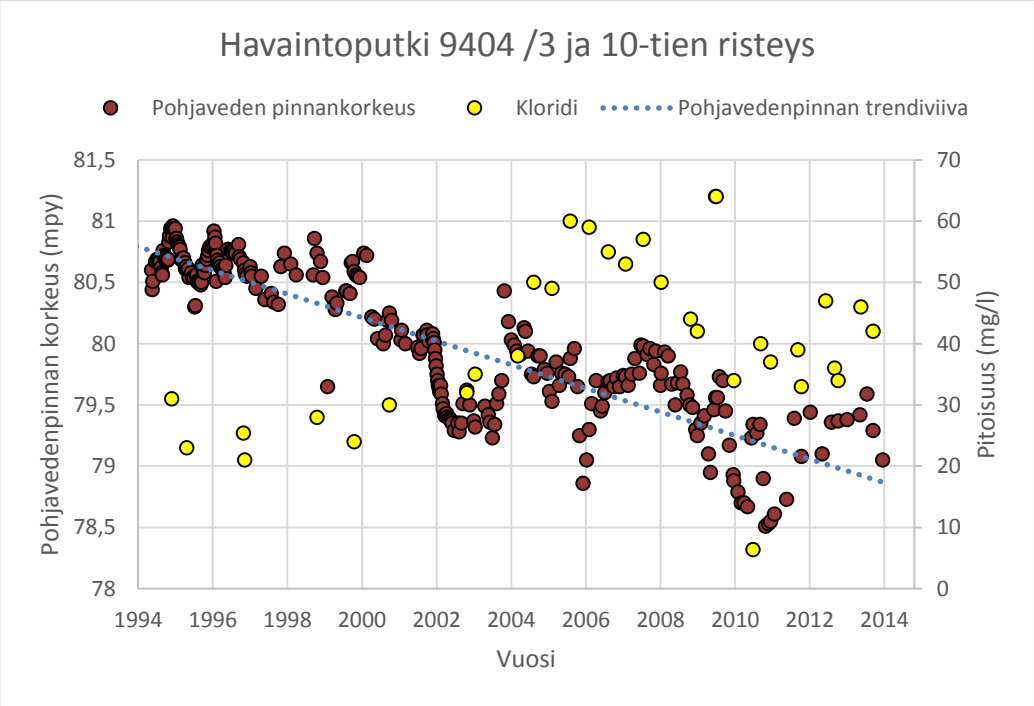
Esimerkkiä kuinka paljon imeytyskaivoilla pystytään imeyttämään.

Liite 9. Havaintoputkitietoa Hattelmalanharjulta

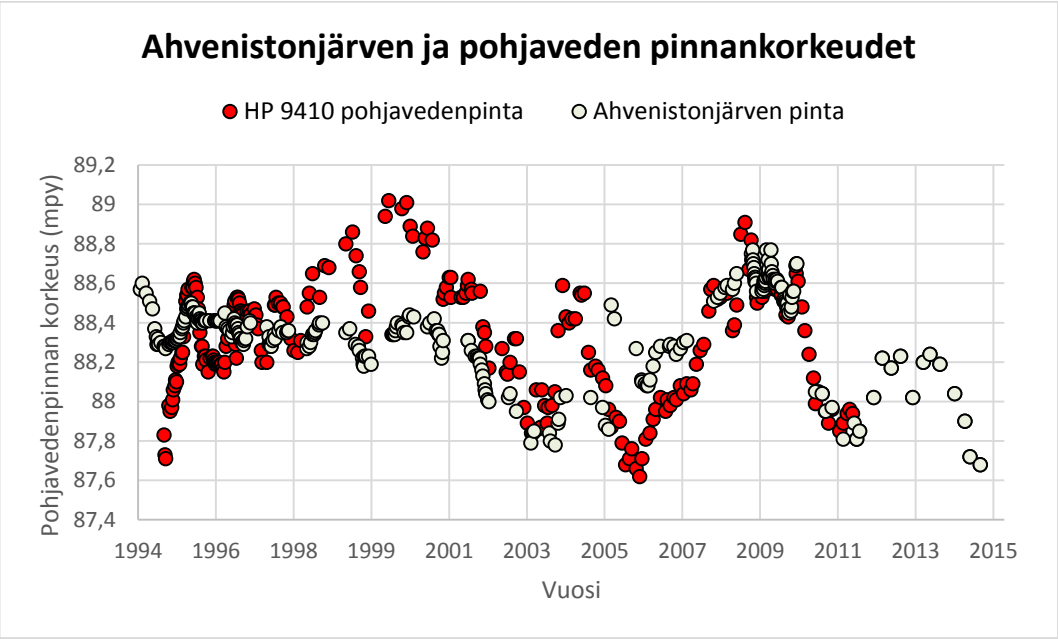


Havaintoputki Hattelmalanharjun supassa. Lähellä suunniteltua imeytysaluetta ja noin 1,1 km päässä vanhasta imeytysalueesta.

Liite 10. Havaintoputkitietoa valtateiden liittymäalueelta

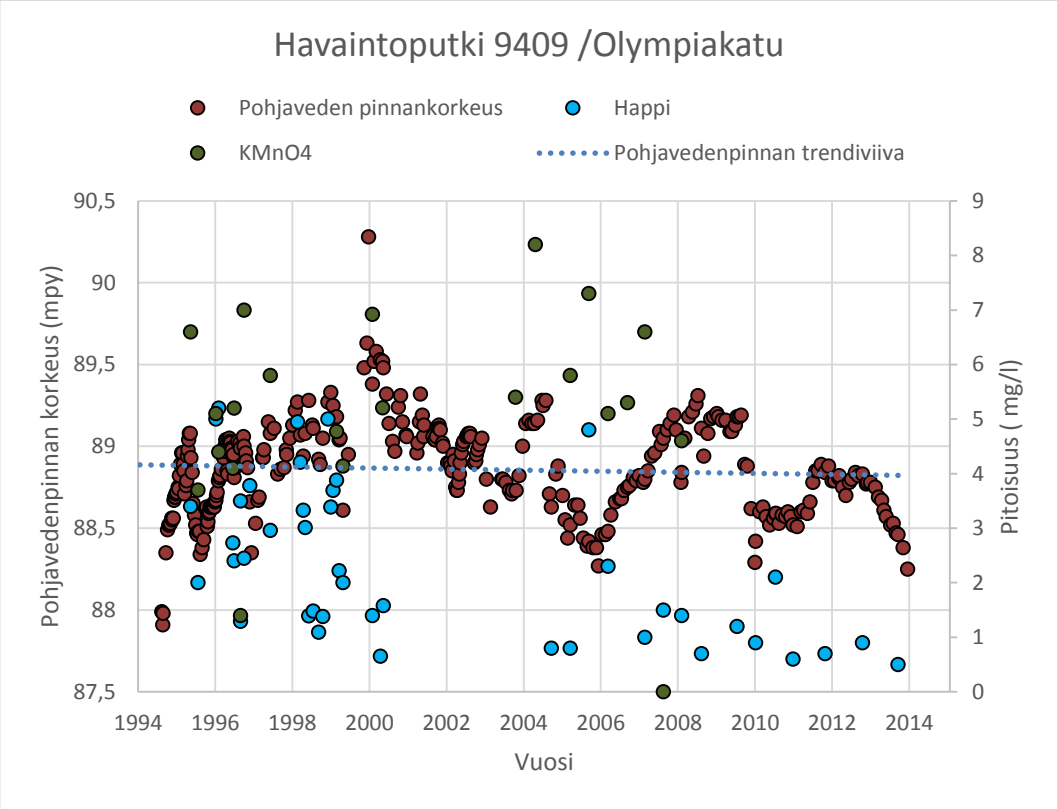


Liite 11. Ahvenistonjärven ja pohjaveden pinnankorkeudet



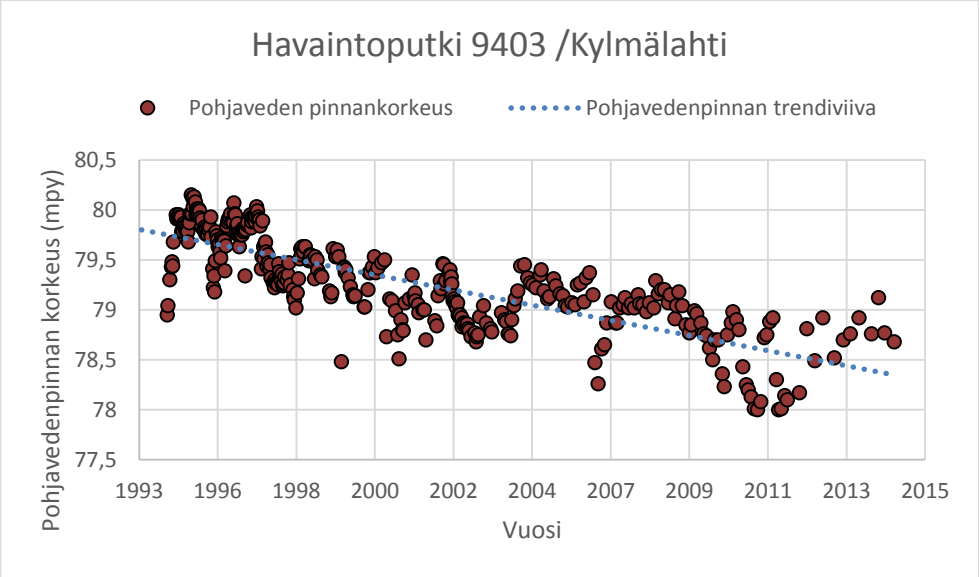
Havaintoputki noin 100 metrin päässä rannasta. Nykyään järven pintaa mitataan suoraan tästä havaintoputkesta.

Liite 12. Havaintoputkitietoa Ahvenistonharjulta



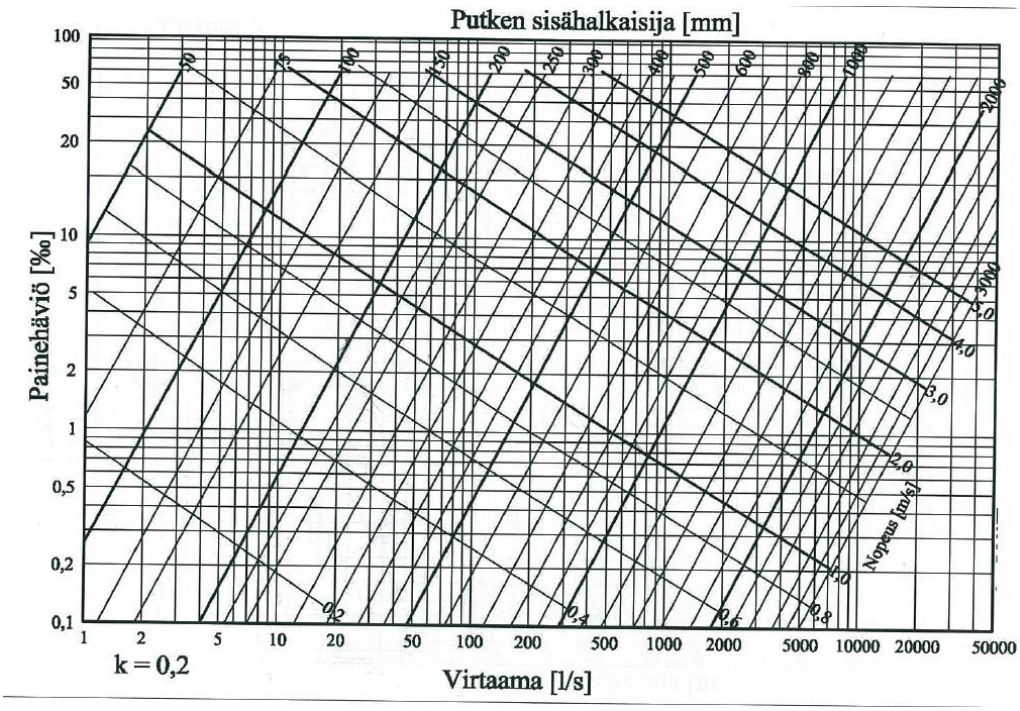
Happi usein vähissä. Raudan ja mangaanin liukeneminen mahdollista.

Liite 13. Havaintoputkitietoa Kylmälahdesta



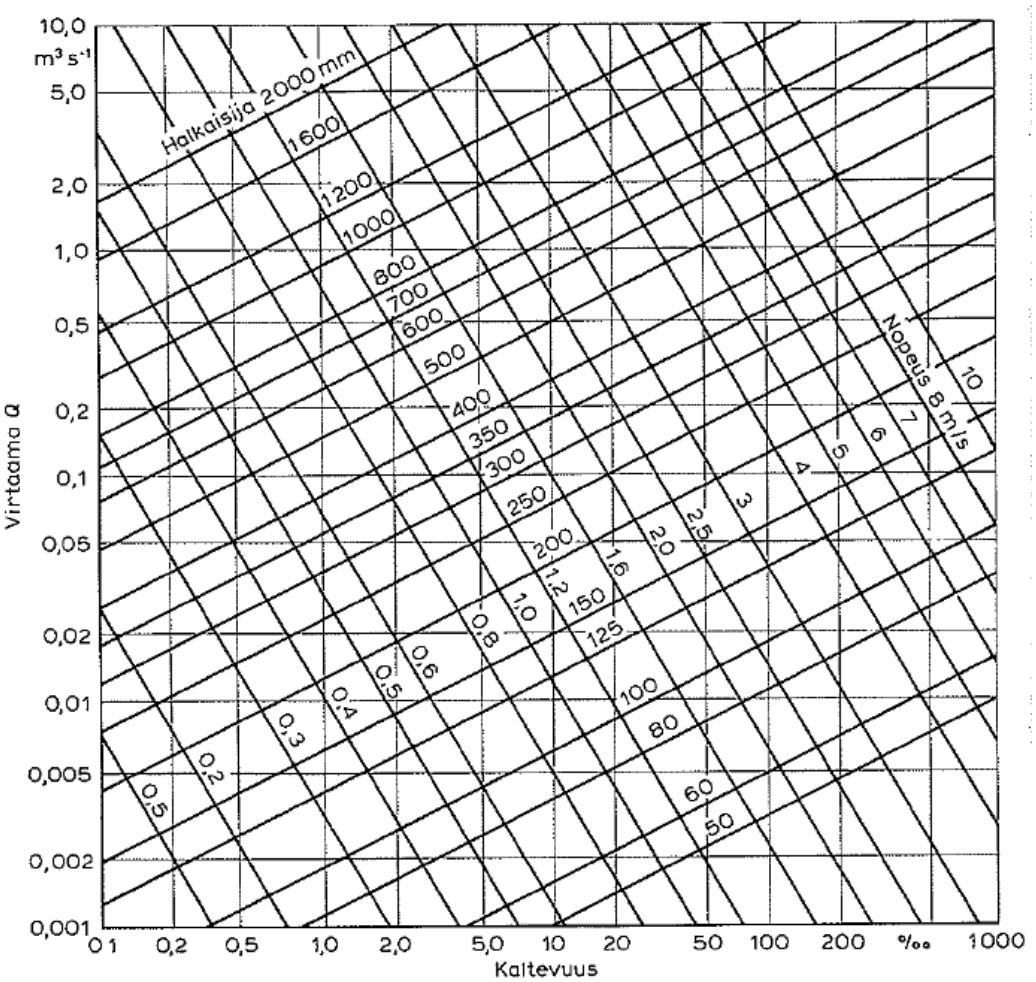
Tämän havaintoputki on Kylmälahden laitoksen pihassa.

Liite 14. Colebrookin nomogrammi kun k =0,2



Valitaan virtaama ja putken sisähalkaisija ja luetaan vastaava paineviivan kaltevuus. RIL 234-2-2010, 146

Liite 15. Colebrookin nomogrammin kun k= 0,4



Kaltevuus tarkoittaa paineviivan kaltevuutta. RIL 121 1982, 142

Liite 16. Kuvia I-altaasta

Tässä vaiheessa I-altaan imeytys on ollut keskeytettynä noin 4 viikkoa. Allas ei ole vieläkään tyhjä. Sade ei auta asiaa.

I-allas lähes kuivana toukokuun lopuilla. Kuivumiseen meni lähes kaksi kuukautta.

Tukkeutuneen I-altaan pohja toukokuussa. Liejukerros halkeilee auringonpaisteessa, mutta suodatinhiekkakerroksesta ei ole nähtävissä.

Liite 17. Kuva II-altaasta

Imeytysallas II etelästä kuvattuna. Molemmilla puolilla allasta kulkevat harjun jyrkät rinteet. Tieltä luikertelee musta sadetusputki vasemmalla näkyvään rinteeseen, jossa näkyy sininen sulkuventtiili. Kaksi kaivoa altaan rinteessä ovat jakokaivo II-ja III altaisiin sekä II-altaan vedenpinnan mittakaivo. 31.3.2015.

Liite 18. Kuva III-altaasta

III-altaan imeytystä pienennettiin liikaa, jolloin se alkoi tyhjentyä. Altaaseen asettuneet telkät eivät tätä arvostaneet. Takana näkyy etäisesti II-allas.

Liite 19. Kuva havaintoputkesta

Liite 20. Kuva reitistä uudelle imeytysalueelle

Kuva Rengontieltä imeytysalueelle päin. Hevospolku olisi sopiva väylä josta putken voisi viedä ilman puiden kaatamisia

Liite 21. Kuvia suunnitellulta imeytysalueelta.

Kuva on otettu Rengontieltä loivaa mäkeä alas suppaa kohti. Oikealla ja vasemmalla on tiheämpää metsää ja harjunrinteet, joiden väliin imeytysalue tulisi.

Uuden imeytysalueen suunniteltu paikka rinteiden välissä. Kuvan oikeassa reunassa kulkee luonnonsuojelualueen raja. Nuolen suunnasta huoltotie Rengontieltä.