

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

JUHA RAUTIO
**MIKKELIN PURSIALAN POHJAVESIALUEEN
HAITTA-AINEET**

Professori, TkT Mika Sillanpää
Laboratorioinsinööri TkL Simo Hammo

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energia
Ympäristötekniikan tiedekunta
Juha Rautio

Mikkelin Pursialan pohjavesialueen haitta-aineet
Diplomityö, 2011
113 sivua, 17 kuvaa, 6 taulukkoa ja 12 liitettä

Tarkastajat: Professori, Tekniikan tohtori Mika Sillanpää
 Laboratorioinsinööri, Tekniikan lisensiaatti Simo Hammo

Hakusanat: Haitta-aineet, pohjavesi, kloorifenoli, pilaantuminen, kunnostus

Keywords: Contaminants, ground water, chlorophenol, contamination, remediation

Mikkelin talousvedestä kahden kolmasosan tullessa Pursialan pohjavesialueelta on alueen suojeleminen tärkeää. Pohjaveden laatua uhkaavat etenkin alueella sattuneet pohjavedenpilaantumistapaukset. Merkittävimmät pohjaveden pilaantumistapaukset ovat VAPO Oy:n sahan aiheuttama pohjaveden pilaantuminen kloorifenoleilla (CP) ja VR:n ratapölkkykylästäjän aiheuttama pohjaveden pilaantuminen kreosoottiöljyllä sekä Rinnekadun Nesteen aiheuttama pohjaveden pilaantuminen MTBE:llä. Alueella on tehty tutkimuksia ja kunnostuksia pilaantumiin liittyen, mutta näiden tuloksia ei ole aikaisemmin koottu yhteen. Tämän työn tavoitteena oli koota tulokset samaan aineistoon. Työssä keskityttiin kloorifenolien leviämisen tarkasteluun sen Pursialan pohjavedenottamolle muodostaman suurimman uhan vuoksi. Kallioperätietojen, maanpintatietojen ja näytetietojen pohjalta laadittiin myös pienoismalli CP-pilaantumisen leviämisen kokonaiskuvan hahmottamiseksi. Työn tavoitteena oli lisäksi tehdä riskitarkastelua CP-pilaantumiseen liittyen ja etsiä keinoja hallita havaittuja riskejä. Riskinhallintaan liittyen työssä tutkittiin kloorifenoleilla pilaantuneen alueen maaperä- ja kalliolitetoja sekä pohjaveden laatu tietoja.

Pursialan pohjavedessä on runsaasti rautaa ja mangaania sekä aggressiivista hiilihappoa. Pohjaveden pH on alueella noin 6,5, lämpötila noin 7,5 °C ja happipitoisuus noin 0,7 mg/l. Pursialan kaupungin alueen kallioperässä on havaittavissa VAPO Oy:n sahalla vedenottamolle etenevä kalliopainanne, jota pitkin CP etenee. Alueen kallioperä on kiillelegneisiä, jossa on pohjois-etelä-suuntaista rakoilua. Maaperätuloksien perusteella on havaittavissa vettä hyvin johtavien maakerrosten jatkuminen koko vedenottamon ja sahan välisen matkan, mikä tarkoittaa, että CP-pitoisella pohjavedellä voi olla aiemmin oletettua nopeampikin yhteys sahalla vedenottamolle.

Suurin CP-pitoisuus noin 100 000 µg/l on mitattu KY-5-altaan kohdalle asennetun M14-pohjavesiputken pohjasta. Talousvesiasetuksen raja-arvo CP:lle on 10 µg/l. Sahan ja vedenottamon puolivälissä on havaittu yli 10 000 µg/l meneviä CP-pitoisuuksia. Suurin vedenottamon kaivoista (kaivo 10) mitattu pitoisuus on 149 µg/l. Jakotukilta raakavedestä otetuissa näytteissä tai talousvedessä ei ole kuitenkaan havaittu talousvesiasetuksen ylittäviä CP-pitoisuuksia. Pienoismallin perusteella CP sijaitsee sahan alueella lähellä kalliopintaa ja hajaantuu koko pohjavesipatjaan vedenottamolle päin mentäessä. CP-mittaustuloksissa on havaittavissa pulssimaisuutta. Tämä johtuu todennäköisesti Saimaan pinnan vaihtelun seurauksena muuttuvasta rantaimetytyneen pohjaveden määrästä. Saimaan pinnan nousu näyttäisi tuloksien perusteella nostavan CP-pitoisuuksia saha-alueella ja laskevan lähellä vedenottamoita. Pohjaveden pintatietojen perusteella tehdyn tarkastelun mukaan pohjavesi voi kulkeutua sahalla vedenottamolle parhaimmillaan noin vuodessa. Työssä arvioitiin KY-5-liuksen vuosittaiseksi käyttömääräksi noin 648–970 m³. Allassakkaa arvioitiin syntyneen yhteensä noin 10–31 m³. Pohjaveden arvioitiin joutuneen toiminnan aikana yhteensä noin 3 000–4 000 kg CP:tä. Kloorifenolit esiintyvät pohjavedessä lähes täysin kloorifenolaatteina. Kloorifenolien hajoaminen ja muuntuminen pohjavedessä on epätodennäköistä.

Käsitteellisen mallin mukaan kloorifenolipilaantumisen suurimmat riskit aiheutuvat kloorifenolien mahdollisuudesta pilata Pursialan vedenottamon talousvesi. Tällä hetkellä riskejä hallitaan kloorifenolien leviämisen tarkkailulla, sahan ja vedenottamon puolivälissä sijaitsevalla koepumppauksella sekä varautumalla aktiivihiihijauheen syöttöön talousvesiprosessiin. Koepumppauksen avulla on saatu ylös tällä hetkellä noin 69 kg kloorifenoleita. Tutkimuksen perusteella suositeltavimmat riskinhallintatoimet tulevaisuudessa ovat sahalla sijaitseva kunnostuspumppaus, sahan ja vedenottamon väliin sijoitettava suojapumppaus- ja vesiverhoyhdistelmä sekä sahan rannan kautta tapahtuvan rantaimetytyksen estäminen.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT Energia
Faculty of Environmental Technology
Juha Rautio

Detrimental substances in the Pursiala groundwater area, Mikkeli
Thesis for the degree of M.Sc.(Tech.), 2011
113 pages, 17 figures, 6 tables and 12 appendices

Examiners: Professor Mika Sillanpää, D.Sc.(Tech.)
 Simo Hammo, Lic.Sc.(Tech.), laboratory engineer

Keywords: Contaminants, ground water, chlorophenol, contamination, remediation

Protection of the Pursiala groundwater area is of the utmost importance, given that two thirds of the domestic water supply for the city of Mikkeli originates from it. The principal threats to water quality arise from occasional instances of pollution, the most serious of which to date have been chlorophenol inputs from a sawmill owned by VAPO Oy, creosote oil from a railway sleeper impregnation plant serving the Finnish State Railways (VR) and MTBE pollution from the Neste service station on an adjacent street, Rinnekatu. Investigations have been conducted into these sources of contamination and remedial action has been taken, but no effort has been made previously to summarize the results of these measures. The aim of the present work is thus to gather all the relevant information together into a single body of data, with the main emphasis placed on the spread of chlorophenols, as these constitute the major threat with regard to groundwater quality. The resulting data on the bedrock of the area, its surface topography and the samples taken have also enabled a model to be constructed to present an overall picture of the spread of CP pollution in the area. A further aim of this work was to examine the future risks connected with CP pollution and to search for means of controlling these risks in the light of existing data on the surficial deposits and bedrock of the area and the quality of the groundwater.

The groundwater of Pursiala is rich in iron, manganese and corrosive carbonic acid and has a pH of around 6.5, a temperature of about 7.5°C and an oxygen content of approx. 0.7 mg/l. The bedrock of the Pursiala area is mica gneiss with N-S-oriented fracturing and a depression that leads from the VAPO Oy sawmill site towards the water pumping station, along which the CP compounds spread. Studies of the surficial deposits have shown that the whole area between the sawmill and the pumping station consists of highly permeable strata, implying that the passage of CP-polluted groundwater from the sawmill area to the pumping station may have taken place more rapidly than has previously been estimated.

The highest CP concentration, around 100 000 µg/l, has been recorded at the base of groundwater tube M14, installed in the KY-5 impregnation basin, and there have been numerous measurements of over 10 000 µg/l in the area half-way between the sawmill and the pumping station. The legal limit for CP in domestic water supplies in Finland is 10 µg/l. Although the highest concentration measured in the largest of the pumping wells, well 10, is 149 µg/l, no samples taken from the raw water distribution manifold or from the domestic water supply itself have exceeded this legal limit. The model constructed here indicates that CP is to be found close to the bedrock surface in the former sawmill area and disperses throughout the aquifer as it comes closer to the pumping station. There is also a certain pulse-like effect to be detected in the CP measurements, however, probably on account of changes in groundwater absorption on the shores of Lake Saimaa brought about by variations in water level in that lake, i.e. a rise in the water level in Lake Saimaa would appear to cause an increase in CP concentrations at the site of the sawmill and a decline in concentrations at the pumping station. Groundwater surface data suggest that it takes about two years at best for the groundwater to travel from the sawmill area to the pumping station. It is estimated here that VAPO Oy used annual a total of between 648 and 970 m³ of the solute of the water and wood preservative KY-5, causing precipitation of some 10–31 m³ of deposit containing this compound. At the same time some 3 000–4 000 kg of CP is estimated to have entered the groundwater, almost entirely in the form of chlorophenolates. It is improbable that these chlorophenols have undergone any decomposition or alteration while in the groundwater.

The conceptual model suggests that the greatest risks attached to the presence of chlorophenols are connected with their potential for polluting the domestic water supplied by the Pursiala pumping station. At present the risks are being controlled by monitoring the diffusion of chlorophenols, carrying out pumping experiments in the area midway between the sawmill site and the pumping station and maintaining a readiness to introduce powdered activated carbon into the domestic water purification process if required. The pumping experiments have enabled about 69 kg of chlorophenols to be retrieved to date. The present research indicates that the emphasis in risk management in the future should be on remedial pumping at the sawmill site, a combination of protective pumping and a water curtain in the area between the sawmill site and the pumping station and the prevention of absorption on the shore of the sawmill site.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Ramboll Finland Oy:n Mikkelin toimistossa ja sen tilaajana on ollut Mikkelin Vesilaitos. Työ on rahoitettu Mikkelin Vesilaitoksen ja Mikkelin kaupungin toimesta. Työn tarkastajina ovat toimineet Lappeenrannan Teknillisen Yliopiston professori Mika Sillanpää ja laboratorioinsinööri Simo Hammo. Ohjaajana on toiminut Ramboll Finland Oy:n yksikön päällikkö Tuomas Lukkari. Ohjausta työn tekoon olen saanut myös Mikkelin kaupungin kehitysinsinööri Hannu Rautiolta, Mikkelin vesilaitoksen johtaja Reijo Turkilta ja Etelä-Savon ELY-keskuksen ympäristöinsinööri Esa Rouviselta. Heille kaikille suuri kiitos hyvistä neuvoista ja kannustavasta palautteesta! Suuri kiitos myös Ramboll Finland Oy:n työporukalle tuesta ja hyvästä seurasta, sekä erityiskiitos Iiro Kiukaalle monista antoisista keskusteluhetkistä.

Erityisesti haluan kiittää vanhempiani, veljiäni, siskoani ja hänen miestään, sukulaisiani sekä ystäviäni tuesta ja kannustuksesta koko opiskelu-urani aikana. Ilman teitä en olisi tässä.

Kunnia valmistumisestani Jumalalle!

Alea iacta est - Arpa on heitetty. G. Julius Caesar

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	8
1 JOHDANTO	9
2 POHJAVESI	12
2.1 Pohjaveden hydrologinen kierto	13
2.2 Maaperän vesivyöhykkeet	13
2.3 Pohjavesikäsitteitä	15
2.4 Pohjaveden virtausnopeudet	16
2.5 Pohjaveden ominaisuudet	20
2.6 Vedenoton vaikutukset	21
2.7 Kallioperän ominaisuudet	22
3 TAUSTAA	24
3.1 Pursialan pohjavesialue	24
3.2 Pursialan pohjavesialueen huomioiminen kaavoituksessa	29
3.3 Pursialan pohjavesialueelle sijoittuva toiminta ennen ja nyt	30
3.3.1 Pursialan vedenottamon historia	30
3.3.2 VAPO OY:n sahan historia	35
3.3.3 VR:n kyllästämön historia	38
3.4 Alueella olevat haitta-aineet	40
3.4.1 Kloorifenolit	41
3.4.2 PAH-yhdisteet	46
3.5 Saimaan pinnankorkeuden vaihtelu	47
3.6 Pursialan pohjavesialueella tehdyt tutkimukset	49
3.7 Alueella tehdyt kunnostukset	50
3.7.1 Mölnlycke:nin nurkka	50
3.7.2 Setrimäki: VR:n kyllästämö	51
3.7.3 Saimaankadun kaatopaikka	52

3.7.4 Rinnekadun Neste.....	53
4 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA	54
4.1 Pienoismallin rakentaminen.....	54
4.2 Pursialan maaperä.....	58
4.3 Pursialan kallioperä	60
4.4 Pursialan pohjavesialueen pohjavesi	61
4.5 Kloorifenolit	61
4.5.1 Kloorifenolien levinneisyys.....	62
4.5.2 Kloorifenolimäärät.....	65
4.5.3 Kloorifenolienolomuoto	69
4.5.4 Kloorifenolien hajoaminen	69
4.5.5 Kloorifenolipitoisuuksien pulssimaisuus.....	71
4.5.6 Luonnollisia hidasteita kloorifenolien etenemiselle	75
4.5.7 Kloorifenolipitoisen pohjaveden virtausnopeudet.....	76
4.5.8 Yhtäläisyydet ja eroavaisuudet Kärkölän kloorifenolipilaantumalla kanssa.....	76
4.5.9 Muita huomioita.....	79
4.5.10 Kloorifenolituloksiin liittyvät epävarmuustekijät ja niiden merkitys.	80
4.6 PAH-yhdisteet.....	82
4.7 Muut haitta-aineet	85
5 RISKITARKASTELU JA RISKIENHALLINTA	86
5.1 Käsitteellinen malli	87
5.2 Riskienhallinta nyt.....	90
5.2.1 Tarkkailu.....	91
5.2.2 Aktiivijauheen annostelu	91
5.2.3 G-levyn ja puun nurkan koepumppaus	92
5.3 Riskienhallinta tulevaisuudessa	94

5.3.1 Vaihtoehto 0, ei toimenpiteitä.....	95
5.3.2 Vaihtoehto 1, monitoroitu luontainen puhdistuminen.....	95
5.3.3 Vaihtoehto 2, puhdistuspumppaus ja suoja-pumppaus.....	96
5.3.4 Vaihtoehto 3, puhdistuspumppaus ja suoja-pumppaus sekä vesiverho .	97
5.3.5 Vaihtoehto 4, eristäminen, tehostettu biologinen puhdistus, kemikaalien syöttö	98
5.3.6 Vaihtoehto 5. vedenoton muutokset	99
5.3.7 Vaihtoehto 6. rantaimetyymisen estäminen.....	99
5.3.8 Suositus riskienhallintaan	100
5.3.9 Vedenottamon menettäminen	101
6 YHTEENVETO.....	103
LÄHTEET	107
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

h	Korkeus	[m]
I	Hydraulinen gradientti	
I-TEQ	toksisuusekvivalenttipitoisuus	[pg/g tai µg/g]
K	Hydraulinen johtavuus	[m/s]
l	Pituus	[m]
n	Huokoisuus	
n _e	Tehollinen huokoisuus	
Q	Virtaama	[m ³ /s]
V	Nopeus	[m/s]
V _p	Huokostila	[m ³]
V _b	Kokonaistilavuus	[m ³]
BTEX	Bentseeni-, tolueni-, etyylibentseeni- ja ksyleeniyhdisteet	
CP	Kloorifenoli	
DCP	Dikloorifenoli	
KY-5	Kloorifenolipitoinen sinistymisenestoaine	
MTBE	Metyylitertiääributyylieetteri	
PAH	Polyaromaattinen hiilivety	
PCDD	Polyklooridibentso-p-dioksiineja	
PCDD/F	Dioksiineja ja furaaneja	
PCDF	Polyklooridibentsofuraaneja	
PCDE	Polyklooridifenyylieettereitä	
PCP	Polykloorifenoli	
PCPP	Polykloorattuja fenoksifenoleita	
TCP	Trikloorifenoli	
TeCP	Tetrakloorifenoli	
ESE	Etelä-Savon Energia	
Hertta	Ympäristötiedon hallintajärjestelmä	
VAPO Oy	Valtion polttoainokeskus	
VR	Valtion rautatie	

1 JOHDANTO

Mikkelin Pursialan pohjavesialue on Mikkelin tärkein raakavesilähde. Pursialan vedenottamo kattaa kaksi kolmasosaa Mikkelin vedentarpeesta. Pohjavesialueen säilyminen on siis Mikkelille tärkeää. Pursialan pohjavedenottamon säilyminen ei ole itsestään selvyys, sillä sitä uhkaavat teollisesta toiminnasta aiheutuneet pohjaveden pilaantumistapaukset. Pahimmassa tapauksessa Pursialan vedenottamo voidaan menettää kokonaan. Vedenottamon sulkeminen raakaveden pilaantumisen takia ei ole harvinaista Suomessa. Vuonna 1987 Kärkölän kunnan pohjavedenottamo suljettiin kloorifenolipilaantumisen takia ja vuonna 1999 Sulkavan kunta joutui sulkemaan Kukkapään vedenottamon Rauhaniemen pohjavesialueella niin ikään kloorifenolipilaantumisen takia (Ylönen, 2005, 48–49).

Pilaantumiset Pursialan pohjavesialueella eivät ole tapahtuneet tahallisesti. Syitä pilaantumisiin on monia. Ihminen on aina pyrkinyt hallitsemaan ja kehittämään omaa elinympäristöään, koska kehityksen avulla on saatu aikaan parempi ympäristö elää. On opittu hyödyntämään eri alkuaineita ja syntetisoimaan uusia kemikaaleja. Kaikilla näillä on ollut tarkoituksena ratkaista jokin ongelma. Esimerkiksi Mikkelin VR:n kyllästämöllä käytetyllä kreosoottijäljellä on pyritty estämään ulkorakenteisiin käytettävän puun lahoaminen ja Mikkelin VAPO Oy:n sahalla käytetyllä KY-5:llä puun sinistyminen. Aineet ovat saattaneet olla käyttötarkoituksensa loistavasti sopivia ja poistaa ongelman, kunnes itse aineista on muodostunut ongelma. On havaittu esimerkiksi aineiden käytöstä johtuvia luonnon vaurioitumisia tai ihmisillä ja eläimillä ilmeneviä sairauksia. Näin käyttötarkoituksensa sopivista aineista on tullut ympäristölle vahingollisia haitta-aineita. Myös kiristyneet normit ja lait ovat tuoneet esille uusia tarkkailtavia aineita ja paljastaneet merkittäviä pilaantumisia.

Ennen havahtumista aineiden haittavaikutuksiin niitä on kuitenkin saatettu käyttää useita vuosikymmeniä. Laki on kehittynyt aineiden käytön rinnalla, eikä käyttöä ole osattu valvoa ja rajoittaa ennen ongelmien ilmenemistä. Tiedon ja rajoitusten puutteen lisäksi riskejä on usein vähätelty ja yleinen asennoituminen on ollut huoletona. Haitta-aineiden käytön suhteen on toimittu silloisten tapojen mukaan.

Kemikaaleja on poistettu kuljettamalla niitä jätetäyttöihin ja jopa laskemalla niitä suoraan ympäristöön. Työtapojen seurauksia ei ole osattu arvioida pitkällä tähtäimellä ja ympäristönsuojelu on ollut vielä lapsenkengissä.

Tällä hetkellä maailmalla on alettu vaalimaan vihreitä arvoja sekä puhdasta ja viihtyisää ympäristöä. Kaikki teollinen toiminta siirretään entistä mieluummin jonnekin syrjempään. Tähän ajatusmaailmaan verratessa nykyihmisestä tuntuukin kummalliselta, miten teollisuuden pilaamia maa-alueita voi olla aivan Mikkelin kaupungin keskustassa ja miten pilaavaa teollisuutta on päässyt Pursialan pohjavesialueelle. Pilaantuneiden maa-alueiden sijaitsemisen kaupungin keskustan tuntumassa selittää se, että teollisuus on kehittynyt hyvien kulkuyhteyksien ympärille, vesistöjen yhteyteen, ja kaupunki on rakentunut teollisuuden ympärille. Toisaalta taas kaupunki on kasvaessaan laajentunut myös niille alueille, jotka ennen sijaitsivat kaupungin laidoilla. Sora- ja hiekkaharjujen maaperä puolestaan on ollut helppo ja edullinen maaperä rakentaa. Pursialan pohjavesialueella on siis ollut teollisuutta jo ennen pohjavesialueen löytymistä. Kaupungin kasvaessa veden tarve on lisääntynyt. Samalla yksityisten kaivojen käytöstä on täytyntä siirtyä vesilaitoksiin ja suurien pohjavesilähteiden käyttöön, mikä on puolestaan edellyttänyt kaupungin pohjavesivarojen kartoitusta. Koska Pursialan kaupunginosan alueella on ollut pitkä perinne teollisuusalueena, alueen käyttöä ei ole lähdetty muuttamaan muuksi, vaikka toiminnan riskit onkin tajuttu. Myös elinkeinopoliittikka on ajanut monesti ohi pohjaveden suojelukysymyksissä.

Pohjavesipilaantumisien kunnostamisen haasteet ovat moninaiset. Täydellisiä tietoja maaperän ja kallion rakenteesta, pohjaveden liikkeistä ja virtausnopeuksista sekä haitta-aineiden ominaisuuksista ja liikkuvuudesta on mahdotonta saada, ja tutkimuksissa täytyy tyytyä vain suuntaa antaviin tietoihin. Lisäksi haitta-aineiden liike maaperässä voi olla niin pienipiirteistä, ettei sen kulkureittejä saada kovasta yrittämisestä ja kalliista tutkimuksista huolimatta täysin kiinni. Toisaalta taas monien kunnostusmenetelmien toimivuus Suomen olosuhteissa on epävarmaa ja pilaantumien sijainnit käytössä olevien teiden ja rakennusten alla vaikeuttavat kunnostamista. Pilaajaa ei saada helposti kunnostusvastuuseen, koska lait ovat olleet erilaiset eri aikoina, ja maan omistajuus on voinut vaihtua pilaantumisen jälkeen.

Todisteet pilaajan toiminnasta voivat olla myös riittämättömät. Lisäksi pilaajat voivat yrittää välttää kunnostamisvastuutaan. Pohjaveden kunnostaminen on hidasta, eikä sitä ripeistäkään toimista huolimatta voida tehdä aina riittävän ajoissa. Sikäli on harmillista, jos rahoituksesta taistellessa menetetään arvokasta pohjaveden kunnostusaikaa.

Tämän työn tavoitteena on koota yhteenveto Pursialan vedenottamoa uhkaavista haitta-aineista. Haitta-aineista keskitytään erityisesti kloorifenoleihin niiden muodostaman suurimman uhan vuoksi. PAH-yhdisteiden etenemistä vedenottamolle esitellään lyhyesti ja muista haitta-aineista tehdään pintapuolinen tarkastelu. Työssä kuvataan kloorifenolien etenemistä päästölähteestä vedenottamolle. Tarkoituksena on myös tarkastella kloorifenolien vedenotolle aiheuttamia riskejä ja pohtia havaittujen riskien hallintakeinoja.

2 POHJAVESI

"Pohjavesi on maapallon tärkein luonnonvara ja eräs maamme tärkeimmistä luonnonvaroista" (Mälkki, 1999, 9). Se on syntynyt vähitellen sade- ja sulamisvesien imeytyessä maahan ja täyttäessä maa-aineksien rakeiden väliset huokokset ja kalli-on raot. Kallioperän muodoista riippuen eri puolille maapalloa on muodostunut joko pieniä tai suuria pohjavesiesiintymiä. Sitä osaa pohjavesiesiintymästä, millä on vaikutusta pohjaveteen (laatuun tai muodostumiseen) kutsutaan pohjavesialueeksi ja sitä osaa, missä pohjavesi muodostuu, kutsutaan muodostumisalueeksi. Pohjaveden muodostumisalue on se pohjavesialueen osa, jossa veden läpäisevyys maanpinnan ja pohjavedenpinnan välillä on vähintään hienohiekan läpäisevyyttä vastaava. Muodostumisalueen käsitteeseen sisältyvät myös pohjavesialueeseen välittömästi liittyvät kallio- ja moreenialueet, jotka lisäävät olennaisesti alueen pohjaveden määrää. (Petäjä-Ronkainen & al, 2010, 89–92.)

Pohjavesialueet on luokiteltu kolmeen luokkaan niiden vedenhankintaan soveltuvuuden mukaan, eli täyttävätkö ne talousvesikäyttöön vaadittavat laadulliset ja määrälliset vaatimukset. I-luokkaan kuuluvat vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet (näiltä otetaan pohjavettä), II-luokkaan kuuluvat vedenhankintaan soveltuvat pohjavesialueet ja III-luokkaan kuuluvat muut pohjavesialueet. Tulosten tarkentuessa pohjavesiluokitus voi muuttua suuntaan tai toiseen. (Mälkki, 1999, 183.)

Uutta pohjavettä täytyy syntyä yhtä paljon kuin pohjavettä pumpataan alueelta pois, jotta pohjavesialue säilyisi ennallaan. Pohjavesialue voidaan kuivattaa liialla vedenotolla. Pohjaveden riittävyyden takaamiseksi ja antoisuuden parantamiseksi pohjaveden syntyä onkin monin paikoin tehostettu tekopohjaveden muodostamisella. Tekopohjavettä voidaan muodostaa sadetusimetyksellä, allasimeytyksellä tai rantaimetyksellä. (Mälkki, 1999, 163.) Tekopohjaveden muodostuksen avulla voidaan pohjavesialueen tai sen osan antoisuus viisin- tai jopa yli kymmenkertaista (Mälkki, 1999, 165).

2.1 Pohjaveden hydrologinen kierto

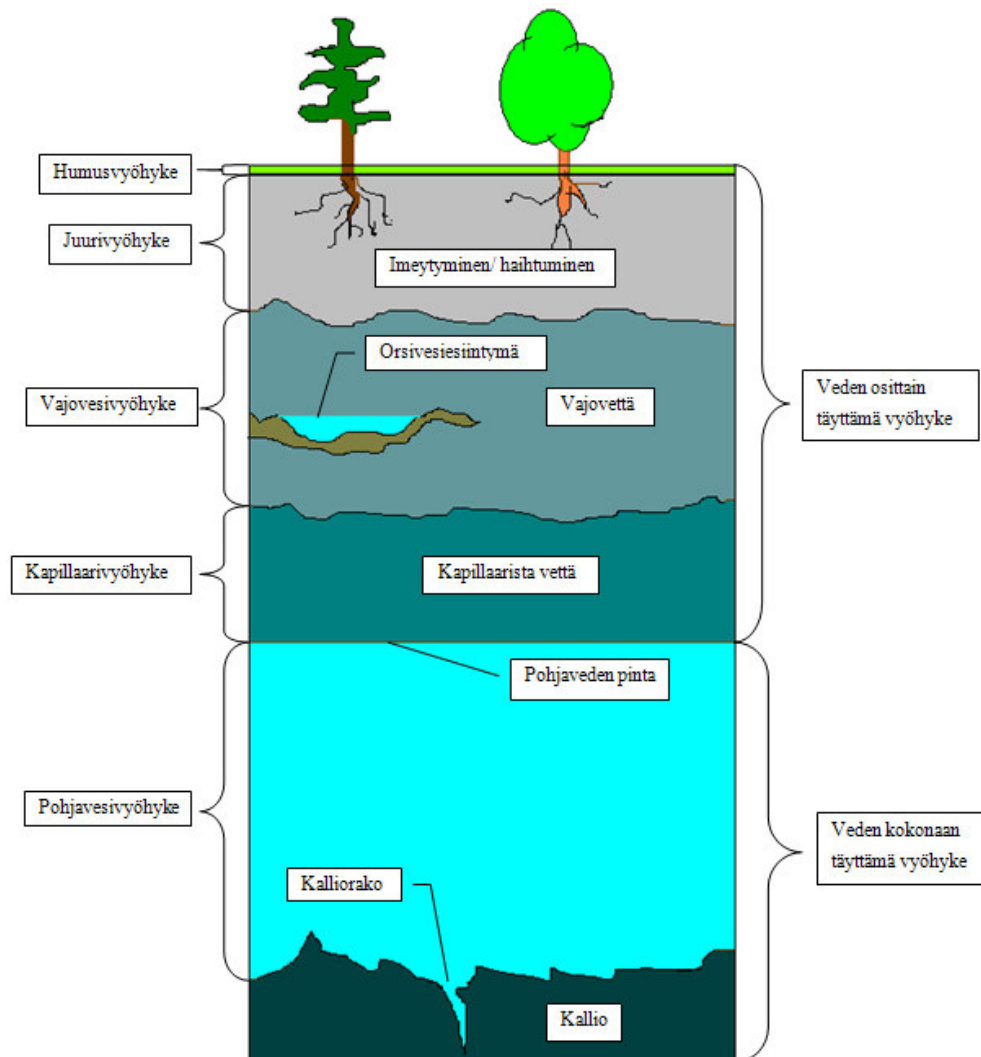
Pohjaveden hydrologinen kierto on osa veden kiertokulkua. Sade- ja sulamisvesien imeytyessä maaperään imeytynyt vajovesi ajaa alla olevaa vesimassaa liikkeelle. Imeytyvän veden liikkeelle paneva vaikutus voi yltää vesikerroksen syviinkin osiin, vaikkakin on todennäköisempää, että syvemmälle mentäessä veden osallistuminen hydrologiseen kiertoon on vähäistä tai puuttuu kokonaan. Liikkeelle lähtenyt vesi hakeutuu kohti purkautumispaikkoja. Luonnontilassa olevassa pohjavesialueessa poistuminen tapahtuu haihtumalla, tihkumalla sekä virtoina lähteistä. (Mälkki, 1999, 30.)

Painovoiman, pintajännityksen sekä sähköstaattisten voimien erillis- ja yhteisvaikutuksesta maa- ja kallioperässä oleva vesi esiintyy vapaana eli gravitaatiovetenä, kapillaarivetenä sekä adsorptio- eli vaippavetenä. Vapaa vesi liikkuu maahuokosissa painovoiman vaikutuksesta. Kapillaarivesi taas on pintajännityksen vaikutuksesta maahuokosiin kiinnittynyttä vettä. Adsorptiovesi on maahiukkasten ja vesimolekyylien välisten sähköstaattisten kiinnitysvuimien maarakeiden pinoille kalvoiksi sitomaa vettä. (Rantamäki et al, 1979, 49–50.)

2.2 Maaperän vesivyöhykkeet

Maaperän vesivyöhykkeet jakaantuvat humusvyöhykkeeseen, juurivyöhykkeeseen, vajovesivyöhykkeeseen, kapillaarivyöhykkeeseen sekä itse pohjavesivyöhykkeeseen (ks. kuva 1). Humusvyöhyke on kuolleita lehtiä, sammalta ja pintakasvis-toa sisältävä vyöhyke, joka puhdistaa tehokkaasti sade- ja sulamisvesiä. Humuskerroksella on maakerroksista suurin sade- ja valumavesiä puhdistava vaikutus (Rautio, 2011). Juurivyöhyke on kasvuston pääjuurisyvyyttä vastaava kerros, jossa tapahtuu veden imeytymistä sateiden ja tulvien aikana ja poistumista haihdunnan tai kasvuston kautta. Vyöhykkeen vesi voi olla adsorptio-, kapillaari- tai vapaata vettä. Vajovesivyöhyke sisältää alaspäin liikkuvaa vapaata vettä eli vajovettä ja sen paksuus vaihtelee nolasta kymmeneen metriin. Vajovesivyöhykkeessä voi olla myös liikkumatonta kapillaari- tai vaippavettä. Kapillaarivyöhykkeeseen imeytyy vettä kapillaarisesti alapuolisesta pohjavesikerroksesta. Sen paksuus

vaihtelee maalajin huokoskoostumuksen mukaan. Pohjavesivyöhyke on kokonaan veden kyllästämää, eli maahuokokset ja kallioraot ovat täyttyneet vedellä. Pohjavesivyöhyke päättyy vettä läpäisemättömään maa- tai kalliokerrokseen. (Rantamäki et al, 1979, 51.)



Kuva 1. Maaperän vesivyöhykkeet.

Pohjaveden pinta voi olla vapaapintainen, paineellinen tai puolisalpaava, riippuen siitä onko sillä yhteys ilmakehään. Kun pohjavedellä on yhteys ilmakehään ilmavirtauksen sallivan väliaineen, kuten hiekan kautta, pohjaveden pinta on vapaapintainen. Kun jokin tiivis kerrostuma, kuten savi, estää vedenpintaa nousemasta vesimassan, ilmanpaineen ja geologisen ympäristön säätelemälle painetasolle vesi on paineellista. Puolisalpaava pohjavesi on vapaapintaisen ja salpautuneen pohjaveden välimuoto. (Mälkki, 1999, 33–34.) Maaperässä saattaa esiintyä myös ns.

orsivesiä, jotka syntyvät pohjavesivyöhykkeen yläpuolelle olevaan tiiviin maakerroksen aikaansaamaan maljaan (Rantamäki et al, 1979, 51). Lisäksi on mahdollista, että pohjavesikerroksen yläpuolella on maakerroksia, joilla on heikko hydraulinen johtavuus. Näiden maakerrosten läpivirtauskapasiteetit voivat hetkellisesti ylittyä, jolloin voi esiintyä hetkellisiä orsivesiesiintymiä. (Mälkki, 1999, 32–33.)

2.3 Pohjavesikäsitteitä

Pohjavesialueiden ymmärtämisen kannalta on tärkeää ymmärtää joitakin asiaan liittyviä käsitteitä, kuten akviferi, viipymä, imeyntäkapasiteetti, huokostila ja anti-kliininen sekä synkyliinen pohjaveden virtauskuva.

Pohjavesiympäristöstä käytetään nimitystä akviferi, jolla tarkoitetaan muodostumaa tai sen osaa, joka on veden kyllästämä ja jolla on tyydyttävä tai hyvä hydraulinen johtavuus. Käytännössä alaraja on hienohkon hiekan hydraulinen johtavuus 10^{-4} – 10^{-5} m/s. (Mälkki, 1999, 37.)

Veden todellista virtausaikaa tietyllä välillä kutsutaan viipymäksi. Viipymä on hydrodynaamisen dispersion vuoksi sitä epätasaisempaa, mitä lyhyempi arvioitava matka on ja mitä heterogeenisempää väliaine on. Tästä huolimatta se on tärkeä määre pohjavesien suojelun kannalta. (Mälkki, 1999, 25–28.)

Maahan sataneesta vedestä osa haihtuu takaisin ilmaan, osa valuu maanpintaa tai pintakerrosta myöten suoraan vesistöihin ja osa imeytyy maaperään pohjavedeksi. Tätä maanpinnan veden vastaanottokykyä kutsutaan imeyntäkapasiteetiksi. Hiekka-soramuodostuma-alueilla veden vastaanottokyky on hyvä, ja pohjavedeksi suotautuvan veden määrä suuri. (Mälkki, 1999, 22.)

Veden maanalaisen varastoitumisen edellytyksenä on, että maaperässä on avointa tilaa eli huokoisuutta, johon vesi mahtuu menemään. Huokoisuutta ilmaistaan massan huokostilan ja kokonaistilavuuden suhteella

$$n = V_p/V_b, \quad (1)$$

missä n on huokoisuus, V_p on huokostila [m^3], ja V_b kokonaistilavuus [m^3]. (Mälkki, 1999, 23.)

Huokostilassa oleva vesi on vapaata tai pidättynyttä sen mukaan, kuinka se pääsee liikkumaan. Kun huokosten läpimitta on riittävän suuri, on huokosissa oleva vesi pääosin vapaata. Hyvin lajittunut karkea hiekka on hyvä esimerkkitapaus. Se vesimäärä, mikä pystyy liikkumaan pois huokostilasta edustaa ominaisantoisuutta ja se vesimäärä, mikä jää huokostilaan edustaa ominaispidättymistä. Suomen parhaiten vettä johtavien maaperämuodostumien hiekan ja soran ominaisantoisuudet ovat suuria ja miltei kaikki niiden sisältämä vesi voi vapautua painovoiman vaikutuksesta. (Mälkki, 1999, 24–25.)

Olosuhteita, joissa pohjaveden pinta on ympäristöönsä korkeammalla, kutsutaan antikliiniseksi eli vettä luovuttaviksi ja olosuhteita, joissa pohjaveden pinta kaa-reutuu alaspäin synkliiniseksi eli vettä kokoaviksi. Virtauskuva voi vaihdella anti-kliinisen ja synkliinisen välillä vuodenaikojen mukaan tai muuttua vedenoton seurauksena. (Mälkki, 1999, 44, 47.)

2.4 Pohjaveden virtausnopeudet

Pohjaveden virtausnopeus voidaan ratkaista Darcyn virtauslaista johtamalla. Darcyn virtauslain mukaan virtaavan veden määrä on

$$Q = KA_h/l = KAI, \quad (2)$$

missä Q on veden virtaama [m^3/s], K on hydraulinen johtavuus [m/s] ja I on hydraulinen gradientti. (Mälkki, 1999, 27.)

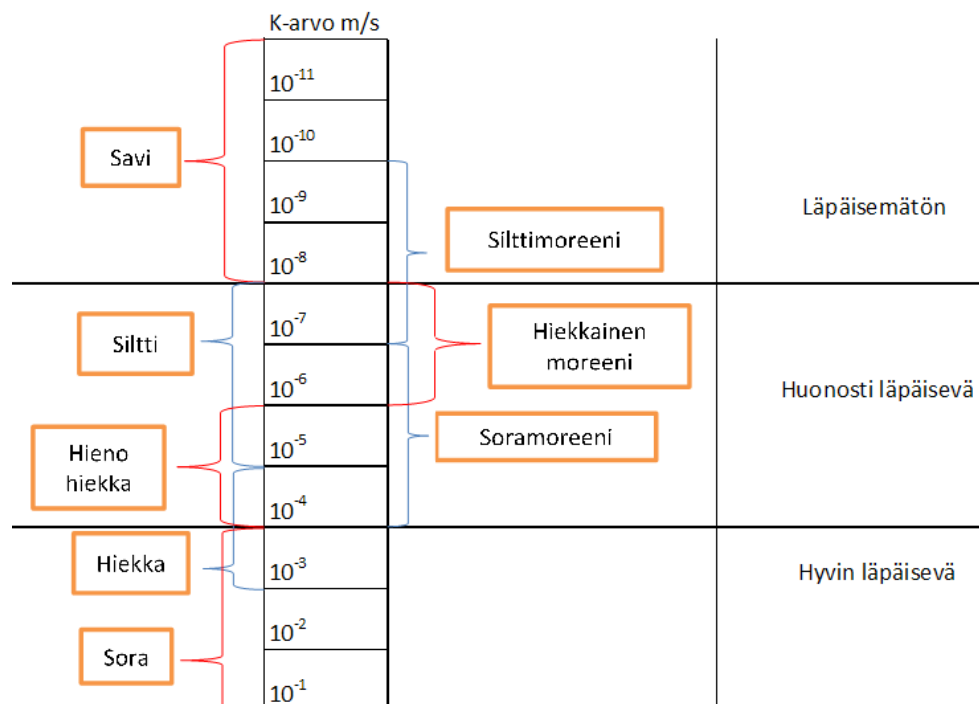
Hydraulinen gradientti, h/l , kertoo verrattavien pisteiden vedenpintojen korkeuseron ja niiden etäisyyden suhteessa toisiinsa. Harjujen pituussuuntainen hydraulinen gradientti liikkuu yleisimmin 5–0,5 ‰ välillä. Tälle välille sijoittuvat arvot kuvaavat hyvää hydraulista johtavuutta. Alle 0,5 ‰ jäävät arvot voivat tarkoittaa

erittäin hyviä johtavuuksia ja yli 5 ‰ menevät arvot jo huonoon suuntaan kehittyviä hydraulisia olosuhteita. (Mälkki, 1999, 25, 73.) Hydraulisen gradientin avulla voidaan määrittää haitta-aineiden kulkeutuman suuntia ja nopeuksia pohjaveden likaantumistapauksissa. Hydraulisen gradientin ollessa alle 5 ‰ on mahdollista, että ainekulkeutumaolosuhteet ovat varsin hyvät. (Mälkki, 1999, 39.) Hydraulisen gradientin arvon ollessa yksi saadaan kullekin maalajille ominainen hydraulinen johtavuus yhtälöstä

$$K=Q/A, \quad (3)$$

missä K on hydraulinen johtavuus [m/s], Q on virtaavan veden määrä [m^3/s] ja A on virtauksen poikkipinta-ala [m^2]. (Mälkki, 1999, 26–27.)

K kuvaa väliaineelle ominaista kykyä johtaa vettä. Kuvassa 2 on esitetty eri maalajien K -arvoja.



Kuva 2. Eri maalajien vedenjohtavuuksia (Nystén, 1993, 19).

Hydraulisen johtavuuden arvot harjuissa vaihtelevat yleisimmin välillä $1 \cdot 10^{-2}$ – $10 \cdot 10^{-2}$ m/s. Parhaimmillaan K -arvo voi olla jopa 1 m/s. Maa-aineksen raekoos-

tumuksen ohella hydrauliseen johtavuuteen vaikuttaa myös maa-aineksen pakkautuneisuus. Löyhästi pakkautuneen maa-aineksen hydraulinen johtavuus on parempi kuin tiiviiksi pakkautuneen maa-aineksen. (Mälkki, 1999, 73.) Hydraulinen johtavuus voi vaihdella runsaasti sekä vertikaali- että horisontaalisuunnassa. Maaperän vertikaalista hydraulista johtavuutta saatetaan turhaan aliarvioida. Tutkimukset ovat osoittaneet, että hidas suotovirtaus maanpinnalta pohjaveteen on mahdollista jopa yli puolenkymmenen metrin paksuisen savi-hienosilttikerroksen läpi. Heterogeenisessä pohjavesikentässä voi esiintyä myös virtauskanaaleja, joissa hydraulinen johtavuus on ympäristöönsä parempi ja joilla voi olla jatkuvuutta. (Mälkki, 1999, 40, 189.)

Hydraulinen johtavuus on häiriintymättömässä kohdassa vakio, mutta hydraulinen gradientti muuttuu ympäristöoloista ja vuodenaajoista riippuen. Kun K-arvo tunnetaan, saadaan veden näennäinen virtausnopeus yhtälöstä

$$V=KI, \tag{4}$$

missä V on nopeus [m/s], K hydraulinen johtavuus [m/s] ja I on hydraulinen gradientti. (Mälkki, 1999, 27.)

Tässä yhtälössä ei ole otettu huomioon väliaineen huokoisuutta. Todellinen eli tehollinen virtausnopeus saadaan jakamalla näennäinen virtausnopeus väliaineen tehollisella huokoisuudella n_e

$$V=KI/n_e, \tag{5}$$

missä V on nopeus [m/s], K hydraulinen johtavuus [m/s], I on hydraulinen gradientti ja n_e on tehollinen huokoisuus (Mälkki, 1999, 27).

Pohjaveden virtausnopeus vaihtelee suuresti eri maalajeissa. Suuntaa antavina arvoina voidaan sanoa, että hienoimmista maalajeista eli savesta ja savimoree-

neissa¹ virtausnopeus on käytännössä nolla, siltti- ja hienohiekkaluokan maassa todelliset virtausnopeudet ovat alle senttimetristä muutamaan senttimetriin vuorokaudessa, karkeahkoa ainesta sisältävässä moreenimaissa ja vastaavissa nopeus on 0,1–1 m/d, hiekassa 0,5–5 m/d ja soralajitteiden määrän lisääntyessä 2–15 m/d. (Mälkki, 1999, 38–39.) Harjujen alueella esiintyy myös suurempia nopeuksia. Karkearakeisimmissa harjuytimissä mitataan luonnonolosuhteissa yleisesti nopeuksia 15–25 m/d, mutta myös suurempia nopeuksia esiintyy. Pohjavesi virtaa suurilla nopeuksilla eritoten kapeissa, laaja-alaiselta muodostumisalueelta vettä koavissa ja kuljettavissa harjunosissa. Leveissä muodostumissa, kuten harjulaa-jentumissa ja harjudeltoissa tai itsestään leveissä harjurungoissa virtausnopeudet ovat pienempiä. (Mälkki, 1999, 72–73.)

Pohjavesi pyrkii aina kulkemaan parhaiten johtavien kerrosten kautta. Harju-akvifereissa virtaus voi tapahtua käytännössä lähes kokonaan yhden osavyöhykkeen, esimerkiksi metrin paksuisen, lähes pelkästään kivistä koostuvan kerroksen kautta², vaikka akviferin kokonaispaksuus olisikin viisitoista metriä ja käsittäisi materiaalia sorasta hienohiekkaan. (Mälkki, 1999, 42.) Virtaussuunta voi vaihdella eri syvyyksillä maaperässä, mutta kuitenkin niin, että päävirtaussuunta on sama. Pohjavesi virtaa pääsääntöisesti harjun pituussuunnassa. (Mälkki, 1999, 192.) Maalajien ollessa hiekkaa tai sitä hienorakeisempaa ainesta maassa olevan veden virtaus on pyörteetöntä eli laminaarista ja virtaus noudattaa Darcyn lakia (Rantamäki et al, 1979, 100).

¹ Useimmat moreenit kuuluvat koostumuksen perusteella hydraulisesti huonosti johtaviin tai käytännössä johtamattomiin kerrostumiin. (Mälkki, 1999, 94.)

² Harjun ydin vaihtelee yleisesti sorasta kiviseen soraan tai jopa pelkkiin kiviin. Ydin muodostui silloin kun jäätikköjoen virtaus oli vielä voimakasta ja kuljetti isompaa tavaraa. Sulamiskausien vaihdellessa harjuun syntyi erivahvuisia kerroksia. Hitaiden virtauksien aikaan hienompia kerroksia ja nopeiden virtauksien aikaan karkeampia aineksia. (Mälkki, 1999, 63.)

2.5 Pohjaveden ominaisuudet

Suomen pohjavedet ovat yleisesti ottaen lievästi happamia, hyvin pehmeitä, niukkasuolaisia sekä useimmiten ainakin lievästi metalliputkistoja syövyttäviä. Orgaanisen aineen pitoisuudet ja rauta- ja mangaanimäärät ovat pieniä. Pohjaveden lämpötila on yleensä noin +4–+6 °C. Radon- ja uraanipitoisuudet aiheuttavat yleisimmin laatuhaittaa pohjavedessä. Pohjaveden laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. tulevan veden määrä ja koostumus, liuotuskyky, akviferiaineen koostumus ja kontaktipintojen laajuus, biologinen aktiivisuus sekä pohjaveden varastoitumisen³, kierto ja viipymä eri olosuhteissa. (Mälkki, 1999, 110, 115, 119, 121.)

Sateena tuleva vesi on hapanta (pH voi olla jopa alle 4), ja sen mukana tulee happea ja hiilidioksidia sekä laaja valikoima pieniä pitoisuuksia erilaisia aineita ja yhdisteitä. Maahan imeytyessään veteen liukenee mineraaliainesta ja veden pH nousee. Vajoamisen aikana vesi kohtaa maaperässä biologisesti aktiivisia vyöhykkeitä, jotka kuluttavat veteen sitoutunutta happea ja sitovat alkuaineita ja yhdisteitä. Hiilidioksidi liukenee veteen ja muuttuu hiilihapoksi. Hiilihappoinen vesi liuottaa maaperästä silikaatteja, kuten rautaa ja magnesiumia liikkeelle. Lisäksi sadeveden mukana tulevat rikki- ja typpiyhdisteet lisäävät esimerkiksi raskasmetallien liukenemistä. (Mälkki, 1999, 107, 111–112.)

Pohjaveden happipitoisuuksista riippuen pohjavesivyöhykkeen olosuhteet voivat olla hapettavat tai pelkistävät. Akviferin pohjaosissa esiintyy monesti vähähappiset eli pelkistävät olosuhteet. Happitaloudella on erityisesti vaikutusta helposti hapettuviin tai pelkistyviin ioneihin kuten rautaan, mangaaniin, nitriittiin ja ammoniumiin. Happipitoisuuden alittaessa 3 mg/l-tason rauta- ja mangaanipitoisuudet alkavat lisääntyä. Pohjaveden muodostuminen ja virtausolosuhteet vaikuttavat pohjaveden happitalouteen siten, että runsas pohjaveden muodostuminen tuo uutta happipitoista pohjavettä ja virtauksen ollessa nopea vesi vaihtuu nopeammin, eikä hapettomia olosuhteita pääse syntymään niin herkästi. Vapaan pohjavedenpinnan olosuhteissa harjuakviferien keskeinen osa käsittää yleensä runsashappista vettä.

³ Vapaissa akvifereissa varastokerroin on yleensä 0,2–0,25 luokkaa. (Mälkki, 1999, 69.)

Sinne minne vedenkierto ei ulotu vesi on seisovaa ja hapetonta. (Mälkki, 1999, 111–112, 114–115.)

Pohjavedessä olevat mikrobit, sienet, bakteerit, virukset ja alkueläimet ovat kulkeutuneet pohjaveteen veden suotautuessa ylempien kerrosten läpi. Mikrobimäärät vaihtelevat ravinteiden, lämpötilan, happamuuden ja mineraalikoostumuksen perusteella ja ovat syvällä karussa ympäristössä pieniä verrattuna maanpinnan lähellä olevaan pohjaveteen. Mikrobit hajottavat orgaanisia yhdisteitä, säätelevät pH:ta, redox-potentiaalia (hapetus-pelkistys-potentiaalia) sekä kompleksien muodostusta ja vapauttavat ja sitovat ainesosia (kuten happea ja hiilidioksidia) ja vaikuttavat tätä kautta pohjaveden laatuun. (Mälkki, 1999, 119.) Lämpötilan ja vähäisen hapen takia hajotustoiminta syvällä maaperässä olevassa pohjavedessä on hyvin hidasta, jopa olematonta, eivätkä sinne päätyneet haitta-aineet hajoa kovin helposti.

2.6 Vedenoton vaikutukset

Vedenottoalue pyritään laittamaan sellaiseen paikkaan pohjavesialueella, jossa pohjavesi luonnontilassakin purkautuisi. Ottomäärät pyritään saamaan vastaamaan luonnollisen purkautumisen määrää. Vedenottamon kaivot asennetaan siten, että siivilä on parhaiten johtavassa maakerroksessa. Kaivot ottavat veden parhaiten johtavasta kerroksesta, mutta voivat kuitenkin ottaa lähistöltä vettä myös vähemmän johtavista kerroksista.

Vedenoton vaikutusta kutsutaan alenemakartioksi (Mälkki, 1999, 45) eli alueeksi, jolla vedenoton vaikutus on nähtävissä pohjavedenpintojen laskuna. Mikäli maaperän johtavuus on hyvä, vedenoton vaikutus näkyy vain pienenä pintojen laskuna vedenottamoita kohti. Jos vedenjohtavuus on heikko, on pintojen lasku jyrkempi. Keskiporto-harjoitusolosuhteissa pumppauksella voidaan vaikuttaa harjun pituussuunnassa usein yli kilometrin etäisyyteen (Mälkki, 1999, 192). Kun vedenoton määrä lähenee pohjavesialueen keskiantoisuutta ja pohjavedenpinnan korkeuserot eivät ole suuret, vedenoton vaikutus ulottuu jokaiseen soppeen, johon akviferi tai sen puoliläpäisevät jakeet ulottuvat. Vaikutus laskee tasaisesti niin kauan, kuin

veden virtausvastus pysyy suunnilleen samana. Jos virtausvastus suurenee tai pienenee, syntyy poikkeamia. (Mälkki, 1999, 159.)

2.7 Kallioperän ominaisuudet

Kallioperä antaa oman erityispiirteensä pohjavesivyöhykkeelle. Tästä syystä kallioperän rakoilun ja hydraulisen johtavuuden selvittäminen on oleellinen osa ratkottaessa kallionpintaan painuneen haitta-aineen leviämistä pohjaveden mukana. Kallioperän ruhjeisuus, rapautuneisuus ja rakoilu mahdollistavat pohjaveden virtaamisen kalliossa ja luovat olosuhteet kalliopohjavesien synnylle. Kallioruhjeita esiintyy Suomessa lähes joka neliökilometrillä. Kallioruhjeiden lisäksi jokaisella kivilajilla on tyypillinen rakoilunsa. Eri tavalla rikkoutuneet kallioperän osat jakaantuvat tavallisesti siten, että ehjät osat ovat näkyvillä olevia alueita ja ruhjevyöhykkeet laaksoja. (Mälkki, 1999, 54–56.) Kalliot jaetaan rakenteellisen kiinteyden perusteella kolmeen pääryhmään: kiinteä kallio, löyhä kallio sekä rikkonainen kallio (Rantamäki et al, 1979, 24–25). Seismisten mittausten avulla on mahdollista selvittää kallion rakennetta ja hydraulista johtavuutta. 2 000 m/s tuntumaan laskevat seismiset nopeudet ruhjeessa indikoivat voimakkaasta kallion rapautumisesta ja pienestä hydraulisesta johtavuudesta, kun taas 3 200–4 000 m/s seismiset nopeudet kertovat ruhjeympäristön terveestä rikkoutuneisuudesta ja hyvästä hydraulisesta johtavuudesta. (Mälkki, 1999, 142–143.)

Pohjaveden hydrologisen kierron syvyys ulottuu pääosassa kallioperää ehkä vain alle 200 metrin syvyyteen, mutta ruhjevyöhykkeissä se voi yltää jopa yli kilometriin. Kalliopohjavesiä hakeutuu lohkoja ympäröiviin ruhjeisiin ja jatkaa niitä pitkien sopiviin purkautumispaikkoihin. Kalliopohjavesivyöhyke voi olla pohjavesialueen tapaan joko antikliininen tai synkliininen. Kalliopohjavesien varastokerroin on normaalisti rakoilleilla alueilla ja rapautumattomissa ruhjeissa 0,005–0,01 luokkaa ja heikosti rakoilleissa kivissä paljon pienempi. Hydraulinen johtavuus voi vaihdella tavallisissa kalliolohkoissa 10^{-6} – 10^{-10} m/s ja olla ruhjeissa selkeästi suurempikin. (Mälkki, 1999, 57–58.)

Mikkelin kallioperä koostuu pääasiassa metamorfisista kivilajeista (Petäjä-Ronkainen, 2011). Metamorfiset kivilajit eli kiteiset liuskeet ovat syntyneet magma- ja sedimenttikivilajeista suuressa puristusjännityksessä ja korkeassa lämpötilassa. Olosuhteet syntyivät, kun mannerlohkot siirtyivät toisiaan vasten. Syntyneille metamorfisille kivilajeille on tunnusomaista järjestäytynyt tai suuntautunut ja usein liuskeinen rakenne. (Rantamäki et al, 1979, 15.)

3 TAUSTAA

Tulevissa kappaleissa pyritään kertomaan lukijalle Pursialan pohjavesialueen pohjaveden pilaantumistapauksien taustoista. Kun tietää menneisyyden, voi ennustaa tulevaa.

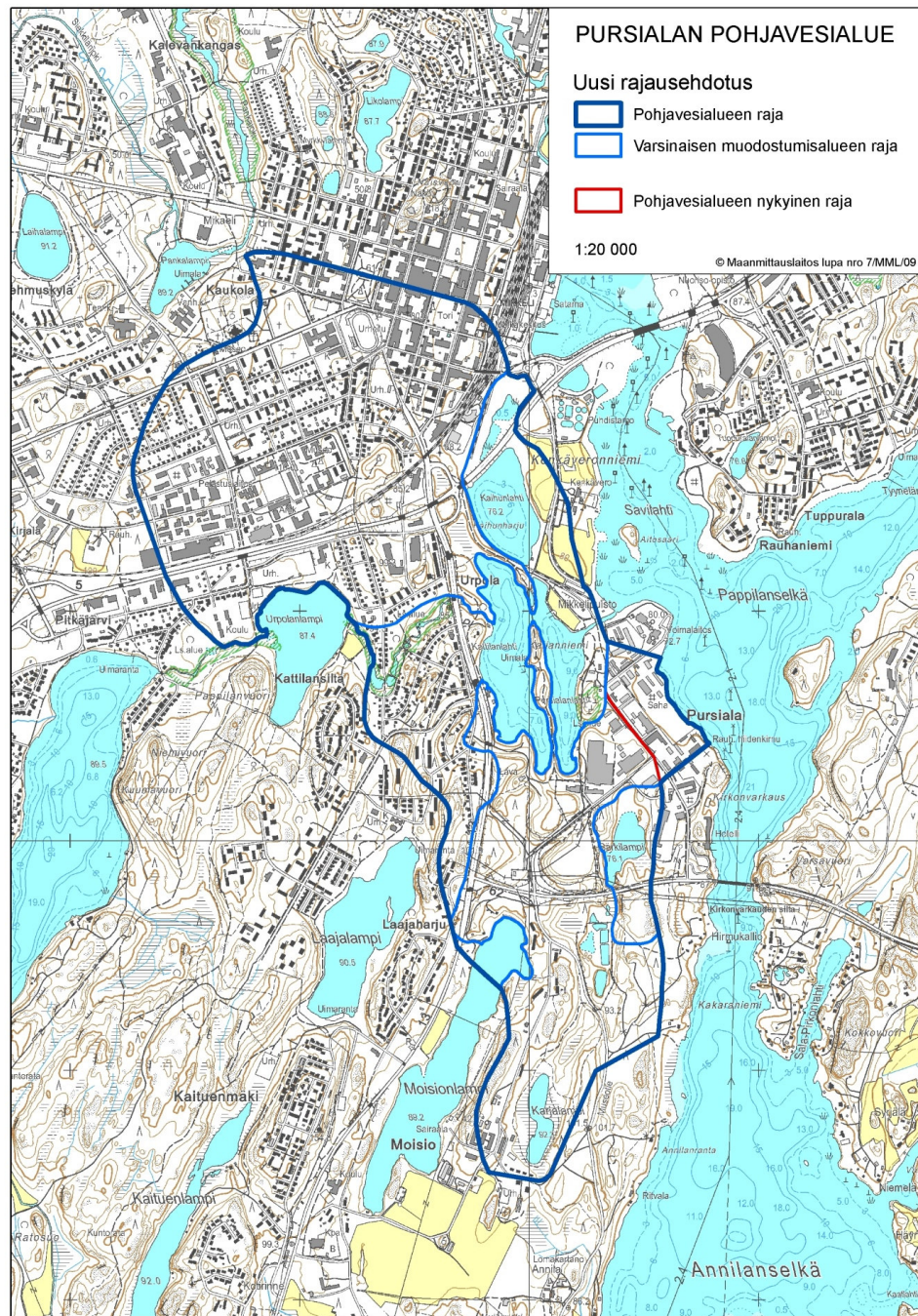
3.1 Pursialan pohjavesialue

Pursialan pohjavesialue (0649151) on käytössä oleva I-luokan pohjavesialue, joka sijoittuu osalti Nuijamiehen, Urpolan, Laajalammen, Moision, Kenkäveronniemen ja Pursialan kaupunginosien alueille sekä Mikkelin ydinkeskustan alle. Sen pohjavedestä saavat vetensä suurin osa mikkeliläisistä. Pursialan pohjavesialue on tämän hetkiselällä rajauksella kokonaispinta-alaltaan noin 4,31 km² ja pohjaveden muodostumisalueen pinta-alaltaan noin 3,1 km². Sen sadannan kautta laskennallisesti arvioitu (Petäjä-Ronkainen, 2011) muodostuvan pohjaveden määrä eli luonnollisen pohjaveden määrä on noin 1 700 m³/d. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 6.)

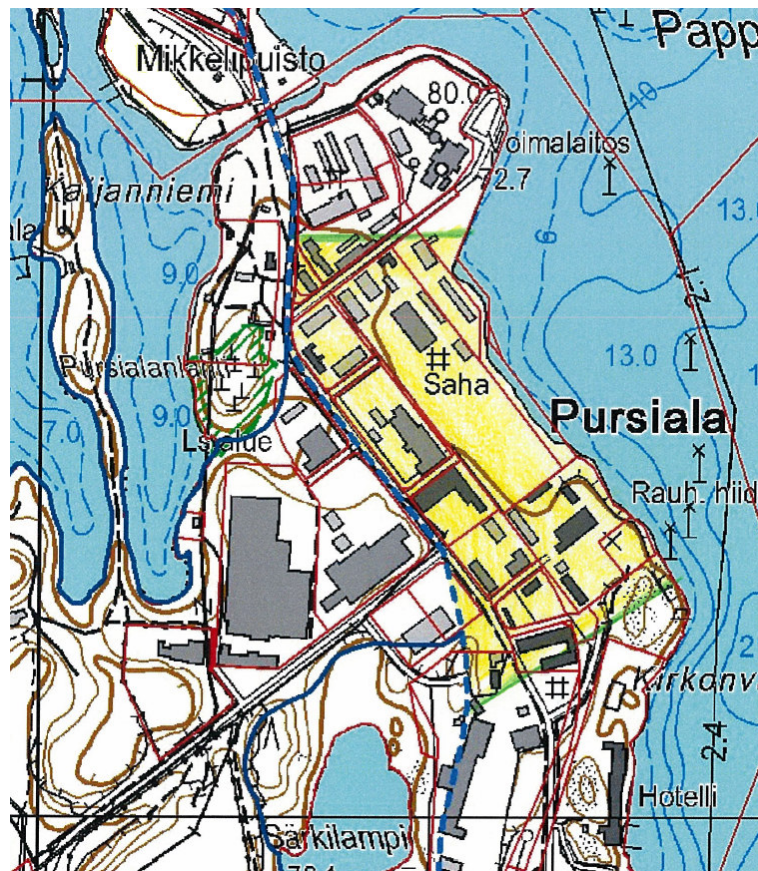
Pursialan pohjavesialueen pohjavesimuodostumatyyppi eli akviferityyppi on etelästä kapea ja selväpiirteinen antikliininen (purkava) harjujakso ja pohjoispäästä synkliininen (keräävä) laajahko deltamuodostuma. Deltamuodostuma tarkoittaa vetäytyvän jäätikön reunalleen kerryttämää tasaista ja hienoa maakerrosta. Mikkelin kaupunki on rakennettu harjun ja deltan päälle. Maakerrosten paksuus vaihtelee alueella 10–35 metriin ja kalliopinnan korkeusvaihtelut ovat hyvin suuria. Harju kulkee Pursialan kaupunginosassa Kaihunharju – Kaijanniemi -vesistön halki. Kalliokynnys rajaa pohjavesiesiintymän kaupungin keskustan vaiheilla Kirjala – maaseurakunan kirkko – Tuomiokirkko – Naisvuori – Rokkala -linjalla. Etelässä toinen kalliokynnys puolestaan rajaa esiintymän Moision kaupunginosassa, suunnilleen Karjalammen ja Saimaan Annilanselän väliseen maastoon. Sadannan imeytymisen lisäksi pohjavesialueella tapahtuu myös rantaimetyymistä. Veden muodostumista on lisäksi tehostettu kahdella tekopohjaveden imeytysaltaalla vedenottamon eteläpuolella ja yhdellä imeytysaltaalla pohjoispuolella. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 6–7; Mälkki, 1999, 44; Pe-

täjä-Ronkainen, 2011.) Vuonna 2007 tehtyjen pohjaveden hapen ja vedyn isotooppikoostumustutkimusten perusteella Pursialan vedenottamolta pumpattava vesi on noin 75 % pintavesilähtöistä (Taipale, 2007). Sadannan imeytymiskertoimen alueella on arvioitu olevan runsaan asfalttipinnan takia vain noin 0,3, kun se yleensä on noin 0,5 (Petäjä-Ronkainen, 2011). Pohjaveden laatu on pelkistävien olosuhteiden vuoksi heikko ja siinä on korkea rautapitoisuus. Vedenottamon käsittelyprosessin jälkeen veden laatu on kuitenkin hyvä. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 6–7.)

Tiedot pohjavesialueiden geologiasta ja hydrogeologiasta ovat olleet ja ovat tälläkin hetkellä puutteellisia. Pohjavesialueiden rajauksia muutetaan aina, kun alueista saadaan lisätietoa. Pursialan pohjavesialueen rajausta tullaan korjaamaan lähitulevaisuudessa (todennäköisesti jo syksyllä 2011) vastaamaan tarkemmin todellista tilannetta. Rajausta tullaan muuttamaan vedenottamolta koilliseen ja itään, koska tutkimuksissa on selvinnyt hydraulisen yhteyden olemassaolo esimerkiksi entisen saha-alueen ja vedenottamon välillä. Kuvassa 3 on esitetty Pursialan pohjavesialueen voimassa olevat ja tulevat rajat. Kuvassa 4 on esitetty tarkemmin (keltainen väri) pohjavesialueen rajojen sisään tuleva uusi alue. Rajojen muuttumista selittää se, ettei kenelläkään ole ollut tarkkaa tietoa pohjavesialueen rajoista, vaan rajat on täytynyt asettaa sen aikaisen yleistietämyksen perusteella. Yleensä pohjavesialueiden rajat onkin asetettu siten, että ne ovat maastossa helposti havaittavia, eivätkä näin ollen kuvaa välttämättä maaperän todellista hydrogeologista tilaa. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 7; Petäjä-Ronkainen & al, 2010, 64; Petäjä-Ronkainen, 2011.)



Kuva 3. Ehdotus Pursialan pohjavesialueen ja pohjaveden muodostumisalueen uusiksi rajoiksi (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 89).



Kuva 4. Rajauksen sisään tuleva uusi alue, joka sisältää nyt VAPO Oy:n entisen saha-alueen (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 89).

Vielä noin kymmenen vuotta sitten uskottiin, ettei mm. Vapon vanhan saha-alueen maaperän haitta-aineilla ole merkitystä Pursialan pohjavesialueelle, sillä sen aikainen pohjavesialueen raja oli piirretty väärään kohtaan. Vuosituhannen vaihteen tuoma sosiaali- ja terveysministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 461/2000 toi kuitenkin mukanaan kloorifenolien tarkkailun vaatimuksen talousvedestä, jonka seurauksena kloorifenolia havaittiin vuonna 2001 raakavedessä. Raakavedessä oli siis todennäköisesti kloorifenoleita jo ennen vuotta 2001. Tästä saivat alkunsa tutkimukset, joiden johdosta kloorifenolipilaantumien laajuus ja vakavuus sekä uhka vedenottamolle alkoivat valjeta. Tutkimuksien yhteydessä törmättiin myös muihin aluetta pilanneisiin haitta-aineisiin. (Rautio, 2011; Rouvinen, 2011; Turkki, 2011.)

Pursialan pohjavesialue on luokiteltu kemiallisen tilan arvioinnissa huonoon tilaan. Se on luokiteltu Etelä-Savon neljän pilaantuneimman pohjavesialueen jouk-

koon. Pilaantumista ovat aiheuttaneet kloorifenolit, PAH-yhdisteet, liuotinaineet, torjunta-aineet, öljy-yhdisteet, raskasmetallit sekä kloridi. Torjunta-aineiden, liuottimien ja metallien päästölähde/lähteet eivät ole selvillä. Pohjavesialueella sijaitsevalta Pursialan vedenottamolta lähtevän verkostoveden haitta-aineiden pitoisuudet eivät ole kuitenkaan ylittäneet talousveden laatuvaatimuksia ja -suosituksia. Pursialan vedenottamon raakavedestä otetaan vesienhoidon suunnittelun (VHS) seurantaan liittyen näytteitä kahdesti vuodessa. Perusseurannassa analysoidaan ammonium, nitraatti, sähkönjohtavuus, pH sekä liuennut happi ja kloridi. Toiminnalliseen seurantaan liittyen analysoidaan lisäksi kloorifenolit. Vesienhoidon ympäristötavoitteena on vesien tilan huononemisen estäminen ja hyvän tilan saavuttaminen vähintään vuoteen 2015 mennessä. Pursialan pohjavesialueella tarvitaan todennäköisesti jatkoaikaa vuoteen 2021 tai 2027 hyvän tilan saavuttamiseksi. Pilaantumisien lisäksi Pursialan pohjavesialuetta uhkaavat myös alueella sijaitsevat maantiet ja rautatie sekä niillä mahdollisesti sattuvat onnettomuudet. Alueella sijaitsevia teitä ovat valtatie 5 (vt 5), valtatie 13/15 (vt 13/15) sekä maantie 62 (mt 62). Alueella sijaitsee osittain ratapiha-alue ja Savon rata. Pursialan pohjavesialueelle on laadittu suojelusuunnitelmia vuosina 1996, 1997, 1999, 2001 sekä 2010. Ne sisältävät pohjavesialuetta uhkaavat riskit sekä riskien minimoimiseksi ja ehkäisemiseksi laaditut toimenpidesuositukset. Suojelusuunnitelmien tavoitteena on varmistaa hyvälaatuisen pohjaveden saanti yhdyskuntien käyttöön. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 2, 15; Petäjä-Ronkainen & al, 2010, 21, 65, 67.)

Pohjavesialueelle ei ole haettu suoja-alueita. Pohjavesialueelle olisi voitu hakea ja voitaisiin edelleenkin hakea suoja-alueita, jolla alueelta saataisiin poistettua pohjaveden kannalta riskialtista toimintaa. Tämä johtaisi kuitenkin suuriin korvauksiin toiminnanmenettäville ja tästä syystä siihen ei ole ryhdytty (Rautio, 2011; Rouvinen 2011). Lisäksi on ajateltu, että pohjaveden ja maaperän pilaamiskielto riittää suojelemaan pohjavettä pilaavalta toiminnalta (Turkki, 2011). Tämä ei kuitenkaan estä onnettomuuksien tapahtumista teollisuusalueella.

3.2 Pursialan pohjavesialueen huomioiminen kaavoituksessa

Kaavoituksen tarkoituksena on ohjata maankäyttöä ja rakentamista niin, että siinä luodaan edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistetään ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä kehitystä. Kaavoittamisesta säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa. Kaavajärjestelmä on kolmiportainen ja yksityiskohtaisempi kaava syrjäyttää aina yleispiirteisemmän kaavan. Kaavat yleispiirteisemmästä yksityiskohtaisempaan ovat maakunta-, yleis- ja asemakaava. Asemakaavan tarkoituksena on osoittaa tarpeelliset alueet eri tarkoituksia varten ja ohjata rakentamista ja muuta maankäyttöä mm. paikallisten olosuhteiden ja ohjaustavoitteen edellyttämällä tavalla (Maankäyttö- ja rakennuslaki, 5.2.1999/132).

Pursialan pohjavesialue on alueen eteläpäättä lukuun ottamatta asemakaavoitettua aluetta. Eteläpäässä on osittain voimassa oleva yleiskaava. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 2.)

Kaavoituksen avulla voidaan ohjata riskialtista toimintaa pois pohjavesialueelta ja näin ollen suojella pohjavesialuetta. Tällä hetkellä kaavoituksessa ei ole kuitenkaan juuri huomioitu Pursialan pohjavesialuetta ja alueella sijaitsee ympäristölle vaarallisia kemikaaleja käyttävää teollisuutta. Lisäksi alueella oleva toiminta on pohjavesialueen kunnostamisen tiellä tai tekee kunnostamisesta hankalaa. Kaavoituksen antama mahdollisuus maankäytön rajoituksiin ei siis ole käytetty vielä hyväksi juuri ollenkaan.

Liitteen 1 sivun 1 kuvassa on esitetty Pursialan alueella voimassa olevat asemakaavat. Pursialan vedenottamo sijaitsee asemakaavan 478 lännen puoleisella alueella. Liitteen 1 sivulla 2 olevassa taulukossa on esitetty, miten pohjaveden sijainti on otettu huomioon vedenottamon lähimpien asemakaavojen alueella tai niiden läheisyydessä. Asemakaavoja 119, 368, 454, 520, 746 sekä 762 ei ole otettu ollenkaan tarkasteluun mukaan, sillä niiden alueella ei sijaitse mitään toimintaa ja alueet ovat suurimmaksi osaksi vettä. Taulukosta voidaan nähdä, että pohjaveden sijaintia asemakaavan alueella tai sen läheisyydessä ei ole otettu huomioon kuin

kaavoissa 867, 803, 798 sekä 756. Lisäksi kyseisten kaavojen määräykset pohjavesialueen huomioimisen suhteen eroavat keskenään.

3.3 Pursialan pohjavesialueelle sijoittuva toiminta ennen ja nyt

Mikkelin Pursialan pohjavesialueella on keskustan läheisen sijainnin vuoksi ollut paljon erilaista teollista toimintaa. Tässä työssä keskitytään kuitenkin vain Pursialan vedenottamon lähistön eli Pursialan ja Urpolan kaupunginosissa sijainneiden toimijoiden aiheuttamiin vaikutuksiin niiden aiheuttamien suurimpien uhkien vuoksi. Mikkelin Pursialan kaupunginosa on ollut teollisen toiminnan alueena jo 1950-luvulta lähtien, jolloin kaupunki alkoi kehittää teollisuuttaan ja kaavoitti Pursialan siihen käyttöön. Alueella on toiminut muun muassa useita sahoja kuten VAPO Oy, Mehtälä & Seppälä sekä Misawa. Muuta merkittävää teollista toimintaa alueella on edustanut Stellac wood, Idman, Mölnlycke, ESE, Opa, Matrella Oy. Alueella on toiminut lisäksi kaksi kaatopaikkaa, toinen Saimaankadulla ja toinen Mölnlycken tontin pohjoispäädyssä. Pilaantumista alueella on aiheuttanut tiedettävästi ainakin VAPO Oy:n sahan toiminta sekä kaatopaikat. Urpolassa Pursialan viereisessä kaupunginosassa sijainneet VR:n ratapölkkykyllästäminen ja Rinnekadun Neste ovat aiheuttaneet pohjaveden pilaantumista. Alueen toimijoiden historioista paneudutaan tarkemmin Pursialan vedenottamon historiaan sekä Pursialan pohjavesialuetta pahiten pilaavien toimijoiden VAPOn sahan ja VR:n ratapölkkykyllästämisön historiaan.

3.3.1 Pursialan vedenottamon historia

Mikkelin Vesilaitos perustettiin vuonna 1911, kun kaupungin kaivot alkoivat olla likavesien takia niin pilaantuneita, ettei niiden vettä voinut käyttää talousvedeksi eikä juomavedeksi. Ensimmäinen vedenottamo perustettiin Hanhikankaalle ja se toimi aina vuodesta 1911vuoteen 1959 saakka ainoana vedenhankintapaikkana. Vuonna 1955 kulutus oli kasvanut niin suureksi, että päätettiin alkaa etsiä uutta pohjavesiesiintymää. Sellainen löytyi Yleisen insinööritoimiston vuonna 1956 tekemän pohjavesitutkimuksen jälkeen Pursialan kaupunginosasta ja Pursialan vedenottamon rakentaminen aloitettiin vuonna 1958. Vedenottamo saatiin val-

miiksi vuonna 1959. Sen vesi osoittautui kuitenkin heti fenoleiden pilaamaksi. Fenoleiden aiheuttaman maku- ja hajuvirheen poistamiseksi vesilaitokselle jouduttiin hankkimaan aktiivihiilen annostelulaitteet. Puoli vuotta kestäneiden tutkimusten jälkeen pilaajaksi paikannettiin Urpolassa sijaitseva ratapölkkykyllästä. Fenolit olivat peräisin kyllästyksen käytetystä kreosoottiöljystä. Aine kulkeutui kyllästäimöltä Kaihunharjun vesisuonta pitkin vedenottamolle. Vesisuoni katkaistiin pumppaamalla vesi Kaihunharjasta ns. Veturintallinlahteen. Kunnostuksien ansiosta reitti saatiin tukittua ja fenoli-pitoisuus väheni Pursialan vedenottamon vedessä. Pursialan vedenottamo toimi vuodesta 1959 vuoteen 1968 ainoana vedenhankintapaikkana, jonka jälkeen vedenkulutus oli kasvanut niin paljon, että Hanhikankaan vedenottamo päätettiin ottaa taas käyttöön. 1970-luvun alussa vedenkulutus (10 000 m³/vrk) ylitti jälleen kapasiteetin ja Pursialan vedenottamo päätettiin laajentaa. Laitokseen syntyi tällöin kaksi puolta; uusi ja vanha. Laitoksen laajennus saatiin valmiiksi vuonna 1975. Laajennuksen yhteydessä tehdyt tutkimukset osoittivat, että vedenottamo laajennettaessa oli alettava käyttää pintavettä tai tekopohjavettä vedensaannin turvaamiseksi. Koska veden laadun ja maun haluttiin pysyvän ennallaan, päätettiin alkaa tuottaa tekopohjavettä. Vuonna 1973 valmistui Kaihunharjun imeytysallas ja vuonna 1977 Moision sorakuopan kokeiluluontoinen imeytysallas. Moision sorakuopan imeytysaltaaseen tarvittu vesi ohjattiin putken kautta Kattilanlahdesta. Moision sorakuoppa kunnostettiin 1980–81 ja kunnostuksen yhteydessä sinne rakennettiin kokeilualtaan lisäksi kaksi imeytysallasta. Pursialan vedenottamo saneerattiin vuonna 2004 ja vuonna 2009 hankittiin aktiivihiilijauheen valmistus- ja annostelulaitteet kloorifenolien poistamiseksi raakavedestä, mikäli pitoisuudet kasvavat yli hyväksytyyn rajan talousvedessä. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 12–13; Leikas et al, 2001,8, 14–15, 40–41, 46–49.)

Vedensaannin varmistamiseksi poikkeustilanteissa Hanhikankaan vedenottamo tullaan laajentamaan niin, että siitä voitaisiin ottaa vettä noin 4 500 m³/d. Rakennustyöt alkavat syksyllä 2011 ja laajennuksen on tarkoitus valmistua vuonna 2013. Hanhikankaan vedenottamolle on tarkoituksenaan johtaa tulevaisuudessa vettä mahdollisesti myös Mikkelin pohjoispuolisilta alueilta Vuohiniemestä ja Haukilammesta yhteensä noin 1300 m³/d. (Turkki, 2011.)

Suurimmillaan vedenkulutus oli 70-luvulla, jonka jälkeen vedenkulutus on ollut koko ajan hienoisessa laskussa. Vedenkulutuksen kääntymisen laskuun aiheutti jätevesimaksun käyttöönotto. Mikkelin kaupungin ja Mikkelin maalaiskunnan osaliitoksen yhteydessä vuonna 1985 Mikkelin Vesilaitoksen alaisuuteen tuli vielä Porrassalmen harjujakson eteläpäässä sijaitseva Hietalahden vedenottamo. Hietalahden vedenottamosta saavat vetensä vain Tuukkalan, Silvastin ja Moisioin alueet, joten sen merkitys Mikkelin kaupungin vedensaannin kannalta on melko vähäinen. Mikkelin Vesilaitos on vastannut Mikkelin maalaiskunnan alueen ja Anttolan vesihuollosta vuoden 2001 kuntaliitoksesta lähtien. Ennen kuntaliitosta maalaiskunta osti puhtaan veden kaupungilta ja toimitti jätevetensä Mikkelin kaupungin viemäriverkkoon. Mikkelin Vesilaitos on tuottanut vuodesta 2007 lähtien myös Haukivuoren ja vuodesta 2008 lähtien Ristiinan vesihuoltopalvelut. Ristiina saa vetensä Hartikkalan pohjavesiottamolta ja Haukivuori Huosiuskankaalta sekä Kangasniemen Pohjanniemen vedenottamolta. Niiden vedensaanti ei siis riipu Mikkelin kaupungin alueen pohjavedenottamoista. Näiden toimintojen lisäksi vesilaitos myy talousvettä toiminta-alueen ulkopuolella sijaitseville vesiosuuskunnille. (Mikkelin Vesilaitos, 2009, 2–3; Rautio, 2010.)

Pursialan ja Hanhikankaan vedenottamot tuottavat talousveden Mikkelin kaupungin kantakaupunkialueelle sekä Rantakylän, Otavan ja Anttolan taajamille. Kulutajakiinteistöjä kyseisillä alueilla on yhteensä 6803 kpl. Vuoden 2009 vedenkulutus on nähtävillä taulukossa 1. (Mikkelin Vesilaitos, 2009, 5.)

Taulukko 1. Vedenottamoiden pumppaamat vesimäärät (Mikkelin Vesilaitos, 2009, 4).

Vedenottamo	Raakavesi [m ³ /a]	Raakavesi [m ³ /d]	Talousvesi [m ³ /a]	Talousvesi [m ³ /d]	Osuus talousveden tuotannosta [%]
Pursiala	2 507 819	6 871	2 178 393	5 968	71,3
Hanhikangas	830 453	2 275	715 723	1 961	23,5
Hietalahti	170 325	467	159 848	438	5,3

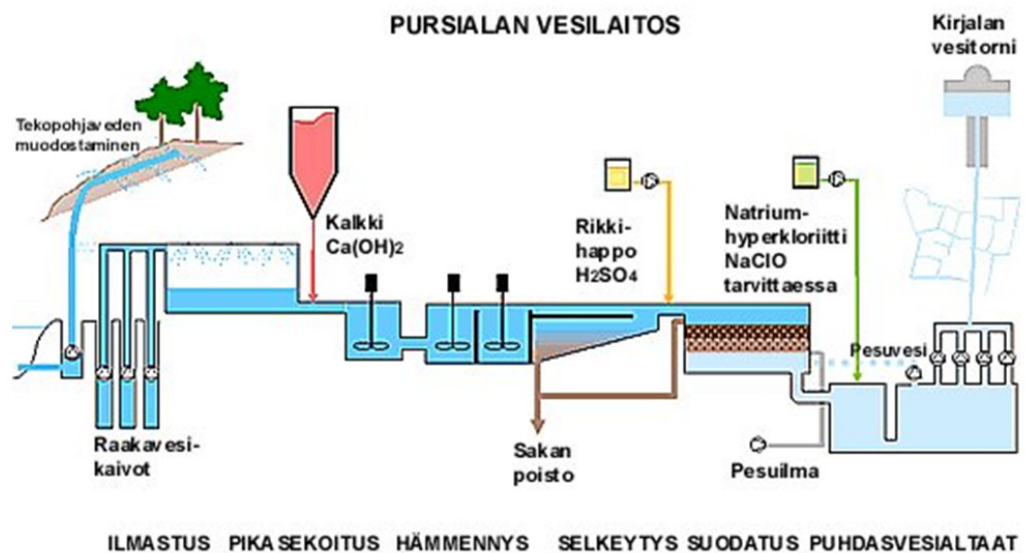
Vedestä 71,3 % saadaan Pursialan vedenottamolta ja 23,5 % Hanhikankaan vedenottamolta. Täten Pursialan pohjavesialue on Mikkelin kaupungille korvaamattoman tärkeä luonnonvara. Pursialan vedenottamon vedestä 64 % on pohjavettä ja 36 % tekopohjavettä (Mikkelin Vesilaitos, 2009, 4). Vuonna 2007 tehtyjen pohjaveden hapen ja vedyn isotooppikoostumustutkimusten perusteella Pursialan vedenottamolta pumpattava vesi on noin 75 % pintavesilähtöistä (Taipale, 2007). Veden tulosuunnasta ei ole tarkkoja arvioita, mutta karkeana arviona noin 1/3 tulee Moision suunnalta ja 2/3 pohjoiselta alueelta (Turkki, 2011). Ainoat Mikkelin kaupungin käyttöön soveltuvat pohjavesialueet sijaitsevat Kaihunharju – Pursiala -alueella sekä Hanhikankaalla. Näissä molemmissa on jo vedenottamot. Mikkelin alueen vaihtoehtoisia vedenhankintapaikkoja on selvitelty viimeisten vuosikymmenten aikana ja on tultu siihen tulokseen, ettei lähialueella ole saatavissa suuria määriä pohjavettä muista vesilähteistä. (Leikas et al, 2001, 48, 68.)

Mikkelin alueen pohjavesissä on luonnostaan paljon rautaa, mangaania ja vapaata aggressiivista (syövyttävää) hiilihappoa, joten vedenottamojen toimintaperiaatteena on ollut alentaa näiden aineiden pitoisuudet hyväksytyihin arvoihin. Kuvassa 5 on esitetty Pursialan vedenottamon prosessikaavio. Puhtaan veden tuotantoprosessi Pursialan vedenottamolla alkaa pohjaveden pumppauksella siiviläputkikaivoista (11 kpl) uppopumpuilla jakotukille, jossa eri kaivoista tullut raakavesi sekoittuu. Raakavedellä tarkoitetaan luonnollisesti syntyneitä pohjavettä sekä tekopohjavettä, josta valmistetaan talousvettä. Jakotukilta vesi etenee uudelle puolelle ja tarvittaessa vanhalle puolelle. Veden syöttö vanhalle puolelle käynnistyy automaattisesti, kun raakaveden määrä ylittää 260 m³/h ja pysähtyy, kun raakaveden määrä alittaa 250 m³/h. Vanhan puolen ollessa käynnissä sen läpi ajetaan korkeintaan 120 m³/h ja loppu vesimäärä menee uudelle puolelle. Vesitornin pintatieto ohjaa Pursialan korkeapainepumppuja ja Pursialan alavesisäiliön pintatieto raakavesipumppuja. Uuden puolen maksimivirtaama on käytännössä noin 10 000 m³/d ja vanhan puolen noin 4 000 m³/d. Niiden prosessit ovat samanlaiset. Jakotukilla sekoittunut vesi pumpataan ilmastukseen, missä vesi hapettuu ja vedestä poistuu hiilidioksidia. Seuraavaksi hapettuneeseen veteen lisätään kalkkia ja vesi johdetaan pikasekoituksen kautta hämmennyslinjoille. Kalkin lisäyksen ansiosta veden pH nousee noin 9,3:een, ja rauta ja mangaani saadaan saostumaan hämmennysal-

taissa. Hämmennysaltaista vesi johdetaan selkeytysaltaiden välipohjan alta selkeytysaltaisiin, josta se kiertyy selkeyttimien välipohjan yläpuolelle. Pääosa saostumista laskeutuu selkeytysaltaiden pohjalle. Selkeytysaltaista vesi etenee ylivuotona hiekkasuodattimille (hiekkakerroksen paksuus noin 1,2 m), joissa loput saostumista poistetaan. Veden pH säädetään rikkihapon avulla sopivaksi (8,3–8,6) ennen sen saapumista hiekkasuodattimille. (Koski, 2011a; Leikas et al, 2001, 32, 46; Mikkelin Vesilaitos, 2011; Mikkelin Vesilaitos, 2009, 3; Rautio, 2011; Suunnittelukeskus Oy, 2004, 1.)

Hiekkasuodattimista huuhdellaan päivittäin kaksi suodatinyksikköä; yksi suodatin uudelta ja yksi vanhalta puolelta (Koski, 2011b). Huuhteluvedet ohjataan pohjavesialueella sijaitsevaan huuhteluvesialtaaseen, josta vedet laskevat ojaan pitkin Särkijärveen (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 12).

Natriumhyperkloriittia (NaClO) käytetään tarvittaessa desinfioimaan vesi. Mikrobiologisesti stabiilin raakaveden johdosta desinfiointia ei ole tarvinnut käyttää Pursialan vedenottamalla (Tekninen toimi, 2008, 7).



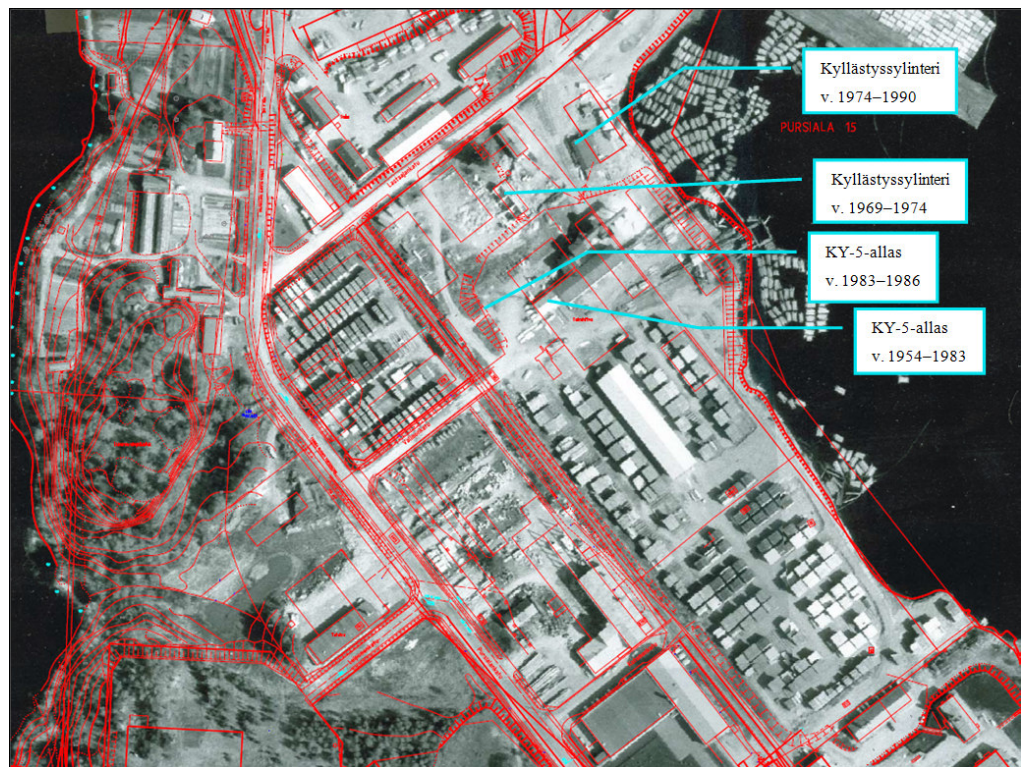
Kuva 5. Pursialan vesilaitoksen prosessikaavio (Mikkelin Vesilaitos, 2011).

Mikkelin kaupunkialueella syntynyt jätevesi johdetaan käsiteltäväksi Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamoon. Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamo

rakennettiin vuonna 1962 ja siihen on tehty laajennuksia vuosina 1971–1973. Nykyään se käsittelee Mikkelin kaupunkialueen jätevesien lisäksi Rantakylän ja Otavan taajamien jätevedet sekä Metsä-Sairilan jäteaseman suotovedet. Puhdistettu jätevesi johdetaan Saimaan Savilahteen. Laitoksen tavoitteena on jätevedessä olevan fosforin, happea kuluttavan orgaanisen aineen ja ammoniumtypen sekä kokonaistypen vähentäminen niin, että jätevesien ja lietteiden aiheuttama ympäristökuormitus jää mahdollisimman pieneksi. (Leikas et al, 2001,63–65; Mikkelin Vesilaitos, 2011; Rautio, 2011.) Jätevedenpuhdistamo siirretään lähitulevaisuudessa Metsäsairilaan peruskallion sisään rakennettaviin luoliin (Lukkari, 2011).

3.3.2 VAPO OY:n sahan historia

Valtion polttoainekeskus (VAPO Oy) aloitti toimintansa Mikkelin Pursialassa Lastaajankatu 3:ssa vuonna 1954 ja lopetti toimintansa vuonna 1990 (ks. kuva 6). Saha- ja kuorimorakenteet sekä sahatavarakatokset purettiin lopettamisen yhteydessä, mutta kuivaamo, höyläämö ja sahan konttori jäivät paikalleen. Mikkelin kaupunki myi teollisuuskiinteistön vuonna 1994 Misawa Homes of Finland Oy:lle, joka rakensi oman sahalaitoksensa täsmälleen vanhan sahan päälle. Misawan saha on yhä toiminnassa. Maaperän pilaantumiset ajoittuvat VAPOn aikakaudelle, jolloin VAPO Oy:n sahan sinistymisensuojauksessa käyttämää KY-5-nimistä sinistymisenestoainetta pääsi runsaasti maaperään ja sitä kautta pohjaveden. Myös VAPO Oy:n kyllästystoiminnassa käyttämä Lahontuho K-33 on pilannut alueita Pursialassa. Kohdealueen etäisyys pohjavedenottamoon on noin 600 metriä. (Kiukas, 2004, 4–6, 9.)



Kuva 6. Ilmakuva VAPO Oy:n saha-alueesta vuodelta 1968 ja KY-5-altaiden ja kyllästyssylinterien paikat. Ilmakuvan päälle on laitettu punaisella värillä vuoden 2011 kartta.

KY-5:n käyttö sahatun puutavaran sinistymisensuojaukseen alkoi sahalaitoksen tuotannon käynnistyessä vuonna 1954 ja loppui vuonna 1986. Sinistymisensuojauksessa käytettiin tuona aikana kolmea eri menetelmää. Vuodesta 1954 noin vuoteen 1965 oli käytössä yksittäiskastelu, jossa saharakennuksen eteläpäässä sijaitsi 6 metrin mittainen kattamaton avoallas, johon sahalta tuleva puutavara pudotettiin. Käsitelty puutavara nostettiin käsin altaasta kiskoille valumaan. Vuosina noin 1965–1983 oli käytössä niin ikään yksittäiskastelu, joskin tässä sahan kuljettimet veivät sahatun puutavaran yksitellen KY-5-altaan läpi. Käsitelty puutavara kuormattiin kärkeihin. Vuosina 1983–1986 oli käytössä nippukastelu, jossa puutavaranippu laskettiin sorkkien avulla 3-4 minuutiksi kasteluliukseen. Käsittelyn jälkeen automaatio nosti nipun ylös ja antoi sen valua altaan päällä 15 minuutin ajan. Yksittäiskastelultaan paikka on saattanut siirtyä jonkin verran siirryttäessä kuljettimien käyttöön. Ne ovat kuitenkin sijainneet lähestulkoon samassa paikassa saharakennuksen yhteydessä. Nippukasteluun siirryttäessä altaan paikka siirtyi saharakennuksen yhteydestä 30 metrin päähän lounaaseen. Käsitelty puutavara on kulje-

tettu trukeilla kuivumaan joko kuivaamoon tai lautatarhaan. Täysiä KY-5-säkkejä varastoitettiin saharakennuksen alakerrassa. (Kiukas, 2004, 7–8.)

KY-5:den käyttö on ollut varsinkin alkuaikoina holtitonta. Yksittäiskastelumene- telmissä ylimääräinen kasteluliuos valui suoraan maahan, eikä kastellun puutava- ran annettu kuivaa kunnolla altaan päällä, vaan KY-5 valui maaperään kuljetuksen aikana ja varastossa. Toisinaan, kuten esimerkiksi syksyisin sinistymisensuojauk- sen loppuessa talven ajaksi, kasteluallas saatettiin tyhjentää alapropun kautta suo- raan maastoon. (Kiukas, 2004, 7–8.) Kesätyöntekijänä vuonna 1986–1988 Vapo Oy:n Mikkelin sahalla toiminut Turunen puolestaan kertoo, että tuohon aikaan toimineiden vanhojen työntekijöiden mukaan kasteluallat tyhjennettiin myös kesälomille lähtiessä (Turunen, 2011).

Altaisiin kertyvää pohjasakkaa (purujätettä ja tikkuja ja KY-5:sta) käytettiin ran- nan täyttöihin ja saatettiin haudata muuallekin sahan ympäristöön. Myös tyhjiä muovisia ja/tai paperisia KY-5-säkkejä saattaa olla haudattuna sahan ympäristöön. Osa säkeistä on ilmeisesti viety vuodesta 1970 lähtien Metsä-Sairilan jäteasemal- le, mutta varmaa tietoa kaikkien säkkien sijoituspaikasta ei ole. Voi siis hyvinkin olla, että myös niitä on haudattu lähiympäristöön ja niihin jääneet KY-5:den jää- mät aiheuttavat maaperän ja pohjaveden pilaantumista vielä tänäkin päivänä. (Kiukas, 2004, 7–8, 17.)

Vesihallituksen kyllästämöitä ja sahoja koskevassa tiedustelussa VAPO Oy il- moitti käyttäneensä Mikkelin sahalla vuonna 1983 noin 1500 kg ja vuonna 1984 noin 800 kg KY-5:ttä. KY-5:den kokonaiskäyttömääristä ei ole olemassa kuin karkeita arvioita, sillä esimerkiksi 50–60-lukujen käytöstä ei ole lainkaan tietoa. Tästä ja karkeista käyttötavoista johtuen maaperään joutuneen KY-5:den määrän arvioiminen on hankalaa. Iiro Kiukaan (2004) tekemän karkean arvion mukaan Vapo Oy:n vuotuinen KY-5:den käyttömäärä on vaihdellut 500–1500 kg välillä ja koko toiminnan aikainen käyttömäärä on siten ollut noin 15,5–46,5 tonnia KY- 5:ttä. Tyhjiä säkkejä Kiukas arvioi syntyneen noin 800–2 300 koko toiminnan aikana. Vuoden 1986 jälkeen KY-5 korvattiin Kemtox S-10-nimisellä aineella. (Kiukas, 2004, 7–8, 17.)

Kyllästystoiminta VAPOn Mikkelin sahalla alkoi 1969 ja loppui sahan toiminnan loppuessa vuonna 1990. Kyllästyslaitos toimi tuona 21 vuoden aikana kahdessa eri rakennuksessa ja kyllästi sekä pyöreää että sahattua puutavaraa. Viisi ensimmäistä vuotta kyllästyslaitos toimi kuivaamorakennuksessa, minkä jälkeen se siirtyi vuonna 1974 höyläämörakennukseen. (Kiukas, 2004, 5.)

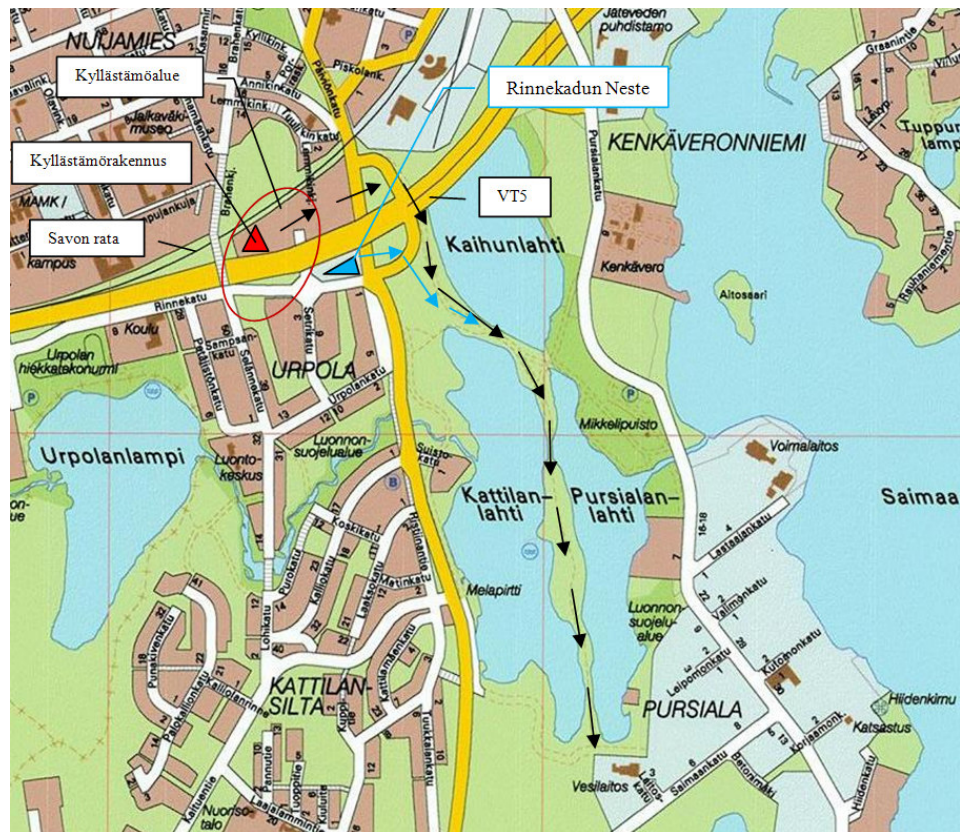
Kyllästysaineena käytettiin Lahontuho K-33-nimistä suolakyllästettä (sisälsi tehoaineina kuparia, kromia ja arseenia), jota kului tuotantomääristä riippuen 2 500–5 000 kg vuodessa. Kiukas (2004) on arvioinut Lahontuho K-33:n käyttömääräksi karkeasti noin 50–100 t koko toiminnan aikana. (Kiukas, 2004, 6.)

Kyllästysprosessissa puutavara asetettiin kouruun, jossa se ohjattiin kulkemaan kyllästysylinterin läpi. Käsittelyn saaneen puutavaran annettiin seisoa valutusanteella olevassa kourussa sen aikaa, että ylimääräinen kyllästysliuos valuisi pois. Sekä kuivaamorakennuksessa että höyläämörakennuksessa on ilmeisesti ollut kyllästysaineen keruusysteemi kyllästysylinterin ja valutusanteen yhteydessä. Toimenpiteiden jälkeen kyllästetty puutavara vietiin lautatarhaan, kuivamoon tai kyllästämön viereiselle ranta-alueelle kuivumaan. Nykyisellä voimalaitosalueella (ESE) kohdekiinteistöltä pohjoiseen on mahdollisesti myös ollut VAPOn kyllästämö. (Kiukas, 2004, 5–6.)

3.3.3 VR:n kyllästämön historia

Valtion rautateillä (VR) on ollut vuosina 1905–1982 ratapölkkykyllästämö Mikkelin Urpolan kaupunginosassa, Savon radan eteläpuolella. Kyllästämö on rakennettu vanhan soranottoalueen paikalle ja varsinainen kyllästämörakennus on sijainnut samalla paikalla alueen luoteisreunassa vuodesta 1920 lähtien. Kyllästämöalue on rajattu kuvassa 7 punaisella viivalla ja punainen kolmio osoittaa kyllästämörakennuksen paikan. Alueella on ollut myös pistoratoja valumistasanteineen ja varastoalueineen. Kyllästysaineena on käytetty kreosoottiöljyä, johon lisättiin polttoöljyä juoksevuuden parantamiseksi. Muita kyllästysaineita ei ole tiedettävästi käytetty. Kyllästämön viimeisinä toimintavuosina kyllästetyn puutavaran määrä on ollut noin 15 000 m³/a ja käytetyn kreosoottiöljyn määrä 1 300 m³/a. Kyllästä-

mö joutui lopettamaan toimintansa valtatie 5:den rakentamisen myötä. VT5 kulkee entisen kyllästämöalueen halki niin, että kyllästämörakennuksen paikka jää sen pohjoispuolelle. Kyllästämötoiminnan seurauksena on sekä varsinainen kyllästämölaitoksen alue että varastointialueen maaperä pilaantunut kreosoottiöljyllä. Kyllästystoiminnan lisäksi pilaamista ovat aiheuttaneet mahdolliset vuodot/päästöt ja ennen kaikkea käytetyn kreosoottiöljyn imeyttäminen maaperään. Pohjavesi on pilaantunut kreosoottiöljyllä. Kreosoottiöljyä mitataan PAH- ja mineraaliöljy- sekä fenolianalyyseillä. Kyllästämöalueen niin sanotulle päästöalueelle on arvioitu joutuneen kreosoottia noin 110–140 tonnia, josta 16 tunnistetun PAH-yhdisteen osuus olisi noin 44–45 tonnia. Pohjaveden kulkeutumismatka kyllästämöltä vedenottamolle on noin 1,75 km. Kulkeutumisreitti kaartuu koilliseen vedenottamolle päin. Reitti on esitetty nuolilla kuvassa 7. Tällä hetkellä kyllästämörakennuksen pohjaveden yläpuolinen maaperä on kunnostettu ja paikalle on rakennettu Tokmanni- tavaratalo. Pohjaveden alapuolisen maaperän ja pohjaveden kunnostus on käynnissä. (Järvinen & al, 2007, 2, 6–7, 14, 16; Suunnittelukeskus Oy, 2002, 1.)



Kuva 7. VR:n kyllästämön alue, kyllästämörakennuksen paikka sekä pohjaveden ja PAH-yhdisteiden etenemisreitti vedenottamolle. Sinisellä Rinnekadun Nesteen paikka sekä MTBE:n oletettu etenemisreitti Kattilanharjulle, josta edelleen vedenottamolle.

3.4 Alueella olevat haitta-aineet

Pursialan pohjavesialueella toimineen monipuolisen teollisuuden johdosta maaperään ja pohjaveteen päätyneitä pilaavia aineita on useita. Pursialan pohjavesialueella havaittuja haitta-aineita ovat kloridi, PAH-yhdisteet, kloorifenolit, dioksiinit ja furaanit, torjunta-aineet, sinkki, koboltti, nikkeli, tetrakloorieteeni, bentseeni, BTEX-yhdisteet sekä MTBE. Työn laajuuden vuoksi kaikkia haitta-aineita ei käydä tässä läpi, vaan haitta-aineista käsitellään tarkemmin vain kloorifenolit ja PAH-yhdisteet niiden aiheuttaman suurimman uhan vuoksi.

3.4.1 Kloorifenolit

Pursialan pohjavesialueella tavattavat kloorifenolit ovat peräisin puun sinistymisen estoon käytetystä KY-5-sinistymisenestoaineesta. Sinistymisenestoaineet ovat desinfektioaineiden kaltaisia aineita, joiden tarkoituksena on suojata sahattua puutavaraa sinistäjäsiientä ja hometta vastaan.⁴ Kloorifenoleita sisältävän sinistymisenestoaineen käyttö alkoi Suomessa 1930-luvulla. Suoja-ainetta tuotiin aluksi ulkomailta, mutta vuonna 1938 Kymi-yhtiö kehitti vastaavanlaisen kotimaisen tuotteen, kauppanimeltään KY-5, joka syrjäytti sittemmin 1940-luvulla ulkomaiset valmisteet. Kloorifenolien käyttöä sahatun puun sinistymisenestoon perusteltiin sen huokeudella, vähäisellä tulen arkuudella sekä ylivertaisilla kemiallisilla ja fysikaalisilla ominaisuuksilla. KY-5:n valmistus kiellettiin Suomessa vuonna 1984, kun huomattiin sen aiheuttavan vakavia terveys- ja ympäristöhaittoja. (Aspholm & Rajala, 2003, 5–7.)

KY-5 tuotiin sahoille kiinteänä pulverina 20 kg:n paperi- tai muovisäkeissä ja liuos valmistettiin suoraan veteen. Tavoitepitoisuus oli noin 1–5 %. Suojauksessa on käytetty kolmea eri menetelmää: yksittäis-, sumutus- ja allaskastelua, joista allaskastelu on ollut yleisin. KY-5:ttä on päässyt ympäristöön kastelun yhteydessä, kuljettaessa märkää puunippua välivarastoon sekä välivarastossa erityisesti sateen huuhtoessa lautataapeleita. Myös jätehuollon puutteellisuus on aiheuttanut pilaantumista, kun käsittelyssä käsittelyaltaiden pohjalle kertyneet purut ja sakat on nostettu altaan viereen ja jätetty siihen, poltettu sahan voimalaitoksella tai viety kaatopaikalle tai haudattu lähistölle. Paperi- ja muovisäkit repeytyivät myös herkästi ja jauhetta pääsi valumaan ympäristöön. Liuokset saattoivat puolestaan jäätyä talvella tynnyreissä ja halkaista ne, ja valua maahan leutojen säiden aikaan. KY-5:llä käsiteltyä puutavaraa on käytetty myös höylätavaran raaka-aineena, jolloin puun pinnalla ollut suoja-aine poistui lastun mukana. Sinistymisenestoa harjoittavilla sahoilla suojattiin keskimäärin 40 % tuotetusta sahatavarasta ja suoja-

⁴ Tukkisinistymistä estetään puolestaan varastoimalla puu vedessä tai sadettamalla tukkivarastoja kesäisin. Sadettamisessa käytettyyn veteen saatettiin myös lisätä sinistymisenestoainetta tukkien laadun säilymisen varmistamiseksi. (Eskelinen, 2011.)

ukseen kului noin 0,1–0,3 kg KY-5:tä sahatavarakuutiota kohden. Allassakkaa käsittelyssä syntyi noin 0,1–0,3 l käsiteltyä sahatavarakuutiota kohden. (Aspholm & Rajala, 2003, 6; Pfister et al, 1988, 11.)

KY-5 sisälsi pääasiallisesti 60 % kloorifenoleita, 30 % natriumsuoloja sekä 10 % vettä. Sen sisältämien kloorifenolien tärkeimmät tehoaineet olivat tri-, tetra- ja pentakloorifenolien natriumsuoloja (2,4,6-TCP, 2,3,4,6-TeCP ja PCP). Näitä valmistettiin teollisesti klooraamalla fenoleita tai hydrolysoimalla klooribentseeneitä. Kloorifenolit jakaantuivat KY-5:ssä seuraavasti:

- n. 0,01 % 2,6-DCP:tä,
- n. 0,96 % 2,4-DCP:tä,
- n. 7–15 % 2,4,6-TCP:tä,
- n. 0,06 % 2,4,5-TCP: tä,
- n. 0,04 % 2,3,4-TCP:tä,
- n. 78–83 % 2,3,4,6-TeCP:tä sekä
- n. 6–9 % PCP:tä. (Aspholm & Rajala, 2003, 7.)

Kloorifenolit ovat melko vesiliukoisia aineita ja voivat näin ollen pilata maaperän lisäksi myös pohjaveden. Kloorifenolien kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat kloorifenolin klooriatomien määrä ja paikka fenolirenkaassa, maan happamuus, orgaanisen aineen määrä, sademäärä, pohjaveden virtausnopeus, maan tiiviys ja raekoko sekä kloorifenolien hajoaminen. Kloorifenolin klooriatomin määrä ja paikka fenolirenkaassa määräävät aineen vesiliukoisuuden siten, että mitä enemmän fenoli on kloorautunut, sitä hitaammin kloorifenolimolekyylillä liikkuu ja hajoaa maaperässä. Maaperän ja pohjaveden pH:lla on erityisesti suuri vaikutus kloorifenolien liukoisuuteen. pH:sta riippuen kloorifenolit voivat olla vesiliuoksessa ionisoituneina (kloorifenolaatteina) tai neutraaleina molekyyleinä. Jos veden pH on korkeampi kuin kloorifenolaatin happovakio, on kyseinen kloorifenoli pääasiassa fenolaattina. Kloorifenolaattien liukoisuus on jopa neljä kertaluokkaa suurempi kuin neutraalien kloorifenolien (liukenee siis pohjaveteen) ja liikkuu tästä syystä maaperässä paremmin. Kloorifenoli voi poistua maaperästä yhdisteiden muodossa haihtumalla tai liukenemalla pohjaveteen tai hajoamalla mikrobiologisen toiminnan seurauksena pienempiin osiin. Liitteessä 2 on esitetty kloorifenoli-

en hajoamisreitit aerobisessa ja anaerobisessa ympäristössä. Bakteerit kykenevät mineralisoimaan kloorattuja fenolisia yhdisteitä useita erilaisia reaktioreittejä siten, että mono- ja dikloorifenolit hajoavat parhaiten hapellisissa oloissa reaktion kulkiessa katekolin kautta aromaattisen renkaan purkautumiseen/pilkkoutumiseen ja alifaattisiin dikarboksyylihappoihin. Moniklooriset fenoliset yhdisteet hajoavat hapellisissa oloissa puolestaan parahydrokinonien kautta trihydroksibentseeniksi, josta edelleen aromaattisen renkaan purkautumiseen/pilkkoutumiseen. Hapettomissa oloissa pelkistävän reaktioreitin oletetaan olevan vallitseva. Kloorifenolien täydellisen aerobisen hajoamisen lopputuotteena syntyy vettä, hiilidioksidia ja suolahappoa. Syvemmillä maaperässä kloorifenolien ja sen sisältämien epäpuhtauksien pitoisuudet voivat tosin olla paikoin niin korkeita, että mikrobiologinen hajoaminen estyy. Myös kylmä ilmasto ja aktiivisten mikrobien puute rajoittavat hajoamisprosesseja. Valokemiallinen hajoaminen on myös mahdollista aivan maan pintakerroksessa, muutaman millimetrin syvyyteen saakka. (Aspholm & Rajala, 2003, 6–8; Järvinen, 1996, 6–7; Kitunen et al, 1989, 13; Pfister et al, 1988, 13.)

Kloorifenoliyhdisteet voivat myös muuttua maaperässä toiseksi yhdisteeksi niin, että yhdisteen hiilirunko säilyy silti ennallaan (biotransformaatio). Maaperässä on paljon mikrobeja, erityisesti aktinomykeetti-tyyppin bakteereja, jotka tilaisuuden tullen biometyloivat tai metoksyloivat kloorifenoleja klooratuiksi metoksi- ja dimetoksifenoleiksi tai kloorimetkosibentseeneiksi. Ne ovat huonosti biologisesti hajoavia yhdisteitä, joiden rasvaliukoisuus on huomattavasti suurempi kuin kloorifenolien. Tällaisissa tapauksissa mitattaessa pelkästään kloorifenolienpitoisuutta saatetaan erheellisesti luulla maaperän puhdistuneen kloorifenolipitoisuuden laskeksi. Syntyneet uudet yhdisteet saattavat kuitenkin olla ihmiselle ja ympäristölle haitallisempia kuin alkuperäinen kloorifenoliyhdiste. Muuntumistuotteita ei yleensä osata edes etsiä työ- tai muusta ympäristöstä, jossa kloorifenoleja on käsitelty. Muuntumistuotteet ovat myös riski puhdistettaessa ympäristöä biologisesti, sillä niitä tuottavat samat bakteerit, jotka sopivissa olosuhteissa kykenevät hajottamaan kloorifenolin täydellisesti. (Kitunen et al, 1989, 13, 15, 31, 70.)

Sahoilla käytetyn KY-5:den mukana maaperään joutuneet kloorifenolit ovat painuneet lähelle kallionpintaa, joten niille altistuminen voi tapahtua lähinnä juomalla kloorifenolien pilaamaa vettä. Altistuminen kloorifenoleille voi vaurioittaa sisäelimiä ja ihoa ja saattaa aiheuttaa syöpää, joskin karsinogeenisuudesta ei ole varmaa näyttöä. Lisäksi PCP ja 2,4,6-TCP:n epäillään aiheuttavan haittaa ihmisten lisääntymiselle ja kehitykselle. KY-5:den tehoaineiden LD-50-arvot rotalle suunkautta annettuna ovat 27 mg/kg PCP:tä, 820 mg/kg 2,4,6-TCP:tä sekä 140 mg/kg 2,3,4,6-TeCP:tä. (Aspholm & Rajala, 2003, 7; Kansainväliset kemikaalikortit, 2011.)

KY-5 sisälsi lisäksi kloorifenolien valmistuksessa sivutuotteina syntyneitä epäpuhtauksia, kuten mm. polyklooridibentso-p-dioksiineja (PCDD) ja polyklooridibentsofuraaneja (PCDF) eli lyhyesti dioksiineja ja furaaneja (PCDD/F)⁵, polyklooridifenyylieettereitä (PCDE) sekä polykloorattuja fenoksifenoleita (PCPP). Epäpuhtauksien osuus KY-5:ssä oli tyypillisesti noin 2-3 % siten, että

- PCDD/F oli alle 1 %,
- PCDE: tä 1–2 % ja
- PCPP: ta alle 2 %. (Aspholm & Rajala, 2003, 7.)

Erilaisia PCDD/F-yhdisteitä on yhteensä 210, joista furaanin kongeneereja eli johdoksia on 135 ja dioksiinin kongeneereja 75. Määrällisesti KY-5:ssä olleista PCDD/F-yhdisteistä oli tyypillisesti yli 90 % furaaneja ja loput dioksiineja. Toksikologisesti haitallisimmat dioksiinien ja furaanien kongeneerit ovat sellaisia, joissa klooriatomit ovat ainakin asemissa 2, 3, 7 ja 8. Furaanien kongeneereista tällaisia on kymmenen ja dioksiinien seitsemän. Klooriatomien määrä vaihtelee näissä neljästä kahdeksaan. Dioksiinia, jossa klooriatomit ovat asemissa 2,3,7 ja 8 eli 2,3,7,8-TCDD:tä pidetään myrkyllisimpänä ihmisen syntetisoimana aineena. PCDD/F-yhdisteet luokitellaan hyvin pysyviksi yhdisteiksi. Teoreettinen puoliintumisaika maaperässä on dioksiineille noin kymmenen vuotta ja furaaneille jopa kymmeniä vuosia. Dioksiinit ja furaanit ovat vedessä niukkaliukoisia, eivätkä

⁵ Dioksiineista ja furaaneista voidaan myös käyttää yhteisnimitystä dioksiinit (PCDD/F).

näin ollen leviää maaperässä juurikaan. Maaperään jouduttuaan niiden pääasiallisimmat kulkeutumismekanismit ovat diffuusio ja haihtuminen. Kulkeutumista saattaa edistää dioksiinien ja furaanien sekoittuminen johonkin orgaaniseen faasiin, kuten kloorifenoliin. Vesistöissä PCDD/F-yhdisteet voivat levitä ainoastaan kiintoaineeseen tai liuenneeseen orgaaniseen aineeseen sitoutuneena. Pohjavesien liikaantuminen PCDD/F-yhdisteillä on epätodennäköistä. (Aspholm & Rajala, 2003, 7–10.)

PCDE- ja PCPP-yhdisteistä ja niiden toksisuudesta ei ole juurikaan tietoa. PCDD/F-yhdisteistä tiedetään sen sijaan enemmän. Dioksiinit ja furaanit luokitellaan useissa maissa syöpävaarallisiksi tai ainakin mahdollisesti syöpävaarallisiksi aineiksi. Pysyvinä ja niukkaliukoisina yhdisteinä dioksiinit ja furaanit jäävät sahojen pintamaahan ja altistuminen yhdisteille voikin tapahtua lähinnä kontaktina maapölyn tai itse maan kanssa. PCDD/F-yhdisteiden ihon kautta tapahtuvasta altistuksesta saattaa seurata klooriaknea tai muita ihottumia sekä hermostollisia ja hepatiittisia sairauksia. Arvioiden mukaan alhaisin toksinen pitoisuus ihmiselle on noin 10–100 ng/kg (b.w) ja enimmäispäiväannos 4 pg/kg (b.w.). Puoliintumisajat elimistössä PCDD/F-yhdisteille ovat noin 5–7 vuotta. (Aspholm & Rajala, 2003, 9, 10.)

PCDD/F-yhdisteiden eri kongeneerien myrkyllisyys vaihtelee. Tästä syystä on kehitetty niiden yhteenlaskettua määrää kuvaavia suureita, kuten toksisuusekvivalenttipitoisuuksia tai -määriä (I-TEQ). Eri kongeneereille on omat I-TEQ-kertoimet, joilla kerrottaessa ne saadaan muutettua vastaamaan sitä määrää 2,3,7,8-TCDD:tä, jolla on sama myrkkövaikutus kuin näytteen sisältämällä kongeneerin määrällä. Pitoisuudet ilmoitetaan dioksiinien ja furaanien toksisuusekvivalenttien summana yksikössä I-TEQ pg/g tai I-TEQ µg/g. (Aspholm & Rajala, 2003, 12.)

3.4.2 PAH-yhdisteet

Pursialan pohjavesialueella olevat PAH-yhdisteet (polyaromaattisia hiilivetyjä) ovat peräisin VR:n ratapölkkykyllästämön käyttämästä kreosoottiöljy-nimisestä kyllästysaineesta. Kreosoottiöljy on kivihiilen koksauksesta muodostuvan kivihiilitervan tislauksessa syntynyt vettä raskaampi öljymäinen neste. Se tekee puun sienille, mikrobeille ja hyönteisille ravinnoksi kelpaamattomaksi. Tämän lisäksi se suojaa puuta sään haittavaikutuksilta ja halkeamiselta. Kreosoottiöljyn oletetaan sisältäneen noin 85 % PAH-yhdisteitä ja 15 % heterosyklisiä tai fenolisia yhdisteitä tai monoaromaatteja. Siitä on tunnistettu yli 300 eri yhdistettä ja sen oletetaan sisältävän yli 10 000 yhdistettä. Kreosoottiöljyssä on kuitenkin vain 17:aa yhdistettä tai yhdisteryhmää yli 1 paino- %. Ne ovat naftaleeni ja alkyylinaftaleenit, fenantreeni ja alkyylifenantreenit, asenafteeni, alkyylifenolit, fluoreeni, dibentsofuraani, bifenyylit ja alkyylibifenyylit, fluoranteeni, alkyylibentsofuraanit, pyreeni, antraseeni, bentso(h)tiofeeni, indeeni sekä kinoliini. (Penttinen, 2003, 8, 12; Uljas, 2004, 5–6.) VR:n kyllästämöllä käytetyn kreosoottiöljyn alkuperäisen tarkan koostumuksen selvittäminen on mahdotonta, koska tuolloin käytettyä kreosoottiöljyä ei ole enää saatavilla. Kyllästämörakennuksen alapuolisessa kalliopinnassa olevasta kreosoottifaasista on kuitenkin otettu näyte, jonka mukaan faasissa on n. 33 % fenantreenia, n. 17 % fluoranteenia, n. 16 % asenafteenia, n. 13 % fluoreenia sekä n. 10 % pyreeniä ja 2,5 % tai vähemmän muita tunnistettuja PAH-yhdisteitä. (Järvinen & al, 2007, 12.)

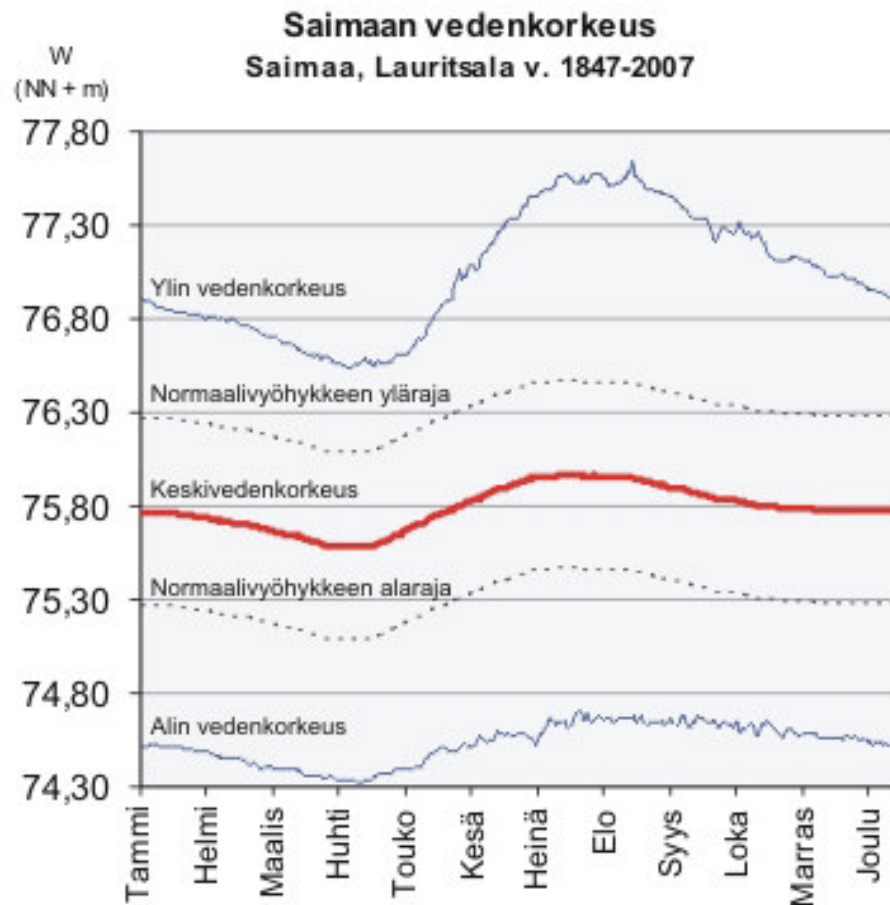
Kreosootti voi jakautua maaperässä vettä kevyempään ja raskaampaan jakeeseen. Kevyt jae liikkuu maaperässä pohjaveden mukana ja haihtumalla. Kulkeutuvia ja haihtuvia ainesosia ovat mm. fenoli, kresoli, naftaleeni, asenaftaleeni, fenantreeni, asenafteeni, fluoreeni, antraseeni ja kinoliini. PAH-yhdisteet koostuvat kahdesta tai useammasta fuusioituneesta bentseenirenkaasta. PAH-yhdisteet ovat kolmeen aromaattirenkaaseen saakka kaikki jossain määrin maaperässä ja pohjavedessä kulkeutuvia. Raskaaseen jakeeseen luokiteltavat yli kolmerenkaiset PAH-yhdisteet kulkeutuvat maaperässä alaspäin, kunnes ne kohtaavat läpäisemättömän kerroksen. Raskaat PAH-yhdisteet sitoutuvat voimakkaasti maan hienoainekseen

ja etenevät tästä syystä hitaasti maaperässä tai pohjavedessä. (Penttinen, 2003, 10, 18; Uljas, 2004, 12.)

Kreosottiöljyn vaarallisuus ihmiselle johtuu mm. joidenkin PAH-yhdisteiden karsinogeenisista ja mutageenisistä ominaisuuksista. PAH-yhdisteet voivat imeytyä elimistöön hengitysteiden, ruuansulatuskanavan sekä ihon kautta. PAH-yhdisteet läpäisevät helposti biologisia kalvoja ja voivat siten kulkeutua kaikkialle elimistöön. (Priha & al, 2010, 15.) Altistuminen kreosottiöljyn sisältämille yhdisteille VR:n ratapölkkykyllästämön tapauksessa voi tapahtua juomalla yhdisteiden pilaamaa pohjavettä. Maaperästä tuleva altistus ei ole enää mahdollinen kunnostuksien ansiosta.

3.5 Saimaan pinnankorkeuden vaihtelu

Mikkelin kaupungin ja Pursialan pohjavesialueen ollessa Saimaan rannalla saa Pursialan pohjavesialue osan pohjavedestään rantaimetymänä Saimaasta. Rantaimetymistä tapahtuu luonnostaan Saimaan pinnan ollessa pohjaveden pintaa korkeammalla. Saimaan pinnanvaihtelua on seurattu jo vuodesta 1847 lähtien Lappeenrannan Lauritsalassa. Tarkkailujen perusteella Saimaan vedenpinta pysyy useimmiten välillä 75–76,5 metriä. Kuvassa 8 on esitetty Saimaan pinnan korkeusvaihtelun keskiarvoja vuodesta 1847 aina vuoteen 2007 saakka. (Suomen ympäristökeskus, 2011.)



Kuva 8. Saimaan pinnan korkeusvaihtelun keskiarvotieto v. 1847–2007 (Suomen ympäristökeskus, 2011).

Vuonna 1991 tulleen Saimaan juoksutussäännön mukaisesti Saimaan pintaa pyritään pitämään Vuoksen juoksutuksen säätelyn avulla kuvassa 8 esitetyn normaalivyöhykkeen ylä- ja alarajojen sisällä. Normaalivyöhykkeeksi kutsutaan aluetta, joka on korkeintaan puoli metriä ajankohdan keskivedenkorkeudesta. Kuvassa näkyvät alin ja ylin vedenkorkeuskäyrä kertovat korkeimmat ja matalimmat havaitut vedenpinnantasot Saimaalla. Sademäärät ovat tärkein yksittäinen tekijä Saimaan pinnan vaihtelussa. Saimaalla voi ilmetä peräkkäisiä vähävetisiä jaksoja tai korkean veden jaksoja. Esimerkiksi vuosina 2002–2003 oli vähävetinen jakso ja vuosina 2005 ja 2007 runsasvetinen jakso. (Suomen ympäristökeskus, 2011.)

Saimaan pinnankorkeus vaihtelee vuodenaikojen mukaan siten, että kesällä tapahtuu haihduntaa, jonka seurauksena vedenpinta laskee loppukesää ja syksyä koh-

den. Syksyllä runsaat sateet ja haihdunnan väheneminen kääntävät vedenpinnan loivaan nousuun tai ainakin hidastavat laskua. Talvella vedenpinta jatkaa edelleen laskua veden sitoutuessa lumeen ja keväällä sulamisvesien aikaan pinta taas nousee. Poikkeuksen tähän tekevät lauhat talvet, jolloin virtaamamäärät ovat suurempia, eikä vettä sitoudu lumeen paljoa. Tällöin Saimaan pinnankorkeudessa ei ole nähtävissä suurta laskua. Tämänhetkisen käsityksen mukaan ilmastomuutoksen myötä Saimaan pinnankorkeus tulee olemaan lauhjojen talvien vuoksi korkeimmillaan talvella ja keväällä, kun taas kesän helteiden vuoksi kesän ja syksyn keskimääräinen vedenpinta tulee laskemaan. (Suomen ympäristökeskus, 2011.)

3.6 Pursialan pohjavesialueella tehdyt tutkimukset

Pursialan pohjavesialueella sattuneisiin maaperän ja pohjaveden pilaantumisiin liittyen on tehty tutkimuksia useiden eri toimijoiden, Mikkelin Kaupungin, Mikkelin Vesilaitoksen, Etelä-Savon ELY-keskuksen, VR:n ja VAPO Oy:n tilauksesta. Tutkimuksia ovat tehneet mm. useat konsulttifirmat. Eniten tutkimuksia on tehty VR:n ratapölkkykyllästämön aiheuttamaan kreosoottiöljypilaantumiseen ja VAPO Oy:n sahan aiheuttamaan kloorifenolipilaantumiseen liittyen.

Kloorifenolitutkimukset saivat alkunsa vuoden 2001 kloorifenolilöydöstä Pursialan vedenottamon raaka- ja talousvedestä. Pilaantumisen lähde ei ollut niin selkeä kuin kreosoottikyllästämön tapauksessa, koska alueella oli sijainnut monta sahaa. Tämän lisäksi VAPO Oy, jonka tiedettiin käyttäneen kloorifenoleita sisältävää KY-5:tä toiminnassaan, kiisti aineen tulemisen alueeltaan vedoten hydraulisen yhteyden puuttumiseen. Vuosina 2001–2010 tehdyillä tutkimuksilla osoitettiin hydraulisen yhteyden olemassaolo ja se, ettei alueella ole ollut muita KY-5:den käyttäjiä. Tämä johti VAPO Oy:n teettämiin tutkimuksiin saha-alueella ja lähitulevaisuudessa valmistuvaan saha-alueen koskevaan kunnostussuunnitelmaan.

3.7 Alueella tehdyt kunnostukset

Tässä kappaleessa käydään Pursialan pohjavesialueella tehdyt tärkeimmät kunnostustoimenpiteet. Kloorifenolipilaantumaaan liittyvä koepumppaus käydään läpi riskienhallinta-kappaleessa.

3.7.1 Mölnlycke:nin nurkka

Pursialan vedenottoalueen koillisosassa sekä vedenottoalueen pohjoiskoillispuolisissa havaintoputkissa havaittiin vuosina 2001–2002 talousvesirajarvot ylittäviä pitoisuuksia kloorifenoleita (tri-, tetra- ja pentakloorifenolit < 10 µg/l) pohjavedestä. Löytö johti tutkimuksiin päästölähteen selvittämiseksi. Epäilyt kohdistuivat tuolloin Mölnlycke Health Care Oy:n kiinteistöllä aikanaan sijainneeseen kaatopaikkaan. Mölnlycken Health Care Oy:n tehdasrakennus on valmistunut vuonna 1969 ja sitä on laajennettu vuosina 1986 ja 2000. Vanhojen tietojen mukaan viimeisimmän laajennuksen luoteiskulman sekä pohjoispäähän rakennetun parkkipaikan alla on sijainnut vanha jätetäyttöalue. Täyttömaiden alkuperästä ei ole tietoa. Tutkimukset kloorifenolien levinneisyyden ja alueen maaperän ja pohjaveden pilaantuneisuuden selvittämiseksi tehtiin vuosina 2003–2004. Kloorifenolilähdettä ei kuitenkaan löytynyt. Sen sijaan alue havaittiin vuosien 2003–2006 tutkimuksien perusteella pilaantuneeksi raskasmetalleilla ja PCP-yhdisteillä. (Massinen & al., 2008, 7.)

Tutkimukset johtivat Mölnlycken tehdasalueen pohjoispään kunnostukseen masanvaihtona 29.9.–6.10.2006. Raskasmetalleilla voimakkaasti pilaantuneita maa-aineksia poistettiin noin 186 tonnia ja raskasmetalleilla lievästi pilaantuneita maa-aineksia noin 2 168 tonnia. (Massinen & al., 2008, 7.) Mölnlycke Health Care Oy:n tehdasrakennuksen alapuolista maaperää ei tutkittu.

3.7.2 Setrimäki: VR:n kyllästämö

Riskitarkastelun pohjalta VR:n kyllästämöalue päädyttiin kunnostamaan ja kunnostus päätettiin tehdä kahdessa vaiheessa, ensin maaperä ja sitten pohjavesi. Pohjaveden pinnan yläpuolinen maaperä kunnostettiin vuoden 2008 kesäkuussa masanvaihdolla. Kunnostuksen aikana kyllästämöalueen maaperästä poistettiin yli 80 000 tonnia PAH-yhdisteillä, mineraaliöljyillä (=kreosoottilla) sekä erilaisilla jätelakeilla pilaantunutta maata. Laskennallisesti on arvioitu, että alueelta poistettiin 12 tonnia PAH-yhdisteitä (16 analysoitua PAH-yhdistettä) ja 2,9 tonnia öljyhiilivetyjä. (Gråsten & al, 2009, 4.) Pohjaveden alapuolella oleville pilaantuneille maille ei voitu tehdä mitään VT5:n ja Savonradan sortumisvaaran takia. Lisäksi pelkona oli saada kreosoottiöljy ja sen sisältämät PAH-yhdisteet liikkeelle.

Pohjaveden alapuolelle jääneen kreosoottifaasin ja kreosoottipitoisen veden poistamiseksi rakennettiin vuonna 2009 kahdeksan porakaivoa ja aloitettiin suojapumppaus. Kaivoista 6 rakennettiin entisen kyllästämörakennuksen kohdalle pilaantumakeskelle (nyk. Tokmannin kellarissa) ja 2 havaitun pilaantumakeskelle eteläosaan VT5:den liuskaan. Suojapumppausta on jatkettu tähän päivään saakka. Pumpattu vesi on johdettu lähistöllä sijaitsevaan Ekokemin vedenkäsittelyyksikköön. Yksikössä vedestä on ensin poistettu painovoiman avulla selkeä kreosoottifaasi ja sen jälkeen vesi on käsitelty kemiallisen hapetuksen, UV-käsittelyn ja aktiivihiihliuodatuksen yhdistelmällä ja johdettu edelleen viemäriin. Kreosoottifaasia ei ole saatu pumpattua kunnolla ylös, eikä puhdistuminen ole edennyt oletettua nopeutta. 28.2.2011 mennessä pilaantunutta pohjavettä on käsitelty noin 13 800 m³ ja hiilivetyjä on poistettu yhteensä 84 kg. Käsitellyn veden PAH-pitoisuus on pysynyt alle ympäristöluvassa mainitun 50 µg/l. (Kiukas, 2011a, 4–5.)

Yhtenä syynä kreosoottifaasin heikkoon pumppaustulokseen voi olla pumppukaivojen väärä paikka. Varmaa tietoa tästä ei kuitenkaan ole. Tärkein syy on kuitenkin huonoliukoisten yhdisteiden hidas kulkeutuminen, mikä puolestaan on hyvä asia vedenottamon kannalta (Järvinen, 2011). Vuoden 2011 kesäkuussa on tarkoitus päättää pumppauksen jatkamisesta sekä muista mahdollisista jatkotoimenpiteistä (Kiukas, 2011b). Mahdollisia jatkotoimenpiteitä saattaisivat olla tehostettu

pumppaus, biohajoamisen vyöhyke, sade- ja sulamisvesien maaperän huuhtelemisen estävät bentoniittimatosta tai ohutmuovista tehdyt lisäeristykset sekä suoja-pumppausvyöhyke (Järvinen & al, 2007, 37, 33, 40).

3.7.3 Saimaankadun kaatopaikka

Saimaankadun alla ja sen läheisellä suolla Pursialan vedenottamon kohdalla on sijainnut pienimuotoinen kaatopaikka aina 1950-luvun lopulle saakka. Sitä osattiin ruveta etsimään historiatietojen ja kuulopuheitten perusteella. Jätetäyttö paikallistettiin vuosina 2007 ja 2008 suoritettujen ympäristötekniisten tutkimusten perusteella ja sen maaperä todettiin paikoin pilaantuneeksi PAH-yhdisteillä, öljyhiilivedyillä ja raskasmetalleilla. Rakennus- ja sekajätettä havaittiin noin 1–9 metrin paksuisessa kerroksessa. Ympäristö ja terveysriskien pienentämiseksi alue päätettiin kunnostaa. (Gränsten, 2011; Penttinen, 2010; Kiukas, 2011b; Rautio, 2011.)

Kunnostaminen toteutettiin massanvaihtona 17.11.2009–3.2.2010. Kaivu ulotettiin Saimaankadulla sekä Saimaankadun penkereessä perusmaahan saakka ja jätejakeita sisältäviä massoja ja pilaantunutta maata poistettiin yhteensä 12 722 m³ ktd / 18894,24 tonnia. Jätteet vietiin Metsäsairila Oy:n jätekeskukseen. Perusmaa todettiin kenttämittauksin ja laboratorioanalyysin pilaantumattomaksi eli kunnostukselta saavutettiin tältä osin asetetut tavoitetasot (Valtioneuvoston asetuksen 214/2007 mukaiset haitta-aineiden kynnsarvotasot). (Penttinen, 2010.)

Suoalueen reunaan (noin 390 m²) jäi kuitenkin arviolta noin 400 m³ itd / 600 tonnia jätetäyttöä ja pilaantunutta maa-ainesta. Siihen ei puututtu, sillä kunnostuksessa olisi ollut riskinä suonpohjan tiiviin pohjakerroksen puhkeaminen, mikä olisi saattanut johtaa suoaltaan vesien valumiseen suoraan vedenottoalueen pohjaveiteen. Tiivis pohjakerros olisi voitu puhkaista vahingossa kaivujen yhteydessä ylhäältä päin. Jos taas suoalueen vedenpintaa olisi laskettu kuivaamistarkoituksessa, olisi ollut vaarana, että suoalueen ympäristössä olevan pohjaveden paine olisi murtanut tiiviin suonpohjan alhaalta päin. Suoalueen reunan kunnostus arvioitiin siten teknisesti mahdottomaksi toteuttaa riskittävästi, eikä tätä riskiä haluttu ot-

taa. Ympäristö- ja terveystriskit saatiin Saimaankadun kaatopaikan osalta kuitenkin suurimmaksi osaksi poistettua. Toteutetuista kunnostuksista ei todettu aiheuttuvan haittaa tai muutoksia pohjaveden laatuun. (Grånsten, 2011; Penttinen, 2010; Kiukas, 2011b; Rautio, 2011.)

3.7.4 Rinnekadun Neste

Urpolan kaupunginosassa kaupungin omistamalla tontilla sijainnut Rinnekadun Neste luokiteltiin vuonna 2008 riskialttiiksi toiminnaksi pohjavedelle, eikä sen vuokrasopimusta enää jatkettu. Tässä yhteydessä alueen maaperä kunnostettiin massanvaihdoilla. Huoltoasematoiminta oli pilannut maaperää ja alueen pohjavettä öljyhiilivedyillä. Lisäksi epäillään, että Rinnekadun Nesteeltä olisi kulkeutunut bensiinin lisäainetta MTBE:tä Pursialan vedenottamolle (ks. kuva 7). Kohteessa on tehty aiemminkin kunnostuksia. Vuosina 1996–2001 maaperää kunnostettiin huokosilmatekniikalla ja vuonna 1997 massanvaihdoilla. (Rautio, 2009.)

4 TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Haitta-aineiden kulkeutumisen ymmärtämisen ja hallinnan kannalta on ensiarvoisen tärkeää hahmottaa pilaantumatapaus kolmiulotteisesti sekä tietää pilaantuma-alueen ympäristölliset olosuhteet. Tästä syystä kappaleessa käydään ensin läpi kallioperätietojen ja näytteenottotietojen perusteella laadittu kalliopainannetta ja kloorifenolien leviämistä kuvaava 3D-pienoismalli sekä tutkimuksen aikana saadut tiedot maaperästä, kallioperästä ja pohjavedestä Pursialan alueella. Edellä mainitut tiedot ovat kerätty kloorifenolien leviämisen ymmärtämiseksi. Tämän jälkeen käydään läpi kloorifenoleihin liittyvät tulokset ja tulosten tulkinta, PAH-yhdisteet sekä muut haitta-aineet.

4.1 Pienoismallin rakentaminen

Pienoismallin tarkoituksena oli parantaa käsitystä alueen kallionmuodoista ja kloorifenolien sijoittumisesta sekä kulkeutumisesta alueella. Pienoismallin teki Juha Rautio. Vaadittavat kartat laadittiin Iiro Kiukaan avustuksella ja mallin tekemisessä oli apuna Hannu Rautio. Pienoismalli on tehty horisontaalisessa suunnassa mittakaavaan 1:1 000 ja vertikaalisessa 1:200 korkeuserojen esiin saamiseksi. Pienoismalliin tarvittavat tiedot saatiin Ramboll Finland Oy:ltä, Mikkelin Vesilaitokselta sekä Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertasta.

Pienoismallin rakentaminen alkoi oikeanlaisten materiaalien hankkimisesta. Mallin pohjaksi hankittiin Tokmannilta 100 x 40 cm kokoinen liimapuulevy. Leikkausten materiaaliksi hankittiin G-levy ja puulta huonekalujen taustalevyä, koska se oli samanvahvuista kuin sirkkelin terä ja hyvin työstettävää. Havaintoputkia ja kaivoja kuvaamaan hankittiin askarteluliike Aspolasta puukeppejä. Lisäksi Aspolasta hankittiin myös tarvittavat maalit ja pensselit.

Mallin työstö alkoi kartan ja poikkileikkausten sekä pohjavesiputkien ja kaivojen paikkojen jäljentämisellä puulevyllä. Poikkileikkaukset (13 kpl) piirrettiin kohtisuoraan havaintoputkien M14 – 78 – 18 muodostamaan linjaan nähden. Tämän jälkeen poikkileikkausten urat (syvyys 1 cm) sahattiin sirkkelillä poikkileikkauk-

sia esittävien levyjen sijoittamista varten. Urien tekeminen väänsi levyä sen verran, että sitä päätettiin oikaista kolmella alapuolelle tulevalla puurimalla. Samalla tehtiin myös reiät pylväsporakoneella havaintoputkille (syvyys 1 cm). Kaivojen tiedot saatiin myöhemmin, joten niiden paikat jouduttiin tekemään käsiporakoneella.

Seuraavaksi siirryttiin valmistamaan poikkileikkauksia. Leikkauslevyihin piirrettiin ensin korkoviivat siten, että täydet kymmenet tulivat sinisellä ja puolikkaat mustalla tussilla. Uuraan menevä sentti otettiin tässä vaiheessa huomioon. Kaikki leikkaukset alkavat korosta + 35.00. Lisäksi poikkileikkauksiin merkittiin keski-kohta mustalla viivalla. Poikkileikkaukset nimettiin aakkosten mukaan sahalta päin alkaen (A–A, B–B, C–C... ja niin edespäin). Leikkausten paikat selviävät liitteen 3 kartasta. Liitteen 3 kartta tehtiin yhteistyössä Ramboll Finland Oy:n Iiro Kiukkaan kanssa. Leikkauksen tiedot ja mittakaava merkittiin leikkauksen vasempaan alalaitaan. Tämän jälkeen paperille tulostetut leikkauskuvaajat siirrettiin levyille, leikkaamalla ensin paperilla oleva kallionpinta ja maanpinta näkyviin ja sen jälkeen piirtämällä lyijykynällä pinnat levyille. Tämän jälkeen leikkaukset työstettiin valmiiksi kuviosahalla. Maanpinnan alapuolelle jätettiin vahvikkeeksi kaistale levyä. Kaikkien leikkauksien kohdalta ei ollut saatavissa samalta 20 cm leveydeltä tietoja (leikkaukset A–A, L–L ja M–M), joten ne loppuvat muita aikaisemmin. Leikkaus loppuu joko pystysuoraan seinämään tai leikkauksen reunalla olevaan mustaan pystyviivaan. Missään kohdassa ei siis ole täysin pystysuoraa kallionseinämää. Poikkileikkauslevyt asetetaan malliin siten, että niiden keskiviiva osuu havaintoputkien M14 – 78 – 18 muodostamalle linjalle.

Leikkausten jälkeen oli vuorossa havaintoputkien ja kaivojen teko. Putkista valittiin suorimmat, jotka katkottiin oikean mittaisiksi jättäen sentin uppoamisvara toiseen päähän ja noin kahden sentin pitoisuuden merkintävara toiseen päähän. Putkiin merkittiin eri korkotiedot lyijykynällä, jonka jälkeen näytteenottokohdille porattiin noin 1 mm reiät ja siivilän ylä- ja alapään kohdalle tehtiin puukolla lovet. Kaivoissa näytteiden on ajateltu tulevan siivilän puolivälistä, missä pumppu sijaitsee. Tämän jälkeen putkiosat maalattiin harmaalla ja maanpinnan ja kallionpinnan korot mustalla maalilla.

Kloorifenolinäytetiedoista tehtiin Excel-taulukko, johon koottiin kaikkien putkien eri koroista otetut kloorifenolinäytetiedot. Näistä tiedoista jalostettiin malliin kiinnitettävät pitoisuustiedot. Mikäli putkesta tietystä korosta oli otettu vain yksi näyte, tuli taulukkoon merkintä maksimi (lyhennettiin muotoon max) ja mikäli näytteitä oli useampi merikittiin sekä maksimi että minimi (lyhennettiin muotoon min). Jos näytteitä oli riittävästi niin, että keskiarvon ottaminen oli mielekästä ja järkevää, lisättiin siihen kohtaan myös keskiarvotieto (lyhennettiin muotoon ka). Eri pitoisuudet väritettiin taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Pienoismallissa käytetyt kloorifenolipitoisuuksien värikoodit.

$x > 10\ 000\ \mu\text{g/l}$
$10\ 000\ \mu\text{g/l} > x > 1000\ \mu\text{g/l}$
$1000\ \mu\text{g/l} > x > 100\ \mu\text{g/l}$
$100\ \mu\text{g/l} > x > 10\ \mu\text{g/l}$
$x < 10\ \mu\text{g/l}$

Taulukko tulostettiin ja päällystettiin molemmiin puolin kontaktimuovilla, minkä jälkeen näytetiedot leikattiin sopivan kokoisiksi lapuiksi ja rei'itettiin kiinnitystä varten. Laput kiinnitettiin ohuella rautalangalla oikeisiin putkiin ja oikeisiin korkoihin. Seuraavaksi putken yläpää maalattiin putkesta mitatun kovimman pitoisuuden värillä. Näin pelkällä silmäyksellä pystyisi saamaan kokonaiskuvan kloorifenolien leviämisestä.

Viimeiseksi maalattiin pohjakartta siten, että rakennukset tulivat mustalla ja vesistöt sinisellä. Maaperä jätettiin puunväriseksi, koska kontrasti säilyi silloin parempana. Malliin meinattiin laittaa myös pohjavedenpintatiedot sekä putkien kohdan maaperätiedot. Malli olisi kuitenkin mennyt sen verran sekavaksi, että tästä ajatuksesta luovuttiin.

Valmiissa mallissa leikkaukset ja pohjavesihavaintoputket sekä kaivot ovat ikään kuin nostettu ylös maasta. Leikkaukset ja pohjavesihavaintoputket sekä kaivot ovat irrotettavissa ja niitä voi tarkastella kokonaisuudesta erillään ja tarpeen tullen vaihtaa paremmin todellisuutta kuvaavaan versioon, jos tarkempaa tietoa tulee

ilmi. Tämän hetken kalliopintatiedot ovat tietokonemallilla lasketut, joten niissä voi esiintyä pieniä virheitä. Kokonaisuuden kannalta virheet ovat tuskin kuitenkaan merkityksellisiä.

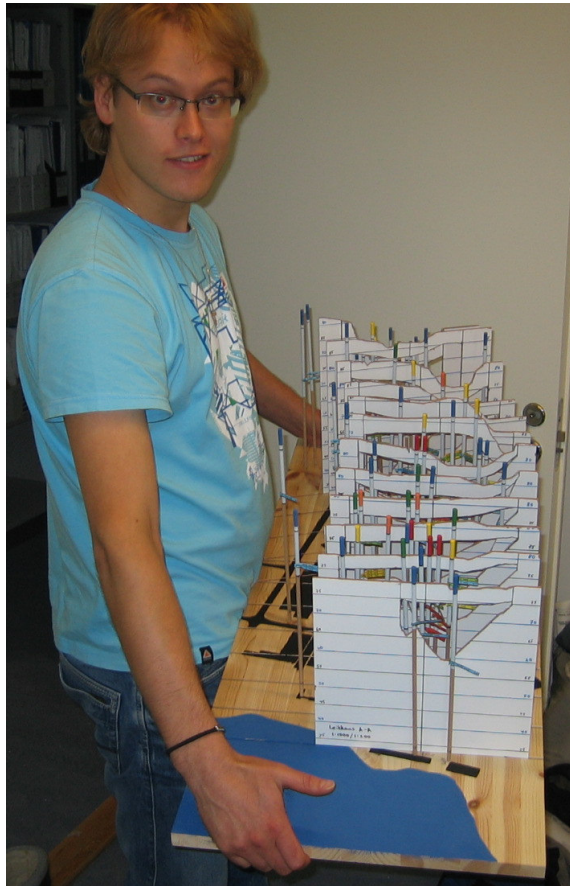
Mallia esiteltiin eri asiantuntijoille ja se saavutti yleistä hyväksyntää. Sen avulla pystyttiin miettimään paremmin Pursialan tilannetta, joten sen käyttötarkoitus onnistui. Kuvissa 9 ja 10 sekä 11 on esitelty pienoismallia eri suunnilta kuvattuna.



Kuva 9. Pienoismalli kuvattuna eteläsuunnasta.



Kuva 10. Pienoismalli kuvattuna yläpuolelta.



Kuva 11. Pienoismalli kuvattuna itä-länsisuunnassa pienoismallin tekijän kanssa.

4.2 Pursialan maaperä

Tutkimusten perusteella maaperä on Mölnlycken ympäristöstä vedenottamolle saakka hyvin johtavaa sora- tai hiekka-ainesta. Mölnlyckeltä sahalle päin mentäessä esiintyy huonosti johtavampaa maamateriaalia, mutta kuitenkin niin, että on selvästi nähtävissä hyvin johtavien kerrosten jatkuminen aina vedenottamolta sahan KY-5-altailta saakka. Maa-aineksien pakkautuneisuudesta ei ole tietoa. Liitteenä 4 on esitetty eri havaintoputkien kohdalla olevat maaperälaadut sekä kloorifenolien sijoittuminen suhteessa maakerrokseen. Molempia kuvataan värikoodein. Kloorifenolien suhteen käytettiin samoja värikoodeja kuin pienoismallissa. Liitteenä 3 olevassa kartassa on esitetty keltaisella värillä hyvin johtavat kohdat (>50 % pohjavedenalaisesta osuudesta johtavia maalajeja) ja sinisellä heikosti johtavat kohdat (ei johtavia maalajeja) sekä sinikeltaisella johtavat kohdat (50 % > johtavia kerroksia > 0 %). Maaperätiedot saatiin ympäristötiedon hallintajärjestelmä Hertasta ja Ramboll Finland Oy:n putkikorteista. Osa tuloksista on saatu kairaus-

tietojen perusteella ja osa näytteiden perusteella. Maaperätietoja ei ole saatavissa kaikista havaintoputkista, mutta käytössä olleet tiedot ovat edustavasti eri puolilta tutkimusaluetta.

Tulosten perusteella matkalla sahalta vedenottamolle esiintyy tasaisesti putkia (M16, 89, 93, SPK1, 92, 77, 79, 80, ML1, ML2, 61, 66, 64, 65, 50C, 49B), joiden kohdalla maaperä on suurimmaksi osaksi (yli 50 %) hyvin johtavia maalajeja (hiekkä, sora). Hyvin johtavien kerrosten paksuus vaihtelee runsaasti (1–22 m), mutta sijaitsee pääosin välillä +60–+70 (N60). Maaperän vedenläpäisykyky voi siis olla koko kalliopainanteen alueella paikoitellen hyvä.

Toisaalta matkalla sahalta vedenottamolle esiintyy myös putkia, joissa ei kairaustietojen perusteella esiinny ollenkaan hyvin johtavia kerroksia. Putkien 70, 71, 72, 73, VHP1, VHP2 sekä HP11 kairaustietojen mukaan maaperä on putkien kohdalla vettä johtamatonta tai huonosti johtavaa ja koostuu pääosin hienosta hiekasta, silttimoreenista, silttisestä hiekasta, savisesta siltistä, siltistä, hiekkamoreenista, silttisestä moreenista sekä moreenista (ei ole tarkemmin määritetty). Noin 80 % niistä putkista, joista oli maaperätiedot kallioperään saakka, viimeinen kerros ennen kalliota oli moreeni tai muu heikosti johtava tai johtamaton maakerros.

Putkien 85 ja 85 A kairaustietojen mukaan maaperä koostuu putkien kohdalla vettä huonosti johtavista maalajeista, moreenista (85) ja hienosta hiekasta (85 A), kun taas putkien vieressä olevan suojapumppauskaivon (SPK1) maaperä on suurimmaksi osaksi hiekkaa (vettä hyvin johtavaa). Maalajien jyrkät muutokset ovat mahdollisia maaperässä, mutta tässä tapauksessa putket sijaitsevat hyvin lähellä, joten on syytä epäillä 85 ja 85 A putkien kairaustietojen oikeellisuutta. Kaivoja tehtäessä maaperä tutkitaan tarkemmin kuin havaintoputkia asetettaessa, joten kaivon teon yhteydessä saadut maaperätiedot ovat luotettavampia. On siis todennäköistä, että tällä kohtaa maaperä johtaa hyvin vettä. Tämä omalta osaltaan osoittaa myös sitä, että maakairausten tuloksiin on suhtauduttava kriittisesti. Tietojen tarkkuus ja luotettavuus riippuvat kairaajan ammattitaidosta. Tästä huolimatta niitä voidaan pitää suuntaa-antavina.

4.3 Pursialan kallioperä

Pienoismallin perusteella on nähtävissä selvä sahalta vedenottamolle päin laskeutuva kalliopainanne. Saha-alueen ja vedenottamon kalliopintojen välinen korkeusero on noin 20 metriä. Kalliopainanne käy ilmi myös liitteenä 5 olevasta GTK:n tekemästä kalliopintakartasta. Kartassa esitetty kalliopinnan topografia on interpoloitu eri tutkimusmenetelmillä saaduista tuloksista. Kallioperä kalliopainanteen kohdalla on liitteenä 6 olevan kuvan mukaan kiillegneissiiä, jossa rakoilu on luultavasti ainakin osittain painanteen suuntaista niin, että kaato (kaltevuus) on rakoilun suunnasta vasemmalle ja noin 55° – 65° vaakatasosta alaspäin. Rakoilulla tarkoitetaan levymäistä rakoa kallioperässä, joka jatkuu horisontaalisessa ja vertikaalisessa suunnassa. Rakoilua kuvataan mustalla viivalla ja kaatoa kolmiolla ja aste-luvulla. Molemmille puolilla viivaa oleva kolmio kuvaa pystysuoraa rakoilua. Kallioperäkartassa olevat valkoiset kohdat ovat vesistöjä, siniset kohdat kiillegneissiiä, ruskeat kvartsi- tai granodioriittia ja keltaiset diopsidipitoista kvartsi-maasälpagneissiiä. Lappeenrannantien ja Anttolan tien risteyksen Mikkelin keskustan puolelle jäävistä näkyvillä olevista kalliroleikkauksista ei voida tehdä suorja johtopäätelmiä kalliopainanteen kallion laadusta, sillä kallioperäkartan mukaan kalliot ovat eri laatua.

Pursialan maaperässä voi olla myös siirtolohkareita, kuten esimerkiksi leikkausten A-A ja B-B kohdalla. Tässä kohtaa pienoismallin kalliopinnoissa on selkeästi havaittavissa terävä kärki, joka voi johtua siihen kohtaan osuneesta siirtolohkareesta. Kalliopainanteen vieressä oleva siirtolohkarekalliomuodostelma kieli myös siirtolohkareiden mahdollisesta esiintymisestä maaperässä. Pienoismallin perusteella putkien 85 ja 85 A kohdalla on puolestaan havaittavissa kalliokynnys. Alueella ei ole tehty kalliosydänkairauksia. Kalliosydänkairauksen avulla kallioperästä saadaan jatkuva lieriömäinen kallionäyte. Näytteestä voidaan määrittää tarkka kalliopinnsijainti, tehdä havaintoja kivilaaduista ja rakoilusta ja mikäli näytteet otetaan suunnattuna, saadaan selville myös kalliorakoilun ja liuskeisuuden suunta (Heikkilä & al, 1983, 53; Mälkki, 1999, 142; Takala, 2011).

Kallioperästä voidaan tehdä myös havaintoja kallioräjäytysten yhteydessä. Pursialan kaupunginosassa tullaan tänä kesänä madaltamaan ESE:n tontin kulman kalliopintoja noin neljä metriä räjäyttämällä (Lauhakari, 2011). Kallio sijaitsee aivan sahalta vedenottamolle kulkevan painanteen reunalla. Tällöin voisi olla so-piva tilaisuus tutkia kallioperää kloorifenolipilaantumaa silmällä pitäen.

4.4 Pursialan pohjavesialueen pohjavesi

Vuosina 2007–2010 tehtyjen mittausten perusteella pohjaveden pH:n on Pursialan alueella noin $6,4 \pm 0,51$. Pohjaveden pH-tiedot saatiin Ympäristötiedon hallinta-järjestelmä Hertasta. Ramboll Finland Oy:n vuosina 2009–2010 tekemien pohja-veden lämpötila- ja happipitoisuusmittausten perusteella pohjaveden lämpötila on keskimäärin $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ja happipitoisuus $0,69 \text{ mg/l}$. Molempien muuttujien kohdalla on havaittavissa hienoista nousua talvea kohti, minkä voi olettaa johtuvan kesällä ja syksyllä sataneen lämpimän ja happipitoisen sadeveden viiveellä näkyvästä vaikutuksesta ts. hitaasta kulkeutumisesta pohjaveteen tai rantaimetyneen veden lämpötilojen hitaista muutoksista. Tulosten perusteella pohjaveden lämpötila ja happipitoisuus laskevat mentäessä syvemmälle maaperään. Alueen pohjavesissä on runsaasti rautaa ja mangaania sekä aggressiivista hiilihappoa. Ravinnetilannetta kalliopainanteen pohjavedessä ei ole tutkittu.

4.5 Kloorifenolit

Tulevissa kappaleissa käydään läpi saatuja tuloksia kloorifenolien levinneisyydestä, määristä, olomuodosta, hajoamisesta, pitoisuuksien pulssimaisuudesta, kloorifenolien etenemisen luonnollisista esteistä sekä kloorifenolipitoisen pohjaveden virtausnopeuksista. Lisäksi tarkastellaan Pursialan ja Kärkölän kloorifenolipilaantumien yhtäläisyyksistä ja eroavaisuuksia ja muita tutkimuksissa esiin nousseita huomionarvoisia seikkoja.

4.5.1 Kloorifenolien levinneisyys

Tutkimusten perusteella on varmistunut, että Pursialan pohjavedessä esiintyvien kloorifenolien lähde on VAPO Oy:n entisen saha-alueen KY-5-altaan ympäristö. Pohjavedessä esiintyvien kloorifenolien koostumus vastaa KY-5:ssä ollutta kloorifenolien koostumusta, eikä alueella ole ollut muita KY-5:den käyttäjiä. Lisäksi hydraulisen yhteyden olemassaolo sahan ja vedenottamon välillä on varmistunut.

Kloorifenolien leviäminen Pursialan vedenottamolle tapahtuu pohjaveden mukana sahalta vedenottamolle kulkevaa kalliopainannetta pitkin. Reitti on pääpiirteissään selvä, vaikkakaan yksityiskohtaista etenemisreittiä ei vielä tunneta. Pohjaveden ja sen mukana liikkuvien kloorifenolien liike voi olla maaperässä niin pienipiirteistä, että voi olla mahdottomuus löytää tarkka kulkeutumisreitti. Reittejä voi olla myös useita, esimerkiksi useamman eri korkeudella olevan johtavan maakerroksen tai kalliorakojen kautta. Kalliossa voi olla hyvin johtava reitti haitta-aineille, vaikka alueen maaperä olisikin heikosti vettä läpäisevää.

Kalliopainanne ja kloorifenolin leviäminen näkyy pienoismallista otetuissa kuvissa 9–11. Kloorifenolien levinneisyyttä suhteessa kalliopainanteeseen on esitetty myös liitteinä 7 ja 8 olevissa kartoissa. Liitteen 7 kartassa kloorifenolin leviäminen on esitetty maalaamalla pohjavedenhavaintoputken kohta putkesta mitatun maksimikloorifenolipitoisuuden (kaikki tämänhetkiset kloorifenolitulokset) värikoodilla (samat värikoodit kuin pienoismallissa). Kalliopinnat ovat esitetty vihreän ja sinisen eri sävyillä. Kartta laadittiin yhdessä Ramboll Finland Oy:n Iiro Kiukkaan kanssa. Liitteen 8 kartassa on esitetty kloorifenolien levinneisyys mittauksien (vuoteen 2010 saakka kertyneet tulokset) perusteella tehdyn kolmi-
oinnin avulla. Kloorifenolipitoisuudet näyttävät kartassa pienemmiltä kuin pienoismallissa esitetyt, sillä malli on piirtänyt leviämiskuvaajan keskiarvojen perusteella. Kloorifenoli on ilmaistu värikoodeilla. Värikoodit ovat erilaiset kuin pienoismallissa. Kallionpinnat on esitetty kartassa käyrillä. Kartan on laatinut Ramboll Finland Oy:n Timo Massinen.

Toisen mahdollisen lähteen olemassaoloa on myös epäilty, joskin asiasta ei ole saatu vahvistusta. Myös tässä tapauksessa kloorifenolien alkuperä on VAPO Oy:n sahan käyttämä KY-5-kemikaali, sillä alueella ei ole ollut muita KY-5-sinistymiseneston harjoittajia. Kloorifenolit olisivat tällöin peräisin jätetäyttöihin (esimerkiksi Mönlycken nurkka, G-levy ja puun alustäyttö) sahalta tuoduista allassakoista sekä KY-5-säkeistä/tyynyreistä. G-levyn ja puun kiinteistön omistaja ei ole antanut lupaa rakennuksen alapuolisen maaperän tutkimiseen. Mönlycke Health Care Oy valmistaa sairaalatuotteita, joten tilojen täytyy olla steriileitä, eikä kairauksia tästä syystä pystytä tekemään rakennuksen sisältä päin. Vinokairaus (max 45°) lienee ainoa mahdollisuus tutkia Mönlyckenin rakennuksen alapuolista maaperää. Tosin sillä ei saada selvyyttä mahdollisista alustäytöissä olevista kloorifenoleista. Kairaus toisi kuitenkin lisäinformaatiota kohdan kloorifenolipitoisuuksista.

Suurin kloorifenolipitoisuus noin 100 000 µg/l on mitattu vuosina 1954–1983 käytössä olleen KY-5-altaan kohdalle asennetun M14-pohjavesiputken pohjasta. Talousvesiasetuksen raja-arvo kloorifenolille on 10 µg/l, eli KY-5-altaan kohdalla on kloorifenoleita 10 000 kertainen määrä raja-arvoon nähden. Sahan ja vedenottamon puolivälissä, G-levyn ja puun nurkalla, olevista putkista 85 ja 85 A on puolestaan havaittu yli 10 000 µg/l meneviä CP-pitoisuuksia (1 000 kertainen määrä raja-arvoon nähden). Suurin kaivoista mitattu pitoisuus 149 µg/l (10 kertainen määrä raja-arvoon nähden) on mitattu kaivosta 10. Myös kaivoista K 3PN6, K2PN1 ja K4,1 on havaittu talousvesiasetuksen ylittäviä CP-pitoisuuksia. Eteläpuolen kaivoalueen kaivoista ei ole havaittu kloorifenoleita. Pohjoisella puolella on 8 kaivoa ja eteläpuolella 3. Jakotukilta raaka-vedestä otetuissa näytteissä tai talousvedessä ei ole kuitenkaan havaittu talousvesiasetuksen ylittäviä pitoisuuksia.

Sahan alueella suurimmat kloorifenolipitoisuudet ovat lähellä kallionpintaa, kun taas vedenottamolle päin mentäessä ei ole enää havaittavissa niin suuria pitoisuuseroja pinnan ja pohjan suhteen. Sahalla kloorifenolia on ilmeisesti niin paljon, että kaikki ei liukene pohjaveteen, vaan osa painuu vettä painavampana lähelle kallionpintaa. Virtaava pohjavesi huuhtelee ilmeisesti vähitellen kloorifenoleita saha-alueelta ja kloorifenoli levittäytyy tasaisemmin pohjavesipatjaan. Kaivoalueella ei

ole tosin yhtään kallionpintaan ulottuvaa pohjavesiputkea⁶, joten kloorifenolien mahdollisesta kerrostuneisuudesta kaivoalueella ei ole tietoa. Kaivoalueelle tai sen lähistöön esimerkiksi putken ML3 paikalle voisi olla järkevää asentaa kallionpintaan ulottuva pohjavesiputki. Tällöin saataisiin selville kaivoalueen pohjan kloorifenolipitoisuudet ja kloorifenolien mahdollinen kerrostuneisuus. Toisaalta, jos tutkimuksissa osoittautuisi, että kaivoalueella olisikin jokin kloorifenolikertymä, saattaisi olla mahdollista, että sen tutkiminen aikaansaisi kloorifenolien leviämisen kaivoihin. Lisäksi Ramboll Finland Oy:n pohjavesiasiantuntija Jarmo Koljonen piti epätodennäköisenä, että pohjavedenottamoalueella olisi suuria pitoisuuksia kloorifenoleita lähellä kallionpintaa (Koljonen, 2011). Putkien 85 ja 85 A kohdalla pohjavedessä on havaittavissa suurempia pitoisuuksia ja kloorifenolien kerrostuneisuutta, mikä viittaa siihen, että kyseisellä alueella on runsaasti kloorifenoleita.

Osa kloorifenoleista voi liueta veden mukaan ja osa vaipua kallionpintaan ja kulkeutua eteenpäin kallionpinnalla tai kallionraoissa. Jotta voitaisiin tarkemmin sanoa, missä kerroksissa kloorifenoli sijaitsee/liikkuu, täytyisi näytteitä ottaa kaikkien kallionpintaan ylettyvien putkien pohjalta ja johtavien kerrosten kohdalta. Tulosten perusteella pohjavedenhavaintoputkista 50C, 54, 64, 66, 70, 71, 73, 74, 76, 79, 85A, ML2, 89 (L2/2), HP6, HP9, HP10, M8, M15, M16, VHP1 sekä VHP2 ei ole otettu näytteitä putken pohjasta. Pohjasta otettu näyte on tässä tapauksessa ajateltu olevan alle 2 metrin etäisyydellä kallionpinnasta. Tulosten perusteella kaikista alueen havaintoputkista ei ole otettu näytteitä johtavimmista maakerroksista (ks. taulukko 3). Mahdollinen virhe korostuu otettaessa näytteitä sulkupumpulla, jolloin vesi tulee lähinnä⁷ siitä kerroksesta, missä pumppukin on.

⁶ Kaivot on rakennettu vettä johtavimpaan kerrokseen saakka, joten ei ole ollut tarvetta päästä kalliopintaan saakka.

⁷ Putken ulkopinnalla voi esiintyä myös pientä muista maakerroksista pumpulle tulevaa pohjaveden virtausta.

Taulukko 3. Johtavien maalajien korkotasot, mistä ei ole otettu näytteitä.

Putki	Korko	Maalaji
75	75,47–70,97	Sr
76	64,65–61,35	Hk
80	67,28–64,78	Hk
87	66,97–61,47	Hk
91	69,69–65,89	Sr
M8	65,44–64,44	Hk
M15	60,64–59,64	Hk
M16	66,14–63,14	Hk
M18	70,36–65,36	Hk,Sr,Ki

4.5.2 Kloorifenolimäärät

KY-5:den käyttömäärästä ei ole olemassa tarkkoja tietoja. Iiro Kiukkaan käyttömäärien perusteella tekemän karkean arvion mukaan VAPOn koko toiminta-aikana käyttämä KY-5-määrä on ollut noin 15,5–46,5 tonnia (Kiukas, 2004, 7–8). KY-5 sisälsi noin 60 % kloorifenoleita (Aspholm & Rajala, 2003, 7), joten VAPOn OY on käyttänyt toiminnassaan noin 9,3–27,9 tonnia kloorifenoleita.

KY-5-liuoksen tavoitepitoisuus oli noin 1–5 %, joten kloorifenolien suhteen liuoksen tavoitepitoisuus oli siis 0,6–3 %. Oletetaan, että liuos olisi ollut kloorifenolien suhteen 3 %:sta eli toisella tapaa ilmaistuna 30 000 000 µg/kg. Oletetaan lisäksi, että yhden liuoskilon tilavuus olisi 1 dm³ eli 1 l. Tällöin liuoksen pitoisuus voidaan ilmoittaa muodossa 30 000 000 µg/dm³ eli 30 kg/m³. Jos KY-5:den käyttömäärä olisi ollut Iiro Kiukkaan ylemmän arvion mukainen 46,5 tonnia ja siitä 60 % kloorifenoleita eli 27,9 tonnia, olisi kloorifenolien tilavuus ollut 930 m³. Kun sinistymisenestoa harrastettiin yhteensä 32 vuotta (1954–1986), olisi kloorifenolien käyttömäärä vuositasonalla ollut keskimäärin noin 29 m³/a. Koska 29 m³/a = 0,03 * x, on KY-5-liuoksen vuodessa käytetty kokonaismäärä noin 970 m³. Mikäli KY-5-allas olisi ollut tilavuudeltaan 8 m * 4 m * 3 m = 96 m³, se tarkoittaisi sitä, että kesässä käytetty KY-5-liuoksen kokonaismäärä olisi ollut noin 10 altaallista. Al-

taan oletettu syvyys on 3m, altaan oletettu leveys 4 metriä ja altaan oletettu pituus 8 metriä.

KY-5-käyttömääriä voidaan tarkastella myös tuotettujen sahatavarakuutioiden perusteella. Mikkelin vesipiirin vuonna 1983 tekemän sahatiedustelun mukaan VAPO Oy:n Mikkelin sahan vuosittainen tuotettu sahatavaramäärä on ollut 8 100 m³/a. Sinistymisenestoa harjoittaneilla sahoilla suojattiin yleensä noin 40 % tuotetusta sahatavarasta ja sahatavarakuutiota kohden kului noin 0,3 kg KY-5:sta (Aspholm & Rajala, 2003, 6; Pfister et al, 1988, 11). Mikäli oletetaan vuosittaisen tuotetun sahatavaramäärän pysyneen koko toiminta-ajan eli 32 vuotta samana, saadaan kloorifenolien käyttömääräksi

$$0,4 \cdot 0,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,6 \cdot 8100 \text{ m}^3/\text{a} \cdot 32 \text{ a} = 18\,662,4 \text{ kg} = 19 \text{ tonnia}$$

Tulos vastaa siis suuruusluokaltaan Iiro Kiukaan käyttömäärien perusteella esittämää arviota kloorifenolien käyttömäärästä. Myös tässä arviossa käytetään liuoksen kloorifenolipitoisuudesta 30 kg/m³, jolloin saadaan käytetyn kloorifenolien määrä kuutioina 622 m³. Vuodessa käytetty kloorifenolien määrä olisi siis ollut noin 19 m³/a. KY-5-liuoksen vuodessa käytetty kokonaismäärä on noin 648 m³ ja vuodessa käytettyjen KY-5-liuosaltaallisten määrä noin 7 kappaletta. Molemmilla tarkastelutavoilla saadaan samoja suuruusluokkia olevat tulokset, joten voidaan olettaa käyttömääräarvioiden olevan oikeaa suuruusluokkaa.

KY-5-käsittelyssä syntyi allassakkaa noin 0,1–0,3 litraa per käsitelty sahatavarakuutio (Aspholm & Rajala, 2003, 6; Pfister et al, 1988, 11). Mikäli oletetaan, että 32 toimintavuoden aikana puun tuotantomäärät ovat olleet vuoden 1986 tiedustelun mukaiset, eli 8 100 m³/a ja tästä 40 % käsiteltiin KY-5:llä, syntyi allassakkaa vuodessa noin 324–972 l (0,3–1 m³/a) ja koko toiminnan aikana yhteensä noin 31 104–10 368 l (10,4–31,1 m³). Jos allassakka olisi painanut yhden kg/l, olisi allassakkaa syntynyt koko toiminnan aikana noin 10,4–31,1 tonnia. Todennäköisesti allassakka painoi kuitenkin enemmän (suurempi tiheys), joten syntyneen allassakan paino on suurempi.

Maaperään joutunut kloorifenoli on pääosin pohjaveteen liunneena. Pieniä määriä kloorifenoleita voi olla myös sitoutuneena maaperään. Pohjaveteen joutuneiden kloorifenolien määrästä ei ole tehty arviota, joten tämän tutkimuksen tavoitteena oli esittää myös karkea arvio pohjaveteen joutuneesta kloorifenolimäärästä. Kloorifenoleita on joutunut maaperään ja edelleen pohjaveteen KY-5-altaan ylivalmisesta, kastellusta puutavarasta tippumalla, KY-5-altaan tyhjentämisestä maaperään sekä säkkien ja tynnyrien ja allassakan hautaamisesta ympäristöön.

Taulukossa 4 on arvioitu kalliopainauksen eri kohdissa pohjavedessä olevan kloorifenolin määriä. Taulukon kloorifenolitiedot kerättiin siten, että kalliopainanne jaettiin ensin yhteentoista 200 m x 60 m alueeseen, jotka jaettiin edelleen neljään eri alueeseen; saha-alueeseen (alue 1), sahan kiinteistöltä Mölnlyckenin nurkalle olevaan alueeseen (alue 2), Mölnlyckeniltä vedenottoalueelle ulottuvaan alueeseen (alue 3) sekä vedenottoalueeseen (alue 4). Alueiden putkista saaduista mittauksista (eri korot) otettiin maksimipitoisuuksien keskiarvot, joista otettiin edelleen aluekohtaiset keskiarvot. Kloorifenolin ajateltiin jakautuvan tasaisesti kyseisille alueille ja jokaiselle alueelle saatu keskiarvopitoisuus kerrottiin alueen tilavuudella. Tilavuuden laskemiseen tarvittava korkeus saatiin vähentämällä alueen korkeimmalta otetun näytteenottotuloksen korosta alueen putkien kalliopintatiedoista saatu keskiarvo. Kaivoalueella ei ollut käytössä kalliopintatietoja kaivojen kohdalta, joten alueen korkeudet arvioitiin pienoismallin perusteella. Tarkasteluun sisältyy huomattavia yksinkertaistuksia ja niistä seuraavia epävarmuuksia, joten tulokset ovat vain karkeasti suuntaa antavia. Tarkastelussa ei ole huomioitu maaperän huokoisuutta, vaan koko tilavuus on ajateltu olevan vettä. Lisäksi alueet saattavat olla joissakin kohdissa liian isoja ja taas toisessa kohtaa pitoisuudet liian pieniä.

Taulukko 4. Eri leikkausvälien pohjavedessä olevan kloorifenolin määrä kg.

	Leikkausväli	Havainto-putkien CP-pit. ka. [µg/l]	CP-pit. [kg/m ³]	A [m ²]	Maaperän korkeus [m]	V [m ³]	CP-massa [kg]	[%]
Alue 1	A-A – C-C	5232,67	0,00523267	24000	13	312000	1630	45,4
Alue 2	C-C – G-G	1093,56	0,001093561	48000	16	768000	840	23,4
Alue 3	G-G – K-K	1179,97	0,001179976	42000	22	924000	1100	30,3
Alue 4	K-K – M-M	46,8	4,67655E-05	24000	28	672000	30	0,9
						Yht.	3600	

Tulosten perusteella sahalla käytetystä kloorifenolimäärästä noin 13–39 % on päässyt ympäristöön (Kiukkaan arvioimasta käyttömäärästä) ja tästä vain noin 1 % on kulkeutunut vedenottoalueelle. Varautuminen vedenottamalla ei saisi siis perustua pelkästään tällä hetkellä vedenottoalueella havaittuihin korkeimpiin kloorifenolien pitoisuuksiin, vaan vedenottamalla täytyy varautua vielä huomattavasti suurempiin pitoisuuksiin. Mikäli koepumppauksen ajatellaan keränneen kloorifenoleita sisältävää pohjavettä vain alueelta kaksi, on ylös saatu 69 kg noin 8 % alueella 2 olleesta kloorifenolimäärästä.

Mikäli sahan KY-5-altaan lähiympäristössä eli noin 60 m x 50 m kokoisella alueella, olisi kloorifenoleita kovin mitattu pitoisuus eli 100 000 µg/l 7,5 m matkalla kalliopinnasta maaperää kohti (tällä välillä tavattu yli 10 000 µg/l meneviä pitoisuuksia), olisi sahan alueella noin 2 250 tonnia kloorifenoleita. Taulukossa olevassa arviossa on käytetty suurempaa pinta-alaa ja pienempää pitoisuustasoa, mutta siinäkin on päästy puolentoista tonnin tulokseen. Voidaan siis puhua karkeasti parin tonnin luokkaa olevasta määrästä kloorifenoleita. Mikäli tämä määrä kloorifenoleita lähtisi sahalla liikkeelle ja jakaantuisi nykyistä vastaavissa osuuksissa (42,8 %, 55,6 %, 1,6 %) seuraaville alueille (2,3,4) olisi vedenottoalueella eli leikkausten K-K ja M-M välillä noin 63 kg kloorifenoleita, leikkausten G-G ja K-K välillä 2 202 kg ja leikkausten C-C ja G-G välillä noin 1696 kg.

4.5.3 Kloorifenolienolomuoto

Veden pH:sta riippuen kloorifenolit voivat olla vesiliuoksessa joko ionisoituneina eli kloorifenolaatteina tai neutraaleina molekyyleinä. Kloorifenolit ovat pääasiassa fenolaatteina, mikäli kloorifenolin happovakio on pienempi kuin veden pH. Kloorifenolaatit voivat olla neljä kertaluokkaa liukoisempaa kuin neutraalina molekyylinä esiintyvä kloorifenoli. (Järvinen, 1996, 7–8.) Vuosina 2007–2010 tehtyjen mittausten perusteella pohjaveden pH oli Pursialan alueella noin $6,4 \pm 0,51$. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että monokloorifenolit ovat kaikki neutraaleina molekyyleinä. Dikloorifenoleista 2,3-DCP, 2,4-DCP, 2,5-DCP, 3,4-DCP ja 3,5-DCP ovat neutraaleina molekyyleinä ja 2,6-DCP:stä on osa kloorifenolaatteina. Trikloorifenoleista 3,4,5-TCP on neutraaleina molekyyleinä ja 2,3,6-TCP sekä 2,4,6-TCP ovat suurelta osalta kloorifenolaatteina. 2,4,5-TCP on osalti kloorifenolaattina. 2,3,4-TCP:n happovakio on eri tutkimuksissa ollut välillä 6,5–7,2 joten pienemmällä happovakiolla (6,5) 2,3,4-TCP esiintyy suurelta osin kloorifenolaatteina ja suuremmalla happovakiolla (7,2) pelkästään neutraaleina molekyyleinä. 2,3,5-TCP:stä ei ole tiedossa happovakiota. Tetrakloorifenoleista 2,3,4,5-TeCP ja 2,3,4,6-TeCP ovat suurelta osin kloorifenolaatteina. 2,3,5,6-TeCP:n happovakiosta ei ole tietoa. PCP on lähes kokonaan kloorifenolaatteina.

KY-5:den pääkomponentit 2,4,6-TCP ja 2,3,4,6-TeCP sekä PCP esiintyvät tuloksien perusteella pohjavedessä lähes täysin kloorifenolaatteina, aivan kuten Kärkölänkin tapauksessa. Kärkölän pohjaveden pH oli välillä 6–7 (Järvinen, 1996, 7).

4.5.4 Kloorifenolien hajoaminen

Lämpötila- ja happipitoisuustuloksien perusteella kloorifenolien hajoaminen ja muuntuminen pohjavedessä on todennäköisesti hyvin vähäistä. Kloorifenolien anaerobinen hajoaminen pääsee vauhtiin vasta lämpötilan ylittäessä $+35\text{ °C}$ ja on alle $+10\text{ °C}$ niin hidasta, ettei se tule tässä tapauksessa kysymykseen. Aerobiselle hajotukselle sen sijaan riittää, kun lämpötila on plussan puolella ja pohjavedessä on ylipäättään happea sekä hajottajamikrobeja ja ravinteita. Aerobisen hajoamisen rajoittavaksi tekijäksi muodostuu kuitenkin hapen vähäisyys. Pohjaveden niukka

happitilanne on nähtävissä myös pohjavesinäytteitä otettaessa. Pohjavedestä otettu näyte on kirkasta vielä sitä pullotettaessa, mutta muuttuu nopeasti väriltään ruskeaksi pohjaveteen liunneen raudan päästessä kosketuksiin ilman hapen kanssa ja saostuessa. Mikäli pohjavedessä olisi hajotustoimintaan riittävästi happea, rauta olisi saostuneena jo näytettä otettaessa. Aerobinen hajotustoiminta voi myös kuluttaa pohjaveden hapen ja aikaansaada hapettomat pohjavesiolosuhteet, aivan kuin pienissä lammissa/järvissä saattaa käydä talvella. Aerobinen toiminta vaatii toimiakseen myös ravinteita, fosforia ja typpeä, joiden puuttuminen voi myös estää hajotustoiminnan. Kloorifenolien hajoaminen ja muuntuminen pohjavedessä tai maaperässä on Ramboll Finland Oy:n kemianasiantuntijan Kimmo Järvisen mukaan todennäköisesti hyvin vähäistä (Järvinen, 2011).

Vedenottamon hiukkassuodattimissa voi puolestaan olla olosuhteet aerobiselle hajotustoiminnalle sikäli, että raakavesi hapetetaan raudan sakkaamisen edistämiseksi heti jakotukin jälkeen. Näin ollen pohjavedessä on runsaasti happea hajotustoimintaa varten. Hiukkassuodattimessa tapahtuvaa kloorifenolien hajoamista ei kuitenkaan tunneta kunnolla.

2000-luvun alussa raakavedestä ja verkostovedestä otettujen mittausten perusteella havaittiin, että kloorifenolipitoisuudet pienenevät Pursialan vedenottamon vedenkäsittelyprosessissa. Kloorifenolien poistumista vedenkäsittelyprosessissa tutkittiin vuonna 2004 suunnittelukeskuksen toimesta. Raakavettä pumpattiin tuolloin ainoastaan kloorifenoleita sisältävistä kaivoista, joten tilanne kuvastaa huonoa tilannetta kloorifenolien suhteen. Sekä vanhalla että uudella puolella lähtevän veden kloorifenolien summapitoisuus täytti tuolloin talousvedelle asetetun laatuvaatimuksen $<10 \mu\text{g/l}$. Tutkimusten perusteella päädyttiin siihen tulokseen, että kloorifenolit poistuvat hiekkasuodatuksen yhteydessä. Hiekkasuodatukseseen on ilmeisesti aikojen saatossa syntynyt bakteerikanta, joka pystyy hajottamaan kloorifenolit biologisesti. Uudella puolella poistuminen tapahtui paremmin kuin vanhalla. Tähän voi olla syynä vanhan puolen alhaisempi kokonaisfosforipitoisuus ja korkeampi pH. Särkilampeen johdettava hiekkasuodatuksen huuhteluvesi sisälsi pieniä pitoisuuksia kloorifenoleita, mutta tutkimuksen perusteella hiekkasuodatusyksikön huuhtelu ei kuitenkaan vaikuttanut kloorifenolien poistumiseen mer-

kittävästi. Muilla vedenkäsittelyprosesseilla ts. ilmastuksella eikä saostuksella havaittu olevan vaikutusta kloorifenolien pitoisuuteen. Biologisen hajoamisen täydellisyys voitaisiin varmistaa mahdollisten hajoamistuotteiden analysoinnilla. (Peltonen & Pääkkönen, 2004.) Tähän ei kuitenkaan ole ryhdytty, koska määrittämissä rajat eivät ole riittävän alhaiset luotettavaan kvantifiointiin.

Tutkimuksissa pyrittiin myös selvittämään, voivatko Mikkelin pohjavesien tyypilliset ominaisuudet runsas veteen liunneen raudan ja mangaanin sekä aggressiivisen hiilihapon määrä, vaikuttaa kloorifenolien liukoisuuteen tai liikkuvuuteen (esimerkiksi hiilihappo irrottamalla kloorifenoleita ja rauta ja mangaani sitomalla kloorifenoleita itseensä). Ramboll Finland Oy:n kemian asiantuntija Kimmo Järvisen mukaan hiilihappo on niin heikko happo, ettei sillä ole vaikutusta kloorifenolien liukoisuuteen/liikkuvuuteen, vaikka se olisikin aggressiivista. Järvinen ei uskonut myöskään raudan tai mangaanin vaikuttavan kloorifenolien liukoisuuteen/liikkuvuuteen. (Järvinen, 2011.)

4.5.5 Kloorifenolipitoisuuksien pulssimaisuus

Kloorifenolin mittaustuloksissa (putkista 66, 65, 78, 79, ML1, ML2, 85, 85A, 88, 89, 90 ja HP5) on havaittavissa sahalta vedenottamolle asti isoja heittoja saman mittauspisteen (sama putki ja sama korko) tuloksissa. Tuloksien heilahtelu on nähtävissä liitteessä 9 esitettyssä kloorifenolin mittaustuloksista tehdyssä taulukossa. Taulukkoon on otettu havaintopisteiden eri näytteenottokoroista saadut viisi suurinta ja viisi pienintä kloorifenolipitoisuuden arvoa. (Kaikista ei ollut otettu kymmentä arvoa, jolloin otettiin ne mitä oli saatavissa) Tuloksissa nähtävä kloorifenolipitoisuuksien raju heilahtelu on johtanut epäilyyn, että kloorifenolit etenevät maaperässä pulssimaisesti. Pulssimaisuuden voi aiheuttaa esimerkiksi

- a) Saimaan pintojen vaihtelu ja sen seurauksena rantaimetyneen veden vaihteleva määrä
- b) Hulevedet
- c) Kemialliset muutokset maaperässä / pohjavedessä
- d) Vedenoton muutokset

- e) Mahdollisten orsivesiesiintymien / hetkellisten orsivesiesiintymien aikaansaamat vesipulssit
- f) Haitta-aineen ominaisuudet

Pulssimaisuus voi johtua edellä mainittujen tekijöiden laimentavasta tai liuottavasta vaikutuksesta, joista ensimmäinen tarkoittaa kloorifenolien pitoisuuksien laskua ja jälkimmäinen nousua. Pulssimaisuuden ymmärtäminen voi olla avainasemassa kloorifenolien hallinnan kannalta.

Tämän työn tuloksien perusteella vaikuttaisi siltä, että Saimaanpinnan nousu alentaa kloorifenolipitoisuuksia Mölnlycke Health Care Oy:n rakennuksesta vedenottamolle päin ja sahalle päin mentäessä nostaa. Liitteessä 10 on esitetty esimerkkinä putkien 78 ja 85 mittaustuloksista saadut kuvaajat. Tarkastelu ulotettiin koko kalliopainanteen alueelle aina sahalta vedenottamolle ja siihen kuuluivat putket 65, 66, 78, ML1, ML2, 79, 85, 85A, 87, 89, 91, HP5. Tarkastelu ajanjakso oli 2001–2011. Saimaan pintatiedot saatiin Ympäristötiedon hallintajärjestelmä Her-tasta ja ne oli mitattu Ristiinassa. Kloorifenolitiedot saatiin Ramboll Finland Oy:n tietokannoista.

Tulos voi selittyä sillä, että vedenottamon lähistöllä on luonnollisesti suuret virtaamat ja saha-alueella pienet, eli pitoisuuksien nousun kannalta vedenottamon lähistöllä on liikaa laimentavaa vettä ja sahan alueella liian vähän kloorifenoleita mukaansa irrottavaa vettä. Kun Saimaan pinta nousee, laimentavia vesiä tulee rantaimetymänä Pursialanlahdesta vedenottamon alueelle enemmän ja seurauksena pitoisuudet pienenevät. Saimaan pinnan noustessa myös Pappilanselästä rantaimetyy vettä enemmän ja saha-alueen läpivirtaavan veden määrä kasvaa, mikä lisää kloorifenolilähdettä huuhtelevien vesien määrää. Uusi vesi ikään kuin työntää kloorifenoleita liikkeelle ja pitoisuudet nousevat. Paikanpäällisen silmämääräisen tarkastelun perusteella vaikuttaisi siltä, että sahan ranta on kivikkoinen ja sorainen, mikä voi tarkoittaa sitä, että rantaimetyymisen olosuhteet ovat hyvät. Rantaimetyminen sahalla tapahtuu tutkimusten perusteella kuvan 12 mukaisesti lähdealueen sivusta. Kloorifenolilähde ei siis altistu suoralle rantaimetyyneen veden huuhdonnalle, vaan siitä lähtevä kloorifenoli valuu alaspäin vedenottamo kohti,

kunnes kohtaa rantaimetyneen vesivirran ja lähtee sen mukana kohti vedenottoa.



Kuva 12. Pappilanselästä rantaimetyvän veden kulkureitti.

Saimaan pinnan laskiessa vedenottamon lähistön vesimäärä pienenee ja laimentavien vesien määrä vähenee, jolloin pitoisuudet nousevat. Saha-alueella puolestaan läpivirtaavan veden määrä vähenee ja klorifenoleita liikkeelle paneva voima pienenee, jolloin myös pitoisuustasot pienenevät.

Karttatarkastelun sekä paikanpäällä suoritetun silmämääräisen tarkastelun perusteella vaikuttaisi siltä, että kalliopainanteen alue on suurelta osin asfaltoitu ja rakennusten peitossa, joten imeytyvien hulevesien määrä alueella on todennäköisesti pieni. Tosin kalliopainanteen reunalla on pieni suojeltu siirtokivilohkare/kalliomuodostuma, johon päätyneet sadevedet imeytyvät varmasti nopeasti maaperään. Putkien 74, 75, 94 pienet klorifenolipitoisuudet voivat olla seurausta viereisen siirtokivilohkare/kalliomuodostuman kautta tulleista laimentavista vesistä. Karttatarkastelun mukaan suurin osa sadevesiverkostosta johtaa hulevedet Saimaaseen. (Kartassa ei tosin näkynyt kiinteistöjen omat sadevesiverkostot, jotka voivat laskea suoraan maaperään.) Muutama pienempi putkisto purkaa vetensä

suoraan maaperään Pursialan kadun varrella. Putkistot ovat tehty pääasiassa betonista (myös muovisia putkia löytyy ja yksi valurautainen). Vanhin betoniputki on asennettu 1957 Laitoskadun ja Pursialan kadun viereen. Betoniputkien laskennallinen ikä on Mikkelin kaupungin kaupunkiympäristön suunnittelijan Antero Cedeströmin mukaan noin 50 vuotta. Muoviputket ovat vielä niin uusia, ettei niiden tarkkaa käyttöikää tiedetä. Valurautaputkille laskennallinen käyttöikä on suunnitelleen sama kuin betoniputkille. Cedeströmin mukaan on suurempi todennäköisyys, että putkia joudutaan vaihtamaan kapasiteetin tarpeen kasvun takia kuin, että putkien käyttöikä saavutettaisiin ja putket jouduttaisiin kulumisen takia vaihtamaan. (Cedeström, 2011.) Sadevesiverkoston kunto voi olla huono jo asennusvaiheessa, koska niiden kanssa ei olla niin tarkkoja kuin esimerkiksi jätevesiviemärien kanssa. Putkistossa voi esiintyä halkeamia jo asennusvaiheessa ja routa voi myös talvella murjota putkistoa, eikä ole mahdottomuus vaikka hapan sadevesi syövyttäisi putkistoon reikiä. (Rautio, 2011.) Tässä valossa ei voi kokonaan pois sulkea sadevesien mahdollisesti aikaansaamaa tai vahvistavaa vesipulssia pohjaveteen. Alueen ojien pohjien kuntoa ei selvitetty.

Maaperän tai pohjaveden kemiallisten muutoksien aikaansaamat muutokset kloorifenolien liikkuvuudessa ovat ainakin periaatteessa mahdollisia. Sateen mukana tullut vesi on hapanta, mikä voi aiheuttaa pohjaveden pH:n laskua ja kloorifenolien muuttumista kloorifenolaateista neutraaleiksi molekyyleiksi. Vedenotonvaikutuksia ei tiedetä. Ramboll Finland Oy:n pohjavesiasiantuntijan Jarmo Koljosen mukaan orsivesiesiintymien / hetkellisten orsivesiesiintymien esiintyminen alueella on epätodennäköistä maaperätietojen perusteella (Koljonen, 2011).

Pulssimaisuus voi johtua myös kloorifenolien jostain tuntemattomasta ominaisuudesta, esimerkiksi kloorifenolien tavasta liikkua (pohjaveteen liuenneena tai osittain liuenneena) maaperässä. Rambollin kemianasiantuntijan Kimmo Järvisen kokemuksen mukaan tapauksissa, missä kloorattuja liuottimia on päässyt pohjaveteen, on ollut havaittavissa pulssimaisuutta. (Järvinen, 2011.)

Ramboll Finland Oy:n pohjavesiasiantuntija Jarmo Koljosen ja kemianasiantuntija Kimmo Järvisen mukaan Saimaan pintojen vaihtelulla on todennäköisesti suurin

vaikutus kloorifenolienpitoisuuksien pulssimaisuuteen. Muiden tekijöiden vaikutuksen arvioidaan nykyisten tietojen pohjalta olevan hyvin vähäisen. (Järvinen, 2011; Koljonen, 2011.)

4.5.6 Luonnollisia hidasteita kloorifenolien etenemiselle

Kloorifenolien hitaan etenemisen syitä Pursialassa voivat olla:

- a) kalliopainanteen kautta virtaavan pohjaveden määrä
- b) siirtyvä vedenjakaja sahalla
- c) maaperän johtavuus
- d) kalliokynnykset
- e) maaperä suurelta osin asfaltoitu tai rakennusten alla
- f) muutokset kloorifenolien liukoisuudessa

Kalliopainanteen kautta sahalla vedenottamolle tulevan pohjaveden virtaus on todennäköisesti pientä, eli kyseessä on sivuvirtaus päävirtauksen tullessa Kaihuharjua pitkin. Lisäksi Pappilanselästä rantaimetyntynyt vesi ei tutkimusten perusteella tule suoraan saha-alueen edessä olevasta ranta-alueesta, vaan vähän sivusta, jolloin kloorifenolilähde ei altistu suurille huuhtovan veden määriille. Tutkimuksissa on havaittu, että sahan rannassa on siirtyvä vedenjakaja, joka jakaa Saimaan vettä maalle päin Saimaan pinnan ollessa pohjaveden pintaa korkeammalla ja vastaavasti alueen pohjavettä Saimaaseen päin Saimaan pinnan ollessa pohjaveden pintaa matalammalla. Tämän johdosta alueella ei ole jatkuvaa rantaimetyntymistä, josta tullut vesi huuhtelisi sahan alueen kloorifenoleita vedenottamo kohti. Myös maaperän johtavuus on paikoitellen melko huono, minkä vuoksi pohjaveden virtaus voi olla hidasta. Kalliopintatietojen perusteella näyttäisi siltä, että 85- ja 85 A-havaintoputkien kohdalla on kalliopainanteessa kallion muodostama kynnyks, mikä voi olla yksi syy etenemisen hidastamiseen. Kloorifenolien hakeutuessa vettä raskaampana kallionpintaan voi tällainen kalliokynnyks pidättää sen etenemistä. Asfaltin ja rakennusten ansiosta puolestaan hulevedet eivät pääse siinä määrin huuhtelemaan maaperää kuin jos maaperä olisi avoin. Myös tuntemattomat muutokset kloorifenolien liukoisuudessa voivat olla yksi tekijä etenemisen hidastamisessa.

4.5.7 Kloorifenolipitoisen pohjaveden virtausnopeudet

Pohjavesi virtaa Pursialan pohjavedenottamolle pääosin Kaihunharjun ja Moision suunnasta. Pursialan suunnasta vedenottamolle tulee ilmeisesti pieni sivuvirtaus. Virtaavista vesimääristä tai pohjaveden todellisista virtausnopeuksista kalliopainanteen alueella ei ole tietoa. Vedenoton tai pulssimaisuuden vaikutusta virtausnopeuksiin ei ole tutkittu.

Pöyryn vuonna 2010 tekemän tutkimuksen mukaan pohjaveden virtaussuunta on KY-5-altailta etelään, eikä virtausta tapahdu juurikaan Saimaan suuntaan. Samaisen tutkimuksen mukaan virtausaika KY-5-käsittelypaikalta kiinteistön rajalle kestää yli kaksi vuotta virtausnopeuden ollessa noin 0,2 m/d. (Valo & al, 2010.) Arviossa on oletettu, että maalajit alueella ovat vain silttiä tai moreenia, mikä ei tämän tarkastelun valossa vaikuta oikealta arviolta, vaan alueella on myös johtavampia kerroksia. On siis mahdollista, että pohjavesi virtaa kiinteistön rajalle nopeammin. Lisäksi tutkimukset ulottuvat vain sahan entisen kiinteistön rajalle, eivätkä siis anna koko tapauksen ymmärtämisen kannalta riittävästi tietoa.

Mikäli pohjavesi virtaisi sahalta vedenottamolle pohjavedenhavaintoputkien VHP3, 88, 87, 79, 78 ja 63 sekä parhaiten johtavien maakerrosten kautta, olisi pohjaveden virtausaika näennäisellä virtausnopeudella laskettuna sahalta vedenottamolle noin 2,5 vuotta ja todellisella virtausnopeudella laskettuna alle vuoden. Tarkastelussa oletettiin pohjaveden pintojen muuttuvan välillä 78–63 saman verran kuin välillä 79–78. Hydraulisen johtavuuden arvoina käytettiin välillä VHP3–88 sekä välillä 88–87 arvoa $K=0,001$ m/s ja välillä 87–79 arvoa $K=0,01$ m/s ja välillä 709–78 sekä välillä 78–63 arvoa $K=0,1$ m/s.

4.5.8 Yhtäläisyydet ja eroavaisuudet Kärkölän kloorifenolipilaantumansa kanssa

1970-luvulla perustettu Kärkölän Kukonmäen vedenottamo jouduttiin sulkemaan kloorifenolipilaantumisen vuoksi vuonna 1987. Pilaantuma paljastui Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin (Hevy:n) velvoitetarkkailuun liittyvien vuosina 1986–

1987 tehtyjen maaperän ja pohjaveden kloorifenolitutkimusten ansiosta. Vedenottamon vedestä mitattiin noin 10 kertainen määrä kloorifenoleita verrattuna lääkintöhallituksen suositteluun raja-arvoon 10 µg/l. Pilaantumisen oli aiheuttanut noin 800 metrin päässä vedenottamolta sijainnut sinistymisenestoa KY5:dellä vuosina 1930–1984 harjoittanut Koskinen Oy:n saha. Kloorifenoleita sisältävää KY5-valmistetta oli käytetty sahalla noin 7 000–10 000 kg/a. Kloorifenoleiden tarkkoja päästöajankohtia ja päästömääriä ei tiedetä. Käytöstä johtuvien KY-5-päästöjen lisäksi KY-5:ttä on joutunut maaperään sahan palon vuoksi vuonna 1976. Suurimmat pohjaveden kloorifenolipitoisuudet, noin 100 000 µg/l, ovat kalliopainanteessa lähellä kallionpintaa kohtalaisesti ja hyvin vettä johtavissa maakerroksissa. Kloorifenolit ovat päässeet liikkumaan pohjaveden mukana kalliopainannetta pitkin vedenottamolle. Kallionpinta viettää sahalla vedenottamolle päin ja kalliopintojen korkeusero on noin 27 metriä. (Nystén, 1993, 3, 34, 48, 57.)

Maaperä koostuu kalliopainanteen alueella heikosti vettä johtavista hienorakeisista maalajeista, jotka syvemmällä vaihtuvat hiekaksi ja moreeniksi. Vettä hyvin johtavien maakerrosten osuus kasvaa sahalla Kukonmäen vedenottamolle päin. Pohjavedenpinnan alapuoliset hyvin vettä johtavien maakerrosten paksuudet vaihtelevat 1–30 metrin välillä. Sahan ja vedenottamon välillä pohjaveden pinta on keskimäärin 4–10 metrin syvyydellä maanpinnasta ja enimmillään pohjavesikerroksen kokonaispaksuus on noin 30 metriä. (Nystén, 1993, 45, 50–52, 57.)

Pohjavesialueen tehokas huokoisuus on keskimäärin 0,35 ja pitkittäisen ja poikittaisen vedenjohtavuuden suhde (Tyy/Txx) on 1,0. Alueen pitkittäinen dispersiiviteetti on 7 metriä ja poikittaisen ja pitkittäisen dispersiiviteetin suhde on 0,5. (Nystén, 1993, 56.)

Pohjavesi on sahan ja vedenottamon välillä maaperässä olevan vettä läpäisemättömän savikerroksen vuoksi osittain paineellinen. Pohjaveden pH on välillä 6–7, joten kloorifenolit ovat pääasiassa liukoisemmassa muodossa eli kloorifenolaatteina. Sahan ja lautatarhan alueelta otettujen maanäytteiden suurimmat pitoisuudet olivat melko pieniä, sahalla 7,9 mg/kg ja lautatarhalla 6,0 mg/kg. Kloorifenolipitoisen pohjaveden kyllästämästä maaperästä ei havaittu kloorifenoleita. Kukkon-

mäen vedenottamon pumppausmäärien vuosikeskiarvot olivat noin 484–1005 m³/d. Vuosina 1981–1987 keskimääräinen vedenotto oli 572m³/d. (Nystén, 1993, 3, 34, 39, 50–52, 54, 57, 61–62, 66–67; Järvinen, 1996, 7.) Taulukkoon 5 on koottu Kärkölen ja Pursialan kloorifenolipilaantumien yhtäläisyydet ja eroavaisuudet.

Taulukko 5. Kärkölen ja Pursialan kloorifenolipilaantumien yhtäläisyydet ja eroavuudet.

	Kärkölä	Pursiala
KY-5:den käyttöaika	54 v.	32 v.
KY-5:den käyttömäärät	7–10 t/a	0,5–1,5 t/a
Päästöt	Käsittelyyn liittyvät sekä maaperään laskeminen ja sahan palo	Käsittelyyn liittyvät sekä maaperään laskeminen
Maksimi CP-pitoisuudet pilaantuma-alueella	n. 100 000 µg/l	n. 100 000 µg/l
Kloorifenolien olomuoto	kloorifenolaatteina	kloorifenolaatteina
Etäisyys sahalta vedenottamolle	n. 800 m	n. 600 m
Kallionpintojen korkeusero sahalta vedenottamolle	n. 27 m	n. 20 m
Kallioperä pilaantumankohdalla	kalliopainanne, saha toisessa ja vedenottamo toisessa päässä	kalliopainanne, saha toisessa ja vedenottamo toisessa päässä
Maaperä	Johtavien kerrosten määrä kasvaa vedenottamolle päin	Johtavien kerrosten määrä kasvaa vedenottamolle päin
Pohjaveden paineellisuus	osittain paineellinen	vapaapintainen
Pohjaveden virtaustyyppi	päävirtaus	sivuvirtaus
Vedenottomäärät	484–1 005 m ³ /d	6 871 m ³ /d
Vedenottamoiden ja sahojen samanaikainen toiminta	14 vuotta	28 vuotta

Koskinen Oy:n saha on harjoittanut sinistymisenestoa pitempään, toiminut kauemmin ennen vedenottamon rakentamista ja KY-5:den käyttömäärät ovat olleet suurempia. Käytöstä aiheutuvien päästöjen lisäksi saha on palannut kerran, eli maaperään on joutunut todennäköisesti enemmän KY-5:ttä kuin VAPO Oy:n toiminnasta. Tästä huolimatta suurimmat pitoisuudet ovat molemmissa tapauksissa olleet suuruusluokkaa 100 000 µg/l. Myös etäisyydet ja korkeuserot ovat samaa suuruusluokkaa. Vedenottomäärät ovat Pursialassa paljon Kärkölää suuremmat, mutta toisaalta Pursialassa on kyse sivuvirtauksesta ja Kärkölässä päävirtauksesta.

4.5.9 Muita huomioita

85 A:sta otetut yksittäisnäytteet otettiin putken asentamisen yhteydessä siten, että putkea lyötiin kerrallaan aina kaksi metriä alaspäin ja siitä otettiin näyte. Tällöin saatiin todenmukaisempi kloorifenolin kerrostumajakauma, joka laimenee selvästi maanpintaa eli putken yläpäästä kohden. Putkesta 85 taas näytteitä on otettu putken asentamisen jälkeen, mistä syystä ylempää otetun näytteen ottamiseen on todennäköisesti sekoittunut myös kloorifenolipitoisempaa vettä putken pohjaosista. (Grånsten, 2011.) Tämä voisi selittää vierekkäisten putkien erilaiset pitoisuudet.

Lähellä vedenottamoita kalliopainanteessa sijaitsevan 76-pohjavesihavaintoputken vähäinen havaintomäärä ja näytteenottosyvyyden vähäisyys selittyvät puolestaan sillä, että putkessa on niin paljon rautasakkaa, ettei siitä saada otettua helposti edustavaa näytettä. Näytteenotto vaatisi onnistuakseen työläitä puhdistustoimenpiteitä, mutta on periaatteessa mahdollista. Raudan saostumisen syytä juuri tässä putkessa ei tiedetä, sillä pohjavedessä on muuallakin runsaasti rautaa, eikä vastaavaa kuitenkaan ole tapahtunut. Ilmeisesti putkeen on päässyt tai pääsee jotain kautta happea, joka saa aikaan raudan saostumisen. Näytteenotto syvemmältä putkesta voisi tuoda ehkä lisäarvoa kloorifenolileviämisen ymmärtämisen kannalta.

Hiekkasuodattimia huuhdellaan yksi suodatin päivässä sekä uudelta että vanhalta puolelta (Koski, 2011b). Huuhteluvesien kloorifenolipitoisuuksia on tutkittu vuonna 2004, eikä tuolloin havaittu kloorifenolipitoisuuksia huuhteluedessä. Tuolloin tehty mittaus saattaa kuitenkin olla harhaanjohtava sikäli, että se saatet-

tiin suorittaa vasta huuhteluveden kirkastuttua, jolloin kloorifenolit olivat todennäköisesti jo huuhtoutuneet suodattimesta (Rouvinen, 2011). Tästä syystä hiekkasuodattimien huuhteluvesien kloorifenolimittaukset olisi syytä suorittaa uudelleen.

Pursialan vedenottamon uuden ja vanhan puolen läpi kulkenut vesi päättyy lopulta 2000 m³ kokoiseen alavesisäiliöön ennen pumppaamista vesijohtoverkostoon. Alavesisäiliön pinnoille tiedetään kertyneen rautasakkaa vuosien varrella ja hiekkasuodattimien huuhtelun jälkeen (yksi suodatin/päivä molemmilta puolilta) alavesisäiliöstä lähtevässä vedessä on havaittavissa sameuspiikkejä. Hiekkasuodattimien huuhtelu tapahtuu alavesisäiliön vedellä vastavirtaperiaatteella. Huuhtelun aiheuttamien virtauksien ja paineen muutokset irrottavat alavesisäiliöstä rautasakkaa. Koska on hyvin todennäköistä, että kloorifenoleita on ollut raakavedessä jo pitemmän aikaa, voi hyvinkin olla, että alavesisäiliön pinnoille kertyneeseen rautasakkaan on tarttunut kloorifenoleita, jotka pääsevät hiekkasuodattimien huuhtelun yhteydessä verkostoveteen. Alavesisäiliötä ei ole pesty ainakaan kymmeneen vuoteen. Rautasakkaan sitoutuneen kloorifenolinmäärästä ei ole tietoa. (Koski, 2011b.)

4.5.10 Kloorifenolituloksiin liittyvät epävarmuustekijät ja niiden merkitys

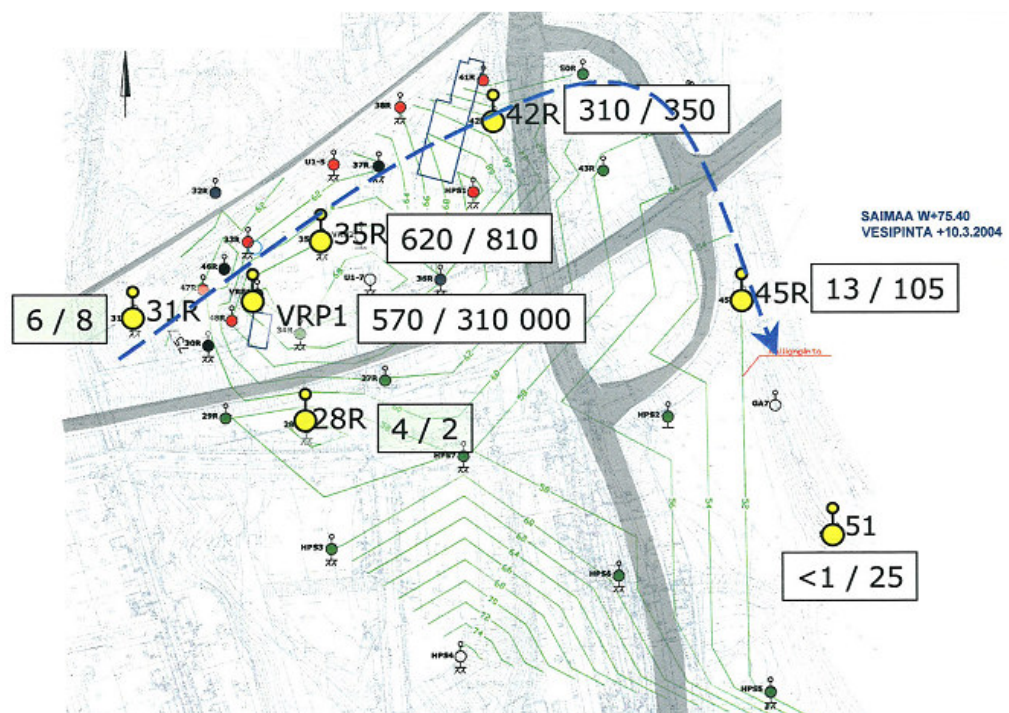
Kloorifenolien mittaaminen koostuu näytteen ottamisesta ja sen analysoimisesta laboratoriossa. Liitteessä 11 on esitetty kloorifenolien analysointimenetelmät pohjavesi- ja maaperänäytteelle. Mittauksiin liittyy aina epävarmuuksia liittyen näytteenottoon, näytteenottajaan, mittalaitteeseen, mittaustapaan ja mittaajaan. Mittauksiin voi liittyä systemaattisia tai satunnaisia virheitä. Systemaattisia virheitä voivat olla esimerkiksi vika mittalaitteessa tai näytteenottajan toistuva virheellinen näytteenottotapa ja satunnainen esimerkiksi näytteenottajan yksittäisestä virheestä johtuva poikkeama tuloksissa. Mittaajat/näytteenottajat sekä näytteenottimet ja mittalaitteet voivat myös vaihtua ajan saatossa. Kloorifenolinäytteenottoa on tehty Pursialan kloorifenolipilaantumien leviämisen tarkkailussa sekä sulkupumpulla että ilman, mikä voi vaikuttaa tulosten vertailtavuuteen.

Ramboll Finland Oy on tehnyt näytteiden oton vuodesta 2007 lähtien sulkupumpulla, joten tällöin näyteveden pitäisi tulla periaatteessa vain näytteenottokerroksesta ja edustaa kyseistä korkoa maaperässä. Tätä ennen näytteet on otettu ilman sulkuja, jolloin pumppauksen imuvirtaus (reilusti suurempi kuin pohjaveden luonnollinen virtaus) on tyhjentänyt putken, jonka jälkeen putkeen on alkanut virrata pohjavettä eniten johtavista kerroksista. Tuolloin otetut näytteet eivät siis välttämättä edusta juuri näytteenottosyvyyden haitta-ainetasoa, vaan parhaiten johtavien maakerrosten pohjaveden haitta-ainetasoa. Myös sulkupumpulla näytteitä otettaessa voi tapahtua vastaavaa, joskin nyt vesi ei tule siivilöiden läpi putken sisälle ja sitä kautta pumppuun (koska tämä reitti on estetty), vaan vesi kiertää putken ulkopintaa myöten eli kairausreiän ja putken ulkopintaan jäänyttä väliä pitkin. Tämä tosin on varmasti ilman sulkuja otettavaan näytteeseen verrattuna vähäisempää, joten sulkupumpun voidaan olettaa ottavan näytteen edustavasti juuri tietyistä kerroksesta. Kloorifenolituloksien voidaan kuitenkin katsoa olevan suuntaa-antavina riittävän tarkkoja epävarmuuksista huolimatta.

Mittaukseen liittyvien virheiden lisäksi epävarmuutta tuloksiin voivat aiheuttaa tulosten käsittelyssä ja tulkinnassa mahdollisesti tehdyt virheet. Käsittelyvirhe voi olla esimerkiksi näppäilyvirhe. Tulkinta voi puolestaan olla liian yleistävää tai perustua liian vähäiselle informaatiolle. Toisaalta täysin absoluuttista totuutta pohjavesipilaantumasta ja sen leviämisestä on mahdotonta saada. Tutkimuksissa tulee eteen monesti teknisien ja taloudellisten resurssien asettamat rajoitteet. Tuloksista täytyy siis tyytyä tekemään tulkintoja paikoitellen melko vähäisenkin aineiston pohjalta. Tämän työn tuloksien ei ole tarkoitus antaa kloorifenolipilaantumasta ja sen leviämisestä absoluuttista totuutta, vaan käsitellä sitä laajasti ja tuoda siihen uusia näkökulmia. Tässä valossa tulosten käsittelyyn ja tulkintaan liittyvien virheiden voidaan katsoa olevan hyväksyttävissä rajoissa.

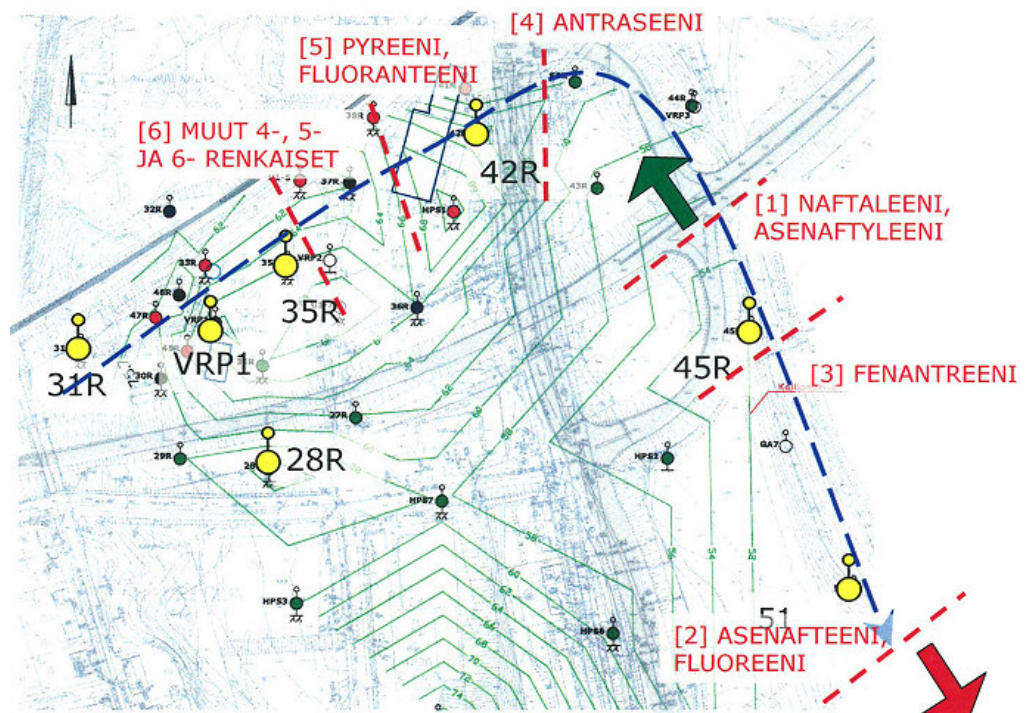
4.6 PAH-yhdisteet

Kuvassa 13 on esitetty pohjaveden kokonais-PAH-pitoisuudet pohjavesihavainto-putkien pinnasta ja pohjalta kyllästämöltä vedenottamolle päin. Piste VRP1 suuren kokonais-PAH-pitoisuuden selittää se, että kreosoottiöljyä on pisteen kohdalla faasina ja näytteeseen on tullut mukaan sekä pohjaveteen liuennutta kreosoottiöljyä että faasimuodossa olevaa kreosoottiöljyä.



Kuva 13. Kokonais-PAH-pitoisuudet Setrimäen pilaantuma-alueella [$\mu\text{g/l}$] pinta/pohja (Ramboll Finland Oy, 2011).

Kuvassa 14 on esitetty PAH-yhdisteiden levinneisyys. Numerot kertovat kuinka monta bentseenirengasta yhdisteessä on. 4–6 renkaiset PAH-yhdisteet ovat raskaampia jakeina edenneet vain hieman tai eivät ollenkaan päästöalueelta, kun taas 2–3 bentseenirengasta omaavat jakeet ovat jo edenneet pidemmälle kohti Kaihunharjua ja vedenottamoaa. Fenolit ja naftaleenit ovat kulkeutuneet suurelta osin jo Pursialan vedenottamon perustamisen aikoihin vedenottamolle tai sitten hieman myöhemmin suojapumpun kautta Veturintallinlahteen.



Kuva 14. PAH-yhdisteiden levinneisyys (Ramboll Finland Oy, 2011).

Pohjavesien liikettä, kreesoottifaasin liukenemista ja PAH-yhdisteiden kulkeutumisesta vedenottamolle mallinnettiin leviämismallilla vuonna 2006. Tavoitteena oli selvittää PAH-yhdisteiden Pursialan vedenottamolle aiheuttama riski pitkällä aikatahtämällä. Kaikkia 16 PAH-yhdistettä mallinnettiin, mutta raporttiin kirjoitettiin vain asenafteeni ja fluoreeni, koska ne ovat pisimmällä etenemisessä kohti vedenottamoaa (merkityksellisemmät). Ennustus ulotettiin vuoteen 2200 saakka ja Pursialan vesilaitokselta pumpattavan veden määrän oletettiin pysyvän tasolla 8 000 m³/d. Mallin avulla tarkkailtiin tilannetta, jossa kunnostustoimenpiteitä ei tehdä, tilannetta jossa faasi poistetaan osittain tai kokonaan, tilannetta jossa vedenottamon pumppausmääriä muutetaan ja tilannetta jossa kyllästämöalueella aloitetaan suojapumppaus sekä tilannetta jossa kyllästämöalueella rakennetaan reaktiivinen seinämä. (TKK, 2006.)

Mallin mukaan asenafteenin ja fluoreenin pitoisuudet jatkavat nousuaan, ellei alueella tehdä mitään kunnostustoimenpiteitä. Asenafteenin pitoisuus tasaantuu vuoden 2100 tienoilla ja sen vedenottamolla mitattava maksimipitoisuus 5 µg/l saavutetaan noin 2120–2140. Fluoreenin maksimipitoisuus 3 µg/l saavutetaan myöhemmin. (TKK, 2006.)

Faasin osittaisen poiston vaikutusta PAH-yhdisteiden kulkeutumiseen tarkasteltiin tilanteissa, joissa lähdealueen faasista poistetaan 10 / 30 / 50 / 100 %. Mallin mukaan faasin poisto alkaa vaikuttamaan vedenottamon pitoisuuksiin asenaftenille vasta vuoden 2050 jälkeen ja fluoreenille vielä myöhemmin. Tähän saakka pitoisuus on sama kaikilla faasin poistomäärillä. Tämä selittyy sillä, että faasin poiston vaikutus vedenottamolla näkyy samalla viiveellä kuin haitta-aineiden kulkeutuminenkin lähteeltä vedenottamolle. Osa aineista on jo näet matkalla vedenottamolle, eikä faasin poisto vaikuta niihin. (TKK, 2006.)

Näiden lisäksi mallintamisessa tarkkailtiin, mikä vaikutus vedenottamon pumppausmäärillä on asenafteni- ja fluoreenipitoisuuksiin vedenottamoalueella. Tarkkailu ulotettiin vuoteen 2100 saakka käyttäen koko ajan samaa pumppausmäärää. Jos pumppausta ei olisi, painetasot muuttuisivat pohjavesialueella ja osa pohjavesistä purkautuisi Saimaaseen PAH-yhdisteet mukanaan ja pitoisuustasot vedenottamoalueella laskisivat. Pumppausmäärän ollessa 1 000 m³/d pitoisuus vedenottamolla pysyy myös hyvin alhaisella tasolla. Pumppausmäärän ollessa 3 000 m³/d pitoisuustasot kasvaisivat aluksi paljon hitaammin kuin nykyisellä pumppausmäärällä, mutta aikajakson lopulta pitoisuustasot saavuttaisivat kuitenkin lähes saman pitoisuustason. Tämä selittyy sillä, että tällöin myös rantaimetyymisen aiheuttama laimentumista tapahtuisi vähemmän. Mallia ei voida kuitenkaan pitää riittävän tarkkana ilmaisemaan sitä, voidaanko yhdisteiden leviäminen vedenottamolle tai ainakin vedenottamolle jo levinneiden PAH-yhdisteiden pitoisuus alentaa säätelemällä pumppausmääriä tai lisäämeityksiä järjestämällä. (TKK, 2006.)

Kyllästämön alueella tapahtuvan suoja-pumppauksen vaikutusta tutkittiin tilanteissa, joissa pumppauskaivojen määrä vaihteli yhdestä seitsemään ja pumpattava kokonaisvesimäärä 5–50 m³/d. Mallin mukaan kreosoottia voidaan poistaa kolmen vuoden 15 m³/d pumppauksella noin 60–100 kg ja PAH-yhdisteitä noin 15–25 kg eli määrät jäävät siis melko pieniksi. Lisäksi malli olettaa, että faasi olisi jakaantunut melko tasaisesti pumppauskaivojen ympärille ja voi siis yliarvioida pumpatun veden pitoisuuden. (TKK, 2006.)

PAH-yhdisteiden määrä voidaan vähentää myös erityyppisillä in-situ-käsittelyillä, kuten biowall- (biologinen seinämä) ratkaisulla. Kunnostuksen vaikutus näkyisi vedenottamalla hyvin pitkän viiveen jälkeen, mutta kuitenkin joitakin vuosia aiemmin kuin faasinpoiston vaikutus. Muutos vedenottamon pitoisuuksissa näkyisi laskelmien mukaan vasta 2050–2055. (TKK, 2006.)

Asenaftenin hyväksyttävänä enimmäissaantina pidetään 6×10^{-2} mg/kg/d ja fluoreenin 4×10^{-2} mg/kg/d, joten Pursialan vedenottamon vettä saa juoda pahimpienkin laskelmien mukaisten pitoisuuksien tapauksessa 700 l/d asenaftenin suhteen ja 800 l/d fluoreenin suhteen (Järvinen & al, 2007, 46).

4.7 Muut haitta-aineet

Taulukossa 6 on esitetty haitta-aineiden maksimipitoisuudet pohjavesialueella. Raakavedessä ja talousvedessä ei ole havaittu kyseisiä haitta-aineita talousvesiaseituksen mukaisia raja-arvoja ylittäviä pitoisuuksia.

Taulukko 6. Muiden haitta-aineiden maksimipitoisuudet Pursialan pohjavesialueella (Petäjä-Ronkainen, 2010, 22).

Haitta-aine	Ympäristö- laatunormi	Max.pitoisuus pohja- vesialueella
Kloridi	25 mg/l	230 mg/l (v. 2007)
Torjunta-aineet, BAM	0,1 µg/l	0,22 µg/l (v.2005)
Sinkki	60 µg/l	1000 µg/l (v.2008)
Koboltti	10 µg/l	120 µg/l (v. 2008)
Nikkeli	2 µg/l	490 µg/l (v. 2008)
Tetrakloorieteeni	5 µg/l	8 µg/l (v. 2005)
Bentseeni	0,5 µg/l	23 µg/l (v. 2008)
MTBE	7,5 µg/l	13,1 µg/l (v. 2007)

5 RISKITARKASTELU JA RISKIENHALLINTA

Riskitarkastelu on suppea riskinarviointimenetelmä. Se eroaa virallisesta riskinarviointista tarkastelun tarkkuudessa ja laajuudessa. Riskinarviointi käsittää yleensä sekä sanallisen että laskennallisen tarkastelun, kun taas riskitarkastelussa pyritään arvioimaan riskiä lähinnä sanallisesti. Tavoite on molemmissa kuitenkin sama; tunnistaa, määrittellä ja luonnehtia riskit (Pellinen & al, 2007, 9).

Riskitarkastelun lähtökohtana on, että haitta-aineesta voi aiheutua haittaa tai vaaraa ympäristölle ja ihmisen terveydelle ainoastaan, mikäli kaikki kolme seuraavista reunaehdoista toteutuu:

- 1) Alueella on haitta-ainetta merkittävänä pitoisuutena
- 2) Haitta-aineet kulkeutuvat altistuvien kohteiden saataville
- 3) Ihmiset tai ympäristö altistuvat haitta-aineille.

VAPO Oy:n toiminnan seurauksena Pursialan pohjavesialueen maaperään ja pohjaveteen muodostunut kloorifenoolipilaantuma täyttää kaikki edellä mainitut reunaehdot, eli riski haittavaikutusten syntyyn on olemassa. Riskin olemassaolo on tunnustettu kaikkien osapuolten toimesta.

Tapauksesta löytyy useita yhtäläisyyksiä suhteessa Kärkölen kloorifenoolipilaantumiseen, mikä tarkoittaa, että Pursialan tapaukseen tulee suhtautua vakavasti. Pilaantumisen kunnostusvastuukysymys on kuitenkin vielä auki, eikä riskiä ole poistettu. Tämän hetken tietojen mukaan riskiä ei voida poistaa 10 vuoden aikajänteellä, joten riski täytyy jollakin tapaa hallita (Turkki, 2011). Riskinhallinta tarkoittaa riskin kehittymisen seuranta ja riskin vähentämistä (esimerkiksi alueen kunnostamisella, eristämällä tai alueen käytön rajoittamisella) sekä riskin toteutumiseen varautumista (Pellinen & al, 2007, 9). Vaikka hallintakeinoja löytyykin, voi riskin täydellinen poistaminen olla hyvin hankalaa, jopa mahdotonta. Tässä kappaleessa pyritään esittelemään jo tehdyt toimet riskien minimoimiseksi ja käsittelemään tulevaisuudessa tehtäviä riskienhallintamahdollisuuksia.

5.1 Käsitteellinen malli

Työssä on pyritty tunnistamaan, määrittelemään ja luonnehtimaan kloorifenolipilaantumisen aiheuttamat riskit käsitteellisen mallin tarkastelun avulla. Käsitteellinen malli on esitetty liitteessä 12. Mallissa on arvioitu eri altistumisreittien kautta tapahtuvien altistumisriskien todennäköisyyttä asteikolla todennäköinen – ei todennäköinen ja asteikolla 1–10 sitä, kuinka merkittävä kyseinen altistumisriski on toteutuessaan.

Mahdollisia altistusreittejä ovat haitta-aineen nieleminen, koskettaminen tai hengittäminen. Asukkailla tarkoitetaan tässä tapauksessa Mikkeliäisiä yleisesti sekä pilaantuma-alueella asuvia ihmisiä. Asukkaiden altistumista tarkastellaan normaalin elämän kautta tapahtuvana altistumisena. Työntekijöillä tarkoitetaan pilaantuma-alueella töitä tekeviä ihmisiä, kuten esimerkiksi sahan ja vesilaitoksen henkilökuntaa. Työntekijöiden altistumista tarkastellaan työtehtävien kautta altistumisena. Eläimillä tarkoitetaan kaikkia vesieläimiä, maaeläimiä sekä lintuja. Eliöstöllä tarkoitetaan kaikkea muuta elävää paitsi ihmisiä, eläimiä ja kasvillisuutta.

KY-5-lähteitä on ollut kolme: KY-5-allas, käsitelty puutavara sekä mahdollisesti allasakka ja KY-5-säkit/tyynyrit. Lähteistä merkittävin on ollut KY-5-allas. Päästö on tapahtunut altaan ylivalumisen, altaan tyhjennyksen sekä KY-5:llä käsitellyistä puunipuista valumisen seurauksena. KY-5 on valunut maahan nostettaessa puutavara pois altaasta altaan vierelle. Käsitellyn puutavaran kautta on tapahtunut myös päästö varastointialueella, jossa käsitellyssä puutavarassa ollut ylimääräinen liuos on valunut maahan. Lisäksi sateet ovat voineet huuhdella maahan osan puuhun jo sitoutuneesta kloorifenolista. Allasakasta sekä KY-5-säkeistä/tyynyreistä aiheutunut päästö on puolestaan seurausta niiden hautaamisesta ympäristöön. Tämän tapahtuman todellisuudesta ei ole kuitenkaan varmaa tietoa.

Kaikissa päästötapauksissa KY-5-liuos on päätenyt ensin pintamaahan, josta osa KY-5:n sisältämistä ainesosista on edennyt edelleen syvemmälle maaperään. KY-5-altaan päästötapauksissa sekä käsitellyn puutavaran päästötapauksissa kloorifenoli on jo painunut lähes kallionpintaan asti, eikä pintamaassa ole enää havait-

tavissa merkittäviä kloorifenolipitoisuuksia. Valuessaan itsestään ja osalti hulevesien ja pohjaveden pinnan muutoksien johdosta, kloorifenoli on pilannut ensin pintamaan ja sitten syvemmillä olevan maan ja pohjaveden. Mahdollisissa jäte-
tätöissä kloorifenoleita voi olla jäänyt suurempi osa lähteestä myös pintamaahan, mikäli kloorifenolit ovat olleet jauheena tai sitoutuneena allassakkaan. Tästä hulevedet ja pohjaveden pinnan muutokset ovat huuhdelleet kloorifenoleita alaspäin. Kloorifenolien sivutuotteina olleet dioksiinit ja furaanit ovat jääneet kaikissa tapauksissa pääosin pintamaahan.

Asukkaat voivat altistua pintamaassa olevalle haitta-aineelle (CP, PCCD/F) sen nielemisen ja koskettamisen sekä pölyävän maan hengittämisen kautta, mikäli maa on näkyvässä ja aluetta käytetään esimerkiksi asuin- tai virkistyskäyttöön. Tällöin pienet lapset saattavat syödä pintamaata tai haitta-aine voi siirtyä istutusten kautta hedelmiin/marjoihin ja siitä ihmisiin. Lisäksi ihmiset ylipäättensä koskettelevat maata, jolloin voi tulla mahdollinen kosketusaltistus. Alueella ei kuitenkaan ole asutusta (teollisuusalue), joten siellä ei myöskään ole pieniä lapsia leikkimässä eikä puutarhakasveja. Kosketusta maan kanssa ei tule kuin korkeintaan hetken ihmisen liikkeessä alueen läpi tai alueella. Alue on suurelta osin asfaltoitua ja rakennusten peitossa, joten senkään puolesta pintamaan haitta-aineille altistuminen ei ole kovin todennäköistä. Tilanne muuttuu, mikäli alueen käyttötarkoitusta muutetaan ja alueesta tulee esimerkiksi asuinalue. Pintamaan haitta-aineiden asukkaille aiheuttama riski tulee arvioida tuolloin uudestaan. Alueella toimiva työntekijä, esimerkiksi rakennustyöntekijä, voi altistua pintamaassa oleville haitta-aineille kosketuksen ja pintamaasta lähtöisin olevan pölyn hengittämisen kautta maarakentamisen yhteydessä. Riskin merkitys on kuitenkin pieni pintamaan vähäisten haitta-ainemäärien vuoksi. Eläimet voivat altistua pintamaan haitta-aineille maan koskettamisen ja maan pölyn hengittämisen sekä pilaantuneiden kasvillisuuden, eläinten ja eliöstön syömisen kautta. Haitta-aineiden määrät pintamaassa ovat suurelta osin kuitenkin niin pieniä, ettei altistuminen ole merkittävää. Tämän lisäksi alueella on vähän syömistä ja elintilaa ja alue on eläimille rauhaton, joten altistus on merkityksellinen vain muutamille eläimille, kuten myyrille. Kasvillisuus ja eliöstö voivat altistua pintamaan haitta-aineille ravin-

teidenoton kautta ja altistuminen voi olla merkittävää niiden herkkien rakenteiden johdosta.

Pohjamaan haitta-aineille (CP, PCDD/F) altistuminen ei ole todennäköistä muille kuin maaperän eliöstölle. Syväällä pohjamaassa on hyvin vähän eliöstöä, joten altistumisriski ei ole maaperän eliöstölle kokonaisuudessa merkittävä. PCDD/F-yhdisteet eivät ole riski pohjavedelle, koska ne ovat käytännössä sitoutuneet maaperään.

Pohjaveden haitta-aineille (CP) voidaan altistua veden nielemisen sekä kosketuksen kautta. Asukkaat voivat altistua kloorifenoleille molemmilla tavoilla, mikäli talousveden kloorifenolipitoisuudet kasvavat. Nielemisen kautta saatu kloorifenoli muodostaa merkittävän riskin, sillä juomaveden kautta saatu altistus on säännöllistä ja haitta-aineet pääsevät nieltäessä suoraan elimistöön. Kosketuksen kautta tuleva altistus ei sen sijaan ole niin merkittävä, koska vesi valuu tai kuivataan iholta nopeasti pois. Ruoanlaitossa tai saunan löylyvedessä höyryn mukana hengitykseen tulevat haitta-ainemäärät ovat pieniä ja niiden aiheuttama riski merkitykseton. Työntekijöistä pohjaveden altistumiselle voisivat altistua ainoastaan vesilaitoksen työntekijät sekä pohjavesinäytteiden ottajat. Altistumisreittejä ovat kosketus ja höyryn hengitys. Suuristakin kloorifenolipitoisuuksista huolimatta näytteenottajiin kohdistuvat riskit ovat merkitykseltään vähäisiä, sillä he ovat ammattitaitoisia sertifioituja näytteenottajia ja osaavat varustautua tilanteen vaatimalla tavalla. Lisäksi altistuminen on lyhytkestoista ja hetkittäistä. Vesilaitoksen työntekijöiden altistus voi olla pitempikestoista, esimerkiksi huoltotöiden aikana, mutta pitoisuudet vesilaitoksella ovat puolestaan merkitykseltään pieniä. Eläimien altistuminen pohjaveden haitta-aineille ei ole todennäköistä, sillä pohjavesi pumputaan laitoksella ylös, eikä alueella ole luontaisia purkupaikkoja, mistä eläimet voisivat käydä juomassa pilaantunutta pohjavettä. Kasvit ja eliöstö voivat altistua sekä kosketuksen että ravinteiden ottamisen kautta pohjavedelle, ja riski on kohtalainen.

Pintavedelle altistuminen on todennäköistä asukkaille (esimerkiksi uimari, kalastaja), eläimille (juomavesi, uinti), vesikasvistolle sekä pintaveden eliöstölle. Hait-

ta-aine (CP) voi päätyä hulevesien tai pohjaveden mukana tai esimerkiksi rannantäytöistä valumalla pintaveteen. Suuren laimentavan vesimäärän vuoksi pitoisuudet kuitenkin laimenevat nopeasti, eikä pintaveden kautta altistuminen ole tästä syystä merkittävää minkään altistujan kannalta.

Ilmaan haitta-aine (CP) voi päätyä höyrystymisen seurauksena. Kaikki altistumis-kohteet voivat altistua haitta-aineelle tällä tavoin. Maaperästä, pohjavedestä tai pintavedestä höyrystyvän haitta-aineen määrät ovat kuitenkin hyvin pieniä, joten niiden aiheuttama altistumisriski on merkityksetön.

Käsitteellisen mallin perusteella KY-5-pilaantumisen aiheuttamat merkittävät uhka muodostuu kloorifenolin pilaamasta pohjavedestä. Suurin riski altistua pohjaveden haitta-aineille on Mikkelin asukkailla, mikäli he juovat kloorifenoleilla pilaantunutta talousvettä. Riski on toteutuessaan merkittävä. Pilaantumisen riski ei ole vielä toteutunut, mutta on todennäköinen. Riskienhallintatoimien tulee siis kohdistua vedenottamon kloorifenolipilaantumisen pienentämiseen/ poistamiseen. Pohjaveden kautta tapahtuvaa altistumista pienentämällä voidaan pienentää myös pohjamaan ja pintaveden sekä ilman kautta tapahtuvaa altistumista.

5.2 Riskienhallinta nyt

Kloorifenolien aiheuttaman riskienhallinta on keskittynyt tällä hetkellä saha-alueella ja matkalla olevien kloorifenolien osalta lähinnä leviämisen tarkkailuun. Puolella välissä saha-alueella ja vedenottamossa on lisäksi koepumppaus, jolla on pyritty saamaan ylös kalliopainanteen kloorifenoleita sekä estämään kloorifenolipitoisen pohjaveden etenemistä vedenottamolle. Pumppaus ei kuitenkaan ole suojapumppaus, sillä se ei katkaise virtausta sahalla vedenottamolle kokonaan, kuten virallinen suojapumppaus tekisi. Pumppauksella on kuitenkin saatu kloorifenoleita ylös, joten sen voidaan katsoa onnistuneen tehtävässään. Vedenottamalla riskienhallintaan on varauduttu aktiivihiielijauheen valmistus- ja annostuslaittein. Tulevaisuudessa kappaleissa esitellään tarkemmin jo tehdyt hallintatoimet riskin minimoimiseksi.

5.2.1 Tarkkailu

Kloorifenolien leviämistä tarkkaillaan neljä kertaa vuodessa pilaantuma-alueen pohjavedenhavaintoputkista. Tarkkailukierroksista kaksi on laajaa ja ne suoritetaan syksyllä ja keväällä ja kaksi suppeaa ja ne suoritetaan talvella ja kesällä. (Grånsten, 2011.) Pursialan vedenottamolla kloorifenoleita tarkkaillaan kuukausittain vedenottamolta lähtevästä vedestä eli talousvedestä ja kuukausittain vedenottoalueen kaivosta K10 (Turkki, 2011).

5.2.2 Aktiivijauheen annostelu

Mikkelin Vesilaitos on varautunut suureneviin kloorifenolipitoisuuksiin Pursialan vedenottamon raakavedessä asentamalla vedenottamolle aktiivihiielijauheen valmistus- ja annostelulaitteet vuoden 2008 joulukuussa. Aktiivihiihi kykenee adsorboimaan eli sitomaan itseensä kloorifenoleita. Aktiivihiihen annostelun tarkoituksena on tehostaa kloorifenolien poistoa raakavedestä biologisen prosessin häiriötilanteiden aikana tai kloorifenolipitoisuuksien kasvaessa niin suuriksi, että hiekkasuodattimet eivät sitä enää kykene hajottamaan. (T&A Mämmelä Oy, 2009.)

Annosteluprosessi alkaa aktiivihiihen imemisellä tyhjiökuljettimella jauhevarastosta siilon. Siilon alaosassa on Tomalin 2-ruuvien annostelusyötin, joka syöttää aktiivihiihen vakionopeudella edelleen vesiejektorin suppiloon. Vesiejektoriin syötetään aktiivihiihen lisäksi talousvettä. Haluttu aktiivihiihi-vesiseoksen pitoisuus valitaan ohjauskeskuksen käyttöpaneelistä. Maksimissaan se voi olla 2 %. Tämän jälkeen veden ja aktiivihiihen seos nousee ylös sekoitussäiliöön ejektorin tuottaman paineen avulla. (T&A Mämmelä Oy, 2009.) Sekoitussäilön jälkeen sekoittunut hiili-vesisuspensio pumpataan epäkeskoruuvipumpuilla uuden ja vanhan osan ilmastuksen jälkeiseen pikasekoitukseen (FCG Planeko Oy, 2008).

Aktiivihiielijauheen annostelu on mitoitettu vesimäärälle 500 m³/h (10 000 m³/d, vuosikeskiarvo 7 000 m³/d) ja raakaveden kloorifenoleiden summapitoisuudelle 100 µg/l. Toisin sanoen aktiivihiihen syöttölaitteisto poistaa 100µg/l kloorifenoleita aina 500 m³/h vesimäärään saakka. Veden pumppaus säätelee sitä, kuinka pal-

jon aktiivihiihtä kuluu. Aktiivihiihtä annostellaan noin 10 g/m^3 (5 kg/h, 75 kg/d). Hiilen raekoko on oltava välillä 0,15–0,25 mm ja jodiluku⁸ 600–1 100 mg/g ja metyyliisiniiluku⁹ 110–280 mg/g. (FCG Planeko Oy, 2008.)

Suurin kaivoissa havaittu pitoisuus on noin 149 $\mu\text{g/l}$ (kaivo 10). Kaikissa kaivoissa ei ole kuitenkaan havaittu kloorifenoleita, joten jakotukilta vedenottamolle saapuvan ns. sekaveden pitoisuudet ovat jääneet pääsääntöisesti alle talousvesiasetuksen rajan 10 $\mu\text{g/l}$ (Turkki, 2011). Laitetta ei ole tarvittu.

Aktiivihiihlisyöttölaitteiston toiminta toteutetaan paikallisesti ohjaten (FCG Planeko Oy, 2008) ja sen käynnistys tapahtuu ennakoivasti. Vedenottamalla ei siis ole jatkuvatoimista kloorifenolipitoisuuksien mittauslaitteistoa, joka kytkisi aktiivihiihlen syötön automaattisesti päälle kloorifenolipitoisuuden noustessa talousvedessä yli sallitun rajan. Käynnistys tapahtuu manuaalisesti, mikäli kloorifenolitarkkailun tulokset antavat merkkejä kloorifenolipulssin etenemisestä vedenottamolle tai vedenottamolta lähtevän talousveden kloorifenolimittauksissa havaitaan kloorifenolipitoisuuksien nousua. (Turkki, 2011; Torniainen, 2011.)

5.2.3 G-levyn ja puun nurkan koepumppaus

Vuonna 2009 pohjavedessä havaittujen korkeiden kloorifenolipitoisuuksien johdosta päätettiin aloittaa koepumppaus VAPOn sahan ja vedenottamon välillä. Parhaaksi sijoituspaikaksi selvisi tutkimusten perusteella 250 metrin päässä Vapon entisestä sahasta lounaaseen sijaitseva Leipomonkadun itäpään alue, ns. G-levyn ja puun tontin nurkka. Tällä alueella oli havaittu erityisen korkeita kloorifenolienpitoisuuksia ja tästä syystä kloorifenolien arveltiin kulkevan sitä kautta sahan alueelta vedenottamolle. Toinen teoria kloorifenolin suurille pitoisuuksille oli VAPOn sahalta tuodun kloorifenolipitoisen aineksen (allassakkaa, kloorifenolisäkkejä) käyttö kiinteistön rakennuksen alustäyttöön. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 30; Gråsten, 2010; Rautio, 2011.) Kiinteistölle on ra-

⁸ Kuvaa hiilen kykyä adsorboida pieniä molekyyliä

⁹ Kuvaa hiilen kykyä adsorboida suuria molekyyliä

kennettu ensimmäiset teollisuusrakennukset jo vuonna 1966 ja laajennuksia ja lisärakennuksia on tehty ainakin vuosina 1973 ja 1977. Kartta-, ilmakuva- ja maastotarkastelun perusteella alueella on paikoin usean metrin paksuinen täyttömaakerros. (Massinen & al., 2008,6.)

Pumppaustoiminta aloitettiin 16.6.2009 ensin koeluontoisena toimintana. Sen tarkoituksena oli vedenottamolle virtaavan kloorifenolipitoisen pohjaveden etenemisen estäminen ja kloorifenoleiden saaminen pois kalliopainanteessa olevasta pohjavedestä. Lisäksi sillä haluttiin testata Mikkelin Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamon kykyä käsitellä kloorifenolipitoisia vesiä. Itä-Suomen ympäristölupavirasto antoi luvan, että puhdistamon viemäriverkostoon saadaan johtaa korkeintaan $200 \text{ m}^3/\text{d}$ kloorifenoleilla pilaantunutta vettä ja johdettavan veden kloorifenolipitoisuus saa olla korkeintaan $15\,000 \text{ }\mu\text{g/l}$. Koeluontoinen toiminta lopetettiin 30.6.2010. Koeluontoisen pumppauksen aikana kokeiltiin eri pumppaustehoja ($33\text{--}195 \text{ m}^3/\text{d}$) ja pumppauskorkeuksia maksimaalisen kloorifenolien poiston aikaansaamiseksi. Vettä pumpattiin koepumppauksen aikana jätevedenpuhdistamolle $45\,765 \text{ m}^3$. Jätevedenpuhdistamolle tulevan veden kloorifenolipitoisuus oli $0,55\text{--}14,6 \text{ }\mu\text{g/l}$ ja jätevedenpuhdistamolta lähtevän veden pitoisuus oli $0,38\text{--}5,1 \text{ }\mu\text{g/l}$. Lietteen kloorifenolipitoisuudet olivat $<50\text{--}2400 \text{ }\mu\text{g/kg}$. Pumpatusta kloorifenolipitoisesta vedestä ei ollut haittaa Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamon toiminnalle ja puhdistamolta lähtevän veden ja lietteen kloorifenolipitoisuudet pysyivät selvästi lupamääräysten rajojen alapuolella. Koska koeluontoisen pumppauksen tulokset olivat positiivisia, pumppaukselle haettiin jatkolupaa ja pumppaus jatkuu vielä tänäkin päivänä. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 30; Gråsten, 2010; Rautio, 2011.)

Laskennallisesti koetoiminnan aikana poistettiin $40,84 \text{ kg}$ kloorifenoleita. 20.4.2011 mennessä suojapumppauksella oli saatu laskennallisesti yhteensä noin 69 kg kloorifenoleita ylös. Pitoisuudet pohjavesinäyteputkissa eivät kuitenkaan muuttuneet juurikaan tänä aikana, mikä viestittää siitä, että alueella on paljon kloorifenoleita. (Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2010, 30; Gråsten, 2010; Rautio, 2011.)

Työn yhteydessä mietittiin myös pumpun mahdollista väärää sijaintia ja mahdollisuutta, että pumppauksella imettäisiin lisää kloorifenoleita saha-alueelta liikkeelle joko maaperää tai kalliorakoja pitkin. Ramboll Finland Oy:n pohjavesiasiantuntija Jarmo Koljosen mukaan on kuitenkin epätodennäköistä, että imu ulottuisi sahalle asti, sillä tutkimuksien mukaan koepumppauksen aiheuttama alenemakartio ei ylety kauas. Maaperä on taas koepumppauksen kohdalta niin hyvin johtavaa, että vesi tulee todennäköisesti pumppaukseen mieluummin muualta kuin mahdollisten kalliorakojen kautta. (Koljonen, 2011.) Voidaan siis olettaa, että koepumppaus kerää kloorifenolin lähiympäristöstään. Täyttä varmuutta näistä asioista on kuitenkin hankala saada.

5.3 Riskienhallinta tulevaisuudessa

Riskienhallinta tulevaisuudessa jakaantuu kolmeen osaan: lähdealueen, matkalla olevan ja vedenottoalueelle päätyneen kloorifenolien hallintaan. Vedenottamoalueelle päässeitä kloorifenoleita ei saada enää pois, vaan niihin täytyy pystyä varautumaan vedenottamalla. Matkalla olevia kloorifenoleita ja saha-alueella olevia kloorifenoleita voidaan sen sijaan poistaa pohjavedestä oikeilla kunnostustoimenpiteillä. Lisäksi pohjaveden virtaus sahalta vedenottamolle voidaan estää. Riskienhallintatoimista huolimatta kaikkea pohjaveteen päässyttä kloorifenolia ei pystytä estämään kulkeutumasta vedenottamolle. Kunnostukset tulevat olemaan haastavia, sillä alue on suurelta osin rakennusten peitossa ja jatkuvassa jokapäiväisessä käytössä. Pöyryltä valmistuu lähiaikoina esitys lähdealueen eli saha-alueen kloorifenolipitoisen pohjaveden kunnostamisesta. Tässä työssä käydään läpi eri vaihtoehtoja hallita tilannetta kokonaisuutena. Riskienhallintavaihtoehtoja mietittiin yhdessä Ramboll Finland Oy:n riskinarviointiasiantuntija Tuomas Lukkarin, kemianasiantuntija Kimmo Järvisen sekä pohjavesiasiantuntija Jarmo Koljosen kanssa.

5.3.1 Vaihtoehto 0, ei toimenpiteitä

Nolla vaihtoehtona on se, ettei alueella tehdä mitään riskinhallintatoimintaa, vaan tilanteen annetaan asettua itsestään. Tässä vaihtoehdossa lyhyellä tähtämellä kustannukset ovat pienet. Pitkällä tähtämellä ne voivat kuitenkin olla suuret, jos pilaantuma leviää vedenottamolle saakka ja vedenottamo menetetään. Tässä vaihtoehdossa ei ole tarkkailua pilaantumisen etenemisen suhteen, joten kloorifenolipitoisuuksien nousuun ei pystytä varautumaan. Tässä vaihtoehdossa on suurimmat todennäköisyydet menettää vedenottamo, mikäli kloorifenolipitoisuustilanne jostain syystä muuttuu pahemmaksi vedenottamalla.

5.3.2 Vaihtoehto 1, monitoroitu luontainen puhdistuminen

Monitoroitu luontainen puhdistuminen tarkoittaa luontaisen biologisen puhdistuksen tarkkailua. Vaihtoehdossa tarkkaillaan sitä, että kloorifenolipitoisuudet eivät ala nousemaan huolestuttavasti vedenottamolle mentäessä ja seurataan luonnon oman hajotustyön edistymistä. Tässä vaihtoehdossa varautuminen paranee. Se on myös edullinen, koska siinä ei tehdä varsinaisia kunnostustoimenpiteitä. Ratkaisussa voidaan muuttaa toimintastrategiaa tarvittaessa tilanteen edellyttämällä tavalla.

Negatiivisena puolena tässä vaihtoehdossa on kuitenkin luonnon tekemän puhdistuksen hitaus ja riskin säilyminen vuosikymmeniä eteenpäin. Monitoroitu luontainen puhdistuminen onkin jo osittain käytössä tällä hetkellä. Nykyisen toiminnan lisäksi vaihtoehto edellyttäisi parempaa tarkkailua vesilaitoksella (tiheämpi kloorifenolien tarkkailu tai jatkuvatoiminen online-mittari) ja aktiivihiilen syöttölaitteiden automatisointia ja varustamista myös suuremmille kloorifenolipitoisuuksille.

5.3.3 Vaihtoehto 2, puhdistuspumppaus ja suojauspumppaus

Tässä vaihtoehdossa päästään vaikuttamaan pohjaveden kloorifenolipitoisuuksiin ja on suurempi todennäköisyys, että kloorifenolilähteen aiheuttama riski saadaan pienentymään. Puhdistuspumppaus tulisi todennäköisesti sijoittamaan KY-5-altaan lähistöllä, mistä on mitattu suurimmat kloorifenolipitoisuudet. Puhdistuspumppaus kohdistuisi siis lähdealueeseen. Puhdistuspumppaukseen liitetään yleisesti suojauspumppaus lisä/varatoimenpiteenä. Suojauspumppauksen sijainti voisi tulla Pursialan kadun tuntumaan. Vaihtoehto 2 on esitetty kuvassa 15. Suojauspumppauksen olisi tarkoitus katkaista pohjaveden virtaus sahalta ja varmistaa näin ollen, ettei mitään kloorifenoleita pääse enää kulkeutumaan sahalta vedenottamolle sekä poistaa puhdistuspumppujen alueella jo sijaitsevaa kloorifenolipitoista pohjavettä.



Kuva 15. Vaihtoehto 2.

Tämän vaihtoehdon negatiivisena puolena on se, ettei suojauspumppauksen ohi jo menneitä kloorifenoleita voida hallita. Kunnostukset voivat myös kestää kauan ja olla tästä syystä hintavat. Lisäksi ylöspumpattavan kloorifenolipitoisen veden käsittelymenetelmä täytyy arvioida uudelleen.

5.3.4 Vaihtoehto 3, puhdistuspumppaus ja suojaumpaus sekä vesiverho

Tähän vaihtoehtoon sisältyy vaihtoehto 2:ssa esiteltyjen puhdistuspumppauksen ja suojaumpauksen lisäksi sahan ja vedenottamon välille tehty keinotekoinen vedenjakaja eli vesiverho. Keinotekoinen vedenjakaja voidaan muodostaa imeyttämällä maaperään vettä, joko imeytysaltain tai maahan upotetuin putkistoin. Alueen käytettävyyden ja tilan puutteen takia tapauksessa tulee kysymykseen vain putkistoratkaisu. Vesiverho nostaa kyseisen kohdan pohjaveden pintaa ympäristöä ylemmäs, jolloin virtauksen suunta muuttuu. Tällä tavoin voidaan estää pohjavedenvirtaus sahalta vedenottamolle. Vesiverhon tarkoitus olisi sijaita suojaumpauksen ja vedenottamon välillä, jolloin se toimisi myös lisävarmistuksena. Suojaumpaus toimisi tässä tapauksessa suojaamisen lisäksi vesiverhon tehostena lisäten veden virtausta haluttuun suuntaan eli sahalle. Paras sijoituspaikka vesiverholle lienee G-levyn ja puun sekä Mönlycke Health Care Oy:n välinen maasto. Vaihtoehto 3 on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Vaihtoehto 3.

Vesiverho on kokemusten mukaan erittäin taloudellinen ja toimiva ratkaisu haitta-aineiden kulun estämiseen halutusta suunnasta. Vesiverhoa ei voida tosin laittaa aivan vedenottamon viereen, koska suurten virtaamien takia maaperään täytyisi

syöttää valtavat määrät vettä, jotta vedenjakaja saataisiin syntymään. Tästä syystä osa kloorifenolipitoisesta pohjavedestä jäisi vesiverhon vedenottamon puolelle ja sen kulkeutumiseen raakaveteen tulisi varautua. Lisäksi vesiverhon vedenottamon puolelle saattaisi jäädä toinen kloorifenolilähde esimerkiksi Mönlyckenin alus-täyttöön. Mahdollisten muiden lähteiden olemassaolo täytyisikin selvittää. Muita eteen tulevia ongelmia voivat olla rakennusten aiheuttama tilanpuute sekä maahan syötettävän veden laatu. Vesi täytyisi olla niukkahappista, jottei rauta saostuisi kaivoihin ja pohjavesiputkiin.

5.3.5 Vaihtoehto 4, eristäminen, tehostettu biologinen puhdistus, kemikaalien syöttö

Eristäminen, tehostettu biologinen puhdistus sekä kemikaalien syöttö eivät Ramboll Finland Oy:n kemianasiantuntija Kimmo Järvisen ja pohjavesiasiantuntija Jarmo Koljosen mukaan tule kysymykseen tässä tapauksessa. Eristämisen/ stabiloinnin ongelmana on se, että haitta-aine on suurimmaksi osaksi liuenneena pohjaveteen. Lisäksi maa-alueet ovat suurelta osin rakennusten peitossa ja kallionpin-ta on epätasainen. Kloorifenolilla voi olla myös useita eri etenemisreittejä, joiden sijaintia ei tiedetä. Edellä mainittujen syiden takia lähdealueen/KY-5-altaan ympä-ristön eristäminen/stabilointi on hyvin hankalasti toteutettavissa. Lisäksi stabi-loinnissa/eristämässä riski (kloorifenolilähde) jäisi edelleen maaperään. (Järvi-nen, 2011; Koljonen, 2011.)

Kemikaalien syöttö puolestaan vaatisi runsaita syöttömääriä, jotta pohjaveden puskurivaikutus voitettaisiin ja sen jälkeen vaikutuksia olisi hyvin hankalaa halli-ta. Lisäksi on riskialtista tehdä kemiallisia muutoksia veden laatuun näin lähellä vedenottamoaa. Esimerkiksi veden pH:n muuttaminen happoa syöttämällä voisi saada kyllä aikaan kloorifenolien muuntumisen, ei niin liukoiseen muotoon, mutta samalla liuottaa runsaasti metalleja maaperästä. Metallit puolestaan voisivat aihe-uttaa ongelmia kaivojen tukkeutumisena ja vedenkäsittelyprosessissa. Biologisen hajoamisen tehostaminen (eli ravinteiden syöttö ja maan lämmittäminen) on myös hidas ja vaikeasti hallittava prosessi. Mikäli kunnostuksessa tavoiteltaisiin aero-bista hajoamista, maahan täytyisi syöttää happea, joka puolestaan aikaan saisi

raudan saostumisen ja seuraisi kaivojen tukkeutumista. Järvisen mukaan kahteen jälkimmäiseen vaihtoehtoon sisältyy suuret riskit kloorifenolien leviämisestä vesilaitokselle. (Järvinen, 2011.)

5.3.6 Vaihtoehto 5. vedenoton muutokset

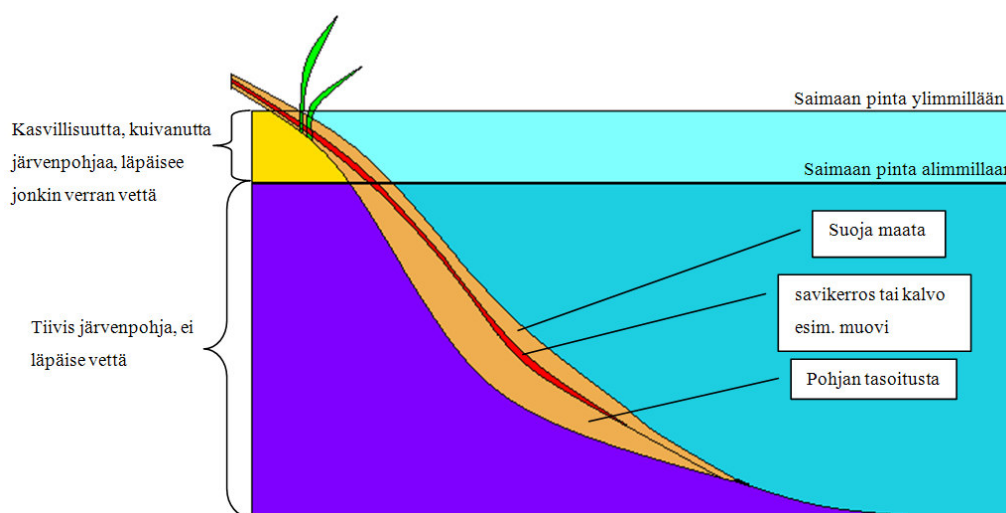
Vedenoton muutoksien vaikutuksia ei tunneta kunnolla. Ilmeisesti pohjoisen puolen kaivot ottavat pohjoiselta puolelta tulevan veden ja eteläpuolella olevat kaivot vastaavasti etelästä tulevan veden, eikä toiselta puolelta pääse toiselle puolelle vettä. Yhtenä vaihtoehtona olisikin tietysti lisätä eteläisen puolen vedenottoa, koska tuolla alueella ei ole tavattu kloorifenoleita. Mikkelin vesilaitoksen johtajan Reijo Turkin mukaan eteläiseltä puolelta tulevan veden määrää ei voida kuitenkaan kasvattaa (Turkki, 2011).

Pursialan vedenottamon pohjoisen kaivoalueen vedenoton muutoksilla saatettaisiin voida vaikuttaa kloorifenolien kulkeutumiseen vedenottamolle, mikäli tiedettäisiin mistä maakerroksista kaivot vetensä saavat. GTK tutkii parhaillaan, mistä kerroksista kaivot ottavat vetensä. Tutkimusten jälkeen voidaan tehdä arvioita vaikuttamisesta kloorifenolien leviämiseen vedenoton muutoksien avulla.

5.3.7 Vaihtoehto 6. rantaimetytymisen estäminen

Pursiala on ympäröity sekä itä- että länsireunoiltaan Saimaalla ja rantaimetytymistä voi siis tapahtua molemmilta puolilta, vaikkakin sahan puoleiselta alueelta imeytymisen uskotaan olevan vähäisempää. Kloorifenolipäästölähteen leviämisen kannalta Sahan puoleinen ranta eli Pursialan itäpuolella oleva Pappilanselkä on kuitenkin tärkeämpi. Ranta koostuu sahan alueella täytöistä ja tiiviiksi painautuneesta liejusta, joka ei läpäise vettä. Rannassa on kuitenkin kasvillisuutta, kiviä ja soraa sisältävä kaistale, jonka vedenalaisuus vaihtelee Saimaan pinnan korkeavaihtelun mukana. Tämän kaistaleen kautta saattaa imeytyä riittävä määrä vettä kuljettamaan lisää kloorifenoleita liikkeelle. Lisäksi rannantäytöissä voi myös olla kloorifenoleita, joita rantaimetytynyt vesi huuhtelee. (Rannan mahdollisten kloorifenolipitoisten täyttöjen kunnostaminen massanvaihdolla on kuitenkin riskialtista,

sillä tuolloin aukaistaisiin parempi reitti Pappilanselän vesille imeytyä pohjave-
teen.) Kustannustehokas tapa välttää veden sahan puoleisen rannan rantaimety-
mistä voisi olla rannan tiivistäminen kuvan 17 mukaisesti muovikalvolla tai savi-
kerroksella (Rautio, 2011).



Kuva 17. Rantaimetyksen estäminen sahan rannasta.

Rantaimetyksen estämisessä olisi syytä varautua myös äkilliseen ääripään sää-
ilmioon, joka voisi nostaa Saimaan pintaa paljon nykyistä korkeammalle. Tämän-
kaltainen Saimaan pinnan nousu voisi aiheuttaa voimakkaan pohjavesipulssin
saha-alueelle ja saada suuren määrän saha-alueen kloorifenoleita liikkeelle. Ran-
taimetyksen estäminen olisi siis syytä tehdä riittävän vahvaksi ja korkeaksi.

5.3.8 Suositus riskienhallintaan

Tämän työn perusteella suositeltavimmat riskienhallintatoimet ovat sahalla sijait-
seva kunnostuspumppaus, sahan ja vedenottamon väliin sijoittuva suojapumppa-
us- ja vesiverhoyhdistelmä sekä sahan rannan kautta tapahtuvan rantaimetyksen
estäminen. Edellä mainittujen hallintatoimien lisäksi kloorifenolipitoisuuksien
tarkkailua olisi syytä lisätä vedenottamolle. Tällöin mahdollisiin muutoksiin raakave-
den kloorifenolipitoisuuksissa olisi enemmän aikaa varautua. Myös Pursialan
pohjavedenottamon hiekkasuodattimissa tapahtuvaa kloorifenolien hajoamista ja
muuntumista on syytä tutkia tarkemmin. Tämän hetkisen tiedon mukaan raakave-
den mukana tullut kloorifenoli hajoaa hiekkasuodattimien mikrobitoinnin seu-

rauksena. Hajoamista ja sen täydellisyyttä ei kuitenkaan tunneta. Kloorifenoleita ei ole todettu vedenottamolta lähtevässä talousvedessä, mutta muuntumistuotteiden synnystä/olemassaolosta ei ole tietoa. Muuntumisen mahdollisuutta olisikin syytä tutkia, ettei kuluttajien juomaveteen päädy kloorifenolin muuntumistuotteita.

5.3.9 Vedenottamon menettäminen

Tässä työssä tarkasteltiin päällisin puolin eri vaihtoehtoja Mikkelin alueen vesihuollon uudelleen järjestelemiseksi, mikäli Pursialan vedenottamo menetettäisiin. Vaihtoehtoja ovat

- a) Uuden pohjavesilähteen hyödyntäminen (kaukana)
- b) Siirtyminen pohjaveden käytöstä pintaveden käyttöön raakavetenä
- c) Kehittää Hanhikankaasta suurempi vedenottamo

Talousvesilähteellä on määrälliset ja laadulliset vaatimukset, joita kaikki pohjavesialtaat eivät täytä. Kaikki pohjavesialtaat eivät myöskään ole helposti/taloudellisesti hyödynnettävissä.

Uuden talousvesikäyttöön soveltuvan, antoisuudeltaan noin 10 000 m³/d, pohjavesilähteen löytäminen on hankalaa, ellei mahdotonta. Tämänkokoisia vedenotto- paikkoja ei sijaitse Mikkelin lähistöllä. Pistohiekka–Rokansalon alueelta tai Ampumaradankangasalueelta Lappeenrannan Salpausselän harjulta olisi kenties mahdollisuus löytää isompia pohjavesialtaita. Niiden vesimääriä tai veden laatuja ei ole kuitenkaan tutkittu, eikä veden tarkkaa sijaintia tiedetä. Ihastjärven suunnalta voitaisiin nykytietämyksen mukaan ottaa noin 1 300 m³/d. Ongelmia tuottanee myös vesiverkoston saneeraus, jos vettä aletaan pumpata eri suunnasta kuin nykyisin. (Turkki, 2011.)

Mahdollisia pintavesilähteitä löytyisi nykytietämyksen mukaan Saimaalta (Anttolan seudulta), Luonterilta sekä Puulalta. Pursialan vesilaitoksen suora muuttaminen pintavesilaitokseksi ei kuitenkaan onnistu, mikä tarkoittaisi saneerauksia Mikkelin vesilaitoksella tai uuden vesilaitoksen rakentamista lähemmäksi ve-

denottoa paikkaa eli veden valmistamista talousvedeksi paikan päällä. Tämän lisäksi pintavesilaitos on raskas ajettava, eikä Mikkelissä ole osaamista sen ajamiseen. (Turkki, 2011.) Pohjavesialtaiden käyttöä talousvetenä puoltaa pohjaveden puhtaus, maku, kemiallisen tilan vakaus sekä veden suojeltavuus/ pienempi alttius onnettomuuksille/pilaantumiselle.

Mikkelin Hanhikankaan vedenottamo on tulossa laajentamaan lähitulevaisuudessa, mutta sillä ei laajennuksista huolimatta pystytä kattamaan koko Mikkelin talousveden tarvetta. Mikkelin alueen vesihuollon järjestämisessä ei siis ole tämän tarkastelun valossa mitään muuta vaihtoehtoa kuin Pursialan pohjaveden kunnostaminen.

6 YHTEENVETO

Pursialan pohjavesialue on Mikkelin tärkein raakavesilähde, joka kattaa noin kaksi kolmasosaa Mikkelin vedentarpeesta. Alueen pohjavesi muodostuu sadannan, rantaimetyymisen ja tekopohjaveden muodostamisen kautta. Pursialan pohjavesialuetta korvaavaa raakavesilähdettä ei ole löydettävissä Mikkelin lähistöltä, joten alueen pohjaveden suojeleminen on tärkeää.

Pursialan pohjavesialueella on sijainnut paljon teollisuutta, jonka johdosta alueella esiintyy myös useita eri maaperän ja pohjaveden pilaantumistapauksia. Merkittävimmät pohjaveden pilaantumistapaukset ovat VAPO Oy:n sahan aiheuttama KY-5-pilaantuma Pursialan kaupunginosassa ja VR:n ratapölkkykyllästäjän aiheuttama kreosottiöljypilaantuma sekä Rinnekadun Nesteen MTBE-pilaantuma Pursialan kaupunginosassa. KY-5:den sisältämä kloorifenoli aiheuttaa tällä hetkellä suurimman riskin pohjavedelle. Tästä syystä työ painottui suurelta osin kloorifenolin leviämisen tarkasteluun ja sen aiheuttaman riskin arviointiin. Muita haitta-aineita sivuttiin työssä vain pinnallisesti.

Kloorifenoleita sisältävän KY-5-sinistymisenestoainetta käytettiin sahalla vuosina 1954–1986. KY-5:tä pääsi maaperään KY-5-altaan ylivalumisen, KY-5-altaan tyhjennyksen sekä käsittelyistä puunipuista valumisen seurauksena. Käsitellyistä puutavarasta tapahtui päästöä myös varastointialueelta ylimääräisen KY-5:den valuessa puupaaleista maahan sekä sateen huuhdellessa puutavaraan jo sitoutunutta KY-5:tä pois. Lisäksi KY-5:tä on saattanut joutua maaperään allassakkojen ja KY-5-säkkien/tyynyrien hautaamisesta maahan. Tästä ei ole kuitenkaan varmuutta. Merkittävin päästölähde on KY-5-altaan ympäristö.

Maaperään joutuneen KY-5:den sisältämät kloorifenolit ovat aikojen saatossa kulkeutuneet syvemmälle maaperään ja pilanneet pohjamaan ja pohjaveden. Tällä hetkellä kloorifenolit ovat pääasiallisesti pohjaveteen liuenneena. Kloorifenolit esiintyvät pohjavedessä lähes täysin kloorifenolaatteina eli neutraalia kloorifenolimolekyylä liukoisemmassa muodossa. Kloorifenolien leviäminen Pursialan vedenottamolle on tapahtunut pohjaveden mukana sahalta vedenottamolle kulke-

vaa kalliopainannetta pitkin. Reitti on pääpiirteissään selvä, vaikkakaan yksityiskohtaista etenemisreittiä ei vielä tunneta. Kloorifenolipitoinen pohjavesi voi kulkeutua useammassa eri maakerroksessa sekä kallioraoissa kohti vedenottamoa. Tutkimusten perusteella maaperä on Mölnlycken ympäristöstä vedenottamolle saakka hyvin johtavaa sora- tai hiekka-ainesta. Mölnlyckeltä sahalle päin mentäessä esiintyy huonosti johtavampaa maamateriaalia, mutta kuitenkin niin, että on selvästi nähtävissä hyvin johtavien kerrosten jatkuminen aina vedenottamolta sahan KY-5-altailta saakka. On siis mahdollista, että pohjavesi virtaa paikoitellen nopeastikin sahalta vedenottamolle. Tutkimuksessa tehdyn arvion mukaan pohjavesi virtaa nopeimmillaan noin vuodessa sahalta vedenottamolle.

Suurin saha-alueella havaittu kloorifenolipitoisuus on noin 106 000 µg/l ja suurin saha-alueen ja vedenottamon puolivälissä tavattu pitoisuus on noin 15 000 µg/l ja suurin vedenottamon kaivoissa mitattu pitoisuus on noin 150 µg/l. Talousvesiasetuksen raja-arvo kloorifenoleille on 10 µg/l. Jakotukilta raaka-vedestä otetuissa näytteissä tai talousvedessä ei ole kuitenkaan havaittu talousvesiasetuksen ylittäviä pitoisuuksia kloorifenoleita.

Kloorifenolituloksissa on havaittavissa pulssimaista vaihtelua. Tämä johtuu todennäköisesti Saimaan pinnan vaihtelun seurauksena muuttuvasta rantaimetyneen veden määrästä. Saimaan pinnan nousu näyttäisi tuloksien perusteella nostavan CP-pitoisuuksia saha-alueella ja laskevan lähellä vedenottamoa. Pienoismallin perusteella kloorifenoli sijaitsee saha-alueella pääosin lähellä kallionpintaa ja sekoittuu koko pohjavesipatjaan mentäessä kohti vedenottamoa.

Työssä arvioitiin KY-5-liuoksen vuosittaiseksi käyttömääräksi noin 648–970 m³ ja allassakkaa arvioitiin syntyneen noin 10–31 m³. Kloorifenoleita arvioitiin päätyneen pohjaveteen noin 3 000–4 000 kg. Kloorifenolien hajoaminen ja muuntuminen pohjavedessä on hidasta niukan happitilanteen ja ravinteiden sekä mikrobien vähäisyyden johdosta.

Kloorifenolien aiheuttamat riskit pyrittiin tunnistamaan, määrittelemään ja luonnehtimaan käsitteellisen mallin avulla. Mallin mukaan kloorifenolipilaantum

suurin riski aiheutuu kloorifenolien mahdollisuudesta pilata Pursialan vedenottamon talousvesi. Osan kloorifenoleista tiedetään kulkeutuneen jo vedenottamolle, joten riski on todellinen. Suurin riski altistua pohjaveden haitta-aineille on Mikkelin asukkaalla, joka juo kloorifenoleilla pilaantunutta talousvettä. Pilaantumista ei ole vielä tapahtunut, mutta mikäli pilaantuminen tapahtuu, on riski merkittävä.

Riskien määrittämisen lisäksi työssä pyrittiin kartoittamaan riskienhallintakeinoja. Tällä hetkellä kloorifenolien aiheuttamaa riskiä hallitaan tarkkailemalla leviämisen etenemistä, koeluontoisella kloorifenolipitoisen pohjaveden pumppauksella sahan ja vedenottamon puolivälissä sekä varautumalla vesilaitoksella aktiivihiilen syöttöön talousvesiprosessiin.

Tämän hetkiset riskinhallintatoimet eivät poista riskiä. Lisäksi on mahdollista, että tehdystä tarkkailusta huolimatta kloorifenolien etenemistä ei havaita, eikä pitoisuuksien nousuun osata varautua riittävästi. Vedenottamolla on aktiivihiilen anostelu ja valmistuslaitteisto, mutta se on mitoitettu vain 100 µg/l kloorifenolipitoisuudelle, joten se ei välttämättä ole riittävä. Lisäksi laitteiston käynnistäminen on manuaalinen, eikä siis mene päälle välittömästi kloorifenolipitoisuuden noustessa raakavedessä. Kloorifenolipitoisuuksien tarkkailu vedenottamolla on puolestaan vähäistä. Voi siis olla, että tämänhetkisillä toimilla ei edes juuri pienennetä kloorifenolien aiheuttamaa riskiä vedenottamolle.

Tämän työn perusteella suositeltavimmat riskinhallintatoimet ovat sahalla sijaitseva kunnostuspumppaus, sahan ja vedenottamon väliin sijoittuva suojapumppaus- ja vesiverhoyhdistelmä sekä sahan rannan kautta tapahtuvan rantaimetyymisen estäminen. Sahan alueella tapahtuvalla kunnostuspumppauksella voidaan poistaa kloorifenolia pohjavedestä. Suojapumppauksella puolestaan varmistetaan, että kunnostuspumppauksesta mahdollisesti liikkeelle lähtevät kloorifenolit eivät pääse etenemään vedenottamolle sekä saadaan osa jo matkalla olevista kloorifenoleista pois vedenottamolle kulkeutumasta. Suojapumppauksen ja vedenottamon välille luodaan keinotekoinen vedenjakaja, joka estää suojapumppauksen läpi pääsevän kloorifenolipitoisen pohjaveden sekä jo matkalla olevan kloorifenolipitoisen pohjaveden pääsyn vedenottamolle. Keinotekoinen vedenjakaja eli vesiverho kat-

kaisee pohjaveden virtauksen kokonaan sahalta vedenottamolle. Rantaimetyminen estäminen esimerkiksi savella estää mahdollisten vesipulssien kloorifenoleita sahan-alueelta vedenottamolle päin työntävän vaikutuksen. Lisäksi kloorifenolien hajoamista ja ennen kaikkea kloorifenolien muuntumisen mahdollisuutta Purisialan vedenottamon hiekkasuodattimissa on syytä tutkia. Tutkimusten avulla voitaisiin varmistaa, etteivät talousveden käyttäjät altistu kloorifenolien muuntumistuotteille. Muuntumistuotteet voivat olla ihmiselle vaarallisempia kuin alkuperäiset kloorifenoliyhdisteet.

Näistäkin toimista huolimatta kaiken pohjavedessä olevan kloorifenolin pääsyä vedenottamolle ei voida estää. Hallintatoimien lisäksi kloorifenolipitoisuuksien tarkkailua olisikin syytä lisätä vedenottamolle. Tällöin mahdollisiin muutoksiin raakaveden kloorifenolipitoisuuksissa on enemmän aikaa varautua.

LÄHTEET

Aspholm, Juha; Rajala, Päivi. 2003. Polykloorifenoleilla ja PCDD/F-yhdisteillä pilaantuneet saha-alueet Länsi Suomen ympäristökeskuksen alueella. Vaasa: Länsi-Suomen ympäristökeskus. Alueelliset ympäristöjulkaisut 308. 62 s. ISBN 952-11-1438-X, ISSN 1238-8610.

Cedeström, Antero. 2011. Suunnitteluinsinööri. Kaupunkiympäristö. Mikkelin Kaupunki. [puhelinhaastattelu 17.5.2011].

Eskelinen, Kalle. 2011. Insinööri. Vanhempi suunnittelija. Ramboll Finland Oy. [Haastattelut 2011 kevät].

Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY). 2010. Mikkelin Purssialan, Hanhikankaan ja Porrassalmen pohjavesialueiden suojelusuunnitelmien päivitys 8.2.2010. ESAELY/42/07.00/2010.

FCG Planeko Oy. 2008. Aktiivihiielijauheen annostelu: mitoitus- ja toimintaselostus. Viite 1391-C9678. 13.6.2008. Työn tilaaja: Mikkelin Vesilaitos.

Grånsten, Jonne. 2011. Filosofian maisteri. Projektipäällikkö. Ramboll Finland Oy. [Haastattelut kevät 2011].

Gråsten, Jonne. 2010. Kloorifenolipitoisen jäteveden puhdistamisen koetoiminta Kenkäveronniemen jätevedenpuhdistamolla, Loppuraportti 10.8.2010. Viite 82119990-05. Työn tilaajat: Mikkelin Vesilaitos, Mikkelin Kaupunki, Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.

Heikkilä, Jaakko; Fischer, Kimmo; Lahtinen, Pentti; Leinonen, Veini; Ruohonen, Kari; Tenhola, Martti. 1983. TPO-83. Talonrakennuksen pohjatutkimusohjeet. Suomen geoteknillinen yhdistys ry ja Rakentajain kustannus Oy. Helsinki. s. 94. ISBN 951-676-126-7.

Järvinen, Kimmo. 2011. Filosofian maisteri. Johtava asiantuntija. Ramboll Finland Oy. [Haastattelut kevät 2011].

Järvinen, Kimmo. 1996. Aktiivihiilisuodatus Kärkölän kloorifenoleilla saastuneen pohjaveden puhdistuksessa. Uudenmaan ympäristökeskus julkaisuja 6. Helsinki: Uudenmaan ympäristökeskus. 46 s. ISBN 951-53-0804-6, ISSN 1238-5611.

Järvinen, Kimmo. 1991. Kloorifenolien biologinen hajottaminen leijupetireaktiorissa. Pro gradu –tutkielma. Turun yliopisto, Kemian ja biokemian laitos. 100s.

Järvinen, Kimmo; Lukkari, Tuomas; Massinen Timo. 2007. Mikkelin entinen kyllästämöalue: kunnostuksen yleissuunnitelma. Ramboll Finland Oy. Työntilaaaja: Solidium Oy.

Kansainväliset kemikaalikortit. 2011. [internet-sivusto]. [viitattu 4.4.2011]. Saatavissa:

<http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/index.php?searchfield=kloorifenoli&querymethod=Name>.

Kitunen, Veikko H.; Häggblom, Max M; Salkinoja-Salonen, Mirja. 1989. Puunsuojauskemikaalien sisältämien myrkyllisten orgaanisten yhdisteiden leviäminen sahan alueella ja näiden mikrobiologinen hajoavuus. Loppuraportti. Helsinki: Helsingin Yliopiston Yleisen mikrobiologian laitos. Työsuojelurahaston tukema tutkimushanke No. 85100 1985–87. 70 s.

Kiukas, Iiro. 2004. VAPO Oy:n Mikkelin (Pursiala) saha- ja kyllästämöalueen esiselvitystä. Esiselvitys. Etelä-Savon ympäristökeskus. 21 s.

Kiukas, Iiro. 2011a. Setrimäen kyllästämö, Mikkeli: pohjaveden tarkkailuraportti 12.2010–02-2011. Ramboll Finland Oy. Työn tilaaja: Governia Oy & Liikennevirasto, kunnossapitotoimiala. 16 s.

Kiukas, Iiro. 2011b. Diplomi-insinööri. Suunnittelija. Ramboll Finland Oy. [Haastattelu 31.1.2011].

Koljonen, Jarmo. 2011. Geologi. Ramboll Finland Oy. [Haastattelut kevät 2011].

Korhonen, Matti. 2011. Maastotyönjohtaja. Ramboll Finland Oy. [Haastattelut kevät 2011].

Koski, Jani, 2011a. Käyttöinsinööri, Mikkelin Vesilaitos. Mikkeli. [Sähköpostiviesti 4.4.2011].

Koski, Jani. 2011b. Käyttöinsinööri, Mikkelin Vesilaitos. Mikkeli. [Haastattelut 8.2.2011].

Lauhakari, Hannu. 2011. Insinööri. Projektipäällikkö. Ramboll Finland Oy. [Haastattelu 2.5.2011].

Leikas, Jaana; Siitari, Markku; Vitikainen, Auli. 2001. Mikkelin vesilaitos, perinteitä. Mikkeli: Mikkelin Vesilaitos. 78 s.

Massinen, Timo. 2011. Insinööri. Ryhmäpäällikkö. Ramboll Finland Oy. [Haastattelut kevät 2011].

Massinen, Timo; Grånsten, Jonne; Lukkari, Tuomas, Leinonen, Veini. 2008. Purisialan kloorifenolitutkimus, Mikkeli, Ympäristötekniset tutkimukset 2007. Yhteenvetoraportti. Ramboll Finland Oy. Viite: 82116912. s. 17.

Mikkelin Vesilaitos. 2011. [Internet-sivut]. [viitattu 5.1.2011] Saatavissa: http://www.mikkeli.fi/fi/sisalto/02_palvelut/03_asuminen_rakentaminen_ja_liikenne/22_vesilaitos/08_jateveden_puhdistus.

Mikkelin Vesilaitos. 2009. Vesilaitoksen tilastot 2009. 25s.

Mälkki, Esko. 1999. Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Tampere: Tammi. 304 s. ISBN-951-26-4515-7.

Niemelä, Reijo; Simonen, Ahti. 1980. Suomen geologinen kartta, kallioperäkartta, lehti – 3142 - Mikkeli. Geologinen tutkimuslaitos. Maanmittaushallituksen karttapaino, Helsinki.

Nystén, Taina. 1993. Kärkölen likaantuneen pohjavesialueen geologia ja maattainen mallintaminen. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja- sarja A 135. Helsinki. ISBN 951-47-7164-8, ISSN 0786-9592.

Pellinen, Jukka; Sorvari Jaana; Soimasuo, Markus. 2007. Pilaantuneen maaperän ekologinen riskinarivointi. Ympäristöopas. Suomen ympäristökeskus, tutkimusosasto. Helsinki. 113 s. ISBN 978-952-11-2717-5.

Peltonen, P; Pääkkönen, J. 2004. Selvitys kloorifenolien poistumisesta Pursialan vedenkäsittelyprosessissa. 21.20.2004. Viite 0140-C48371. Suunnittelukeskus Oy.

Penttinen, Mikko. 2010. Saimaankatu, Mikkeli: Pilaantuneen maaperän kunnostus. Loppuraportti. Tilaaja: Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, Mikkelin Vesilaitos, Mikkelin Kaupunki. Viite: 82118933-05.

Penttinen, Mikko. 2003. Kreosoottiöljyn käyttäytyminen maaperän veden kyllästämisessä vyöhykkeessä. Insinööriyö. Ammattikorkeakoulu, Tekniikan koulutusyksikkö, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Mikkeli. 48 s.

Petäjä-Ronkainen, Anne. 2011. Geologi. Etelä-Savon ELY-keskus.[Haastattelut: 17.1.2011 ja 14.4.2011].

Petäjä-Ronkainen, Anne; Haajanen, Kirsi; Panula-Ontto-Suuronen, Anni. 2010. Etelä-Savon pohjavesien hoidon toimenpideohjelma 2010–2015. Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja: Ympäristö ja luonnonvarat

vastuualue. Helsinki: Etelä-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 111 s. ISSN 1799-0882, ISBN 978-952-257-074-1.

Pfister, Klaus; Seppänen, Ari; Jaako, Mikko; Muilu, Jussi. 1988. Santaholman saha-alueen kunnostamisen yleissuunnitelma. Helsinki: Ympäristöministeriö: ympäristönsuojeluosasto. Sarja C 31/1988. 74 s. ISSN 0784-8145, ISBN 951-47-0443-7.

Priha, Eero; Anttila, Piia; Ahonen, Ilpo; Elovaara, Eivor; Mäkelä, Mauri; Vainiotalo, Sinikka; Zitting, Antti; Santonen Tiina. 2010. PAH-yhdisteiden tavoite-
tasoperustelumuistio. Työterveyslaitos. 28 s.

Puhakka, Jaakko; Melin, Esa. 1996. Bioremediation of Chlorinated Phenols, in Bioremediation: Principles and Applications. Eds. R.L. Crawford and D. Crawford, pp. 254-299, Cambridge University Press, Cambridge.

Rantamäki, Martti; Jääskeläinen, Raimo; Tammirinne, Markku. 1979. Geotekniikka 464. Kahdeksas muuttumaton painos. Otakustantamo: Vaasa. ISBN 951-671-342-4. 293 s.

Ramboll Finland Oy. 2011. Kuva-arkisto.

Rautio, Hannu. 2011. Diplominsinööri. Kehitysinsinööri. Mikkelin kaupunki. Mikkelä. [Haastattelut kevät 2011].

Rautio, Mikko. 2009. Lausunto pilaantuneen maaperän kunnostuksen toimenpide-
raportista ja riskinarvioinnista. Dnro: ESA-2008-226-124. Etelä-Savon ympäristökeskus.

Rouvinen, Esa. 2011. Ylempi AMK. Ympäristöinsinööri. Etelä-Savon ELY-keskus. Mikkelä. [Haastattelu 17.1.2011].

SFS-ISO 14154. 2005. Soil quality- Determination of some selected chlorophenols- Gas-chromatographic method with electron-capture detection. First edition. Suomen standardisoimisliitto SFS. 22 s.

SFS-EN 12673.1999. Water quality- Gas chromatographic determination of some selected chlorophenols in water - Veden laatu. Tiettyjen kloorifenolien kaasukromatografinen määrittäminen vedestä. Suomen standardisoimisliitto SFS. 19 s.

Suomen ympäristökeskus. 2011. Pintavedet Etelä-Savossa. [internet-sivusto]. [viitattu 28.4.2011]. [Päivitetty 21.1.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1266&lan=fi>

Suunnittelukeskus Oy. 2004. Selvitys kloorifenolien poistumisesta Pursialan vedenkäsittelyprosessissa. 21.10.2004. Viite 0140-C48371. Työn tilaaja: Mikkelin kaupunki. 12 s.

T&A Mämmelä Oy. 2009. Mikkelin Vesilaitos: Pursialan Vesilaitos: Aktiivihiili-jauheen annostelu: Käyttö- ja hoito-ohje.

Taipale, Tero. 2007. Hydrogeologi. Ramboll. Pohjaveden isotooppitutkimus, pintaveden imeytyminen pohjaveteen. Viite 82116912. Työn tilaaja: Mikkelin kaupunki/ Etelä-Savon Ympäristökeskus.

Takala, Mikael. 2011. Geologi. Ramboll Finland Oy. [Puhelinhaastattelu 20.4.2011].

Tekninen toimi. 2008. Mikkelin kaupunki: yhdyskuntatekniikka ja ympäristö. Vesihuollon kehityssuunnitelma vuosille 2008–2013. 14.10.2008. 29 s.

TKK. 2006. Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. Mikkelin entinen kylästäjä: Pohjavesien liikkeiden, faasin liukenemisen ja haitallisten aineiden kulkeutumisen mallintaminen: mallin täydennys 6.11.2006.

Torniainen, Esko. 2011. Käyttömestari. Mikkelin Vesilaitos. Mikkeli. [Haastattelu 8.2.2011].

Turunen, Markku. 2011. Vapo Oy:n kesätyöntekijä vuosina 1986–1988. Mikkeli. [Haastattelu 5.4.2011].

Turkki, Reijo. 2011. Diplomi-insinööri. Vesihuoltopäällikkö. Mikkelin Vesilaitos. Mikkeli. [Haastattelut kevät 2011].

Tuutti, Tytti. 2011. Chemist, SGS. [Sähköpostiviesti 23.2.2011].

Uljas, Jenni. 2004. Ramboll Finland Oy. Selvitys: PAH-johdannaisten tunnistaminen ja merkitys kreosoottikyllästämisellä. 41 s.

Valo, Risto; Ikäheimo, Jukka; Mäki-Torkko, Tuukka; Heikkinen, Eero; Favorin, Maria; Saksa, Pauli. Entisen saha-alueen täydentävät ympäristötutkimukset 2010. Raportti 27.12.2010. Pöyry. Viite: 16WWE0484.

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 2001. Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000: Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 461/2000 talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. ISBN 952-5000-31-1

Ylönen, Kirsi. 2005. Eräät orgaaniset ja epäorgaaniset haitta-aineet Etelä-Savon tärkeimpien vedenottamoiden raaka- ja pohjavesissä. Etelä-Savon ympäristökeskuksen moniste 65. Mikkeli. 85 s.

