

15.3.2016

FINNPULP OY

Selvitys Kuopion biotuotetehtaan jätevesipäästöjen vaikutuksista
Kuopion Veden vedenhankintaan

Copyright © Pöyry Finland Oy

Kaikki oikeudet pidätetään Tätä asiakirjaa tai osaa siitä ei saa kopioida tai jäljentää missään muodossa ilman Pöyry Finland Oy:n antamaa kirjallista lupaa.

Copyright © Pöyry Finland Oy

TIIVISTELMÄ

Finnpulpin biotuotetehtas käyttää havusellun valkaisuun ECF (Elementary Chlorine Free)-prosessia, jossa klooridioksidivalkaisun yhteydessä syntyy AOX-päästöjä vuositasolla keskimäärin 500 kg/d. AOX-yhdisteiden reduktio jätevedenpuhdistusprosessissa on n. 70 %.

Mallinnustulosten mukaan normaalilla vesivuosisijaksolla keskimääräinen AOX:n pitoisuuslisäys Itkonniemen edustalla alusvedessä on noin 80 µg/l ja kuivalla vesivuosisijaksolla 115 µg/l. Mallinnukset tehtiin määrittelemällä AOX konservatiiviseksi aineeksi, eli pitoisuuden pieneeminen tapahtuu ainoastaan laimentumalla. Osa AOX-yhdisteistä hajoaa biologisesti ja osa poistuu kiintoainekseen sitoutuneena sedimentoitumalla. Pitoisuuslisäykset ovat näin ollen todellisuudessa yleensä teoreettisia mallinnustuloksia alhaisempia.

Parhaiten Finnpulpin tehtaan jätevedenpuhdistusprosessissa poistuvat pienimolekyyliset yhdisteet ja jäteveen jää suuren molekyylipainon AOX-yhdisteitä, jotka tutkimusten mukaan noudattavat rakenteeltaan humusyhdisteitä ja poistuvat talousveden käsittelyprosessissa pääosin kemiallisessa saostuksessa. Perinteisellä vedenkäsittelyllä (saostus, selkeytys, hiekkasuodatus) on saavutettu n. 30–50 % AOX-reduktiot vuodenajasta riippuen.

Nyky aikaisten klooridioksidia käyttävien tehtaiden jätevesissä esiintyvien pienimolekyylisten yhdisteiden kloorautumisaste on pieni. Pienimolekyyliset yhdisteet koostuvat di- ja trikloorietikkahapoista ja mono- ja dikloorifenoleista. Edellä mainituista yhdisteistä terveysperusteiset raja-arvot juomavedessä on asetettu dikloorietikkahapolle, 50 µg/l, ja trikloorietikkahapolle, 200 µg/l. Mono- ja dikloorifenoleille ei ole asetettu terveysperusteista raja-arvoa, mutta Suomen talousveden laatuvaatimuksissa yhteenlaskettu pitoisuus kloorifenoleille ei saa ylittää arvoa 10 µg/l. Haitallisia furanoneja ja dioksiineja ei muodostu.

Normaalitilanteessa tehtaan AOX-päästöjen vaikutus Kuopion vedenhankintaan voidaan arvioida hyvin pieneksi, sillä 2/3 kaupunkialueelle tuotetusta vedestä otetaan Jänneniemen teko-pohjavedenottamolta, joka ei ole tehtaan vaikutuspiirissä. Loput 1/3 otetaan Hietasalon vedenottamolta, johon suotautuu rantaimetyksessä Kallaveden vettä. Hietasalon vesi käsitellään kemiallisesti ennen sen käyttöä talousvetenä, jolloin voidaan arvioida, että suurin osa Itkonniemen edustan suuren molekyylikoon AOX-yhdisteistä on poistunut Hietasalon vedestä rantaimetyksen ja kemiallisen saostuksen jälkeen.

Sellutehtaan jätevesien myötä rauta- ja mangaanipitoisuudet lisääntyvät Kallavedessä ja näin ollen mahdollisesti myös Hietasalon vedenottamon vedessä. Hietasalon veden rauta- ja mangaanipitoisuudet ovat myös tällä hetkellä yli talousveden laatusuosituksen, minkä takia rauta ja mangaani poistetaan vedestä Itkonniemen laitoksella.

Tilanteessa, jossa Jänneniemi tai sekä Hietasalo, että Jänneniemi olisivat pois käytöstä ja kaupunki joutuu ottamaan kaiken käyttämänsä veden suoraan Kallavedestä, voivat selluteollisuuden jäteveden AOX-yhdisteet lisätä talousveden sisältämän AOX:in kokonaismäärää erityisesti talviaikaan. Jos kaikki vesi otetaan suoraan Itkonniemen edustalta, AOX-pitoisuuden lisäys talousveeten olisi mallinnuksen ja aikaisempien vedenkäsittelyä koskevien tutkimusten perusteella vesivuosisijaksosta riippuen enimmillään 50–80 µg/l. Tästä pitoisuudesta terveydelle haitallisten di- ja trikloorietikkahappojen osuus jää alle terveysperusteisten raja-arvojen.

Tehtaan ja sen jätevedenpuhdistamon häiriötilanteisiin on varauduttu BAT-käytäntöjen mukaisesti. Tämä pitää sisällään mm. tasaus- ja varoaltaiden rakentamisen, jäteveden neutraloinnin ja jäähdytyksen kahdessa vaiheessa, matalakuormitteisen aktiivilietelaitoksen valitsemisen puhdistusprosessiksi sekä sähkönsyötön varmistamisen.

TIIVISTELMÄ	3
1 JOHDANTO	5
2 AOX-YHDISTEET	5
2.1 Yleistä	5
2.2 Havusellun valkaisu prosessi Finnpulpin tehtaalla ja syntyvät AOX-määrät	6
2.3 Havusellu prosessin AOX-yhdisteiden karakterisointi	7
2.4 AOX-yhdisteiden poistuminen biotuotetehtaan jätevedenpuhdistuksessa.....	10
2.4.1 Yleistä nykyisten sellutehtaiden jätevesien biologisista vesistövaikutuksista	11
2.5 AOX-pitoisuudet vesistöissä	11
2.5.1 AOX-pitoisuuslisäykset Kallavedessä	12
2.6 Arvio biotuotetehtaan AOX-päästöjen vaikutuksista Kuopion kaupungin vedenhankintaan	13
2.6.1 Kuopion vedenhankinta	13
2.6.2 AOX-päästöjen vaikutus talousveden tuotantoon	14
3 RAVINNEKUORMA	18
4 METALLIT	19
5 HÄIRIÖTILANTEIDEN HALLINTA	20
5.1 Varautuminen sellu prosessin häiriötilanteisiin.....	20
5.2 Varautuminen jätevedenpuhdistamon häiriötilanteisiin.....	21
5.3 Biotuotetehtaan laivaliikenne	21
5.4 Biotuotetehtaan kemikaalikuljetusten kuljetussuunnat.....	22
6 LÄHTEET	23

1 JOHDANTO

Tämän selvityksen tarkoituksena on tarkentaa Kuopion Veden lausunnossaan (20.1.2016) esiin nostamia kohtia Kuopion Sorsasaloon rakennettavaksi suunnitellun Finnpulp Oy:n biotuotetehtaan jätevesipäästöjen vaikutuksesta Kuopion Veden vedenhankintaan.

Selvityksessä kuvataan biotuotetehtaan havusellun valmistusprosessissa syntyvät AOX-yhdisteet, sekä tehtaan jätevedenkäsittelyprosessi ja arvioidaan syntyvien päästöjen vaikutukset purkuvesistöön ja edelleen veden käsittelyyn ja talousveden laatuun.

Oleellisena osana päästöjen hallintaa on tehtaan prosessin ja jätevedenpuhdistamon riskienhallinta. Purkuvesistöön kohdistuvat päästöt tulee hallita myös prosessin ja/tai jätevedenpuhdistamon häiriötilanteissa.

Kuopion Veden Hietasalon vedenottamo ja Itkonniemen vesilaitos sijaitsevat virtaus-suunnassa biotuotetehtaan käsitellyn jäteveden purkupuutken alapuolella. Kallaveden järvivesi rantaimetytetään Hietasalossa ja käsitellään noin kahden viikon viipymän jälkeen Itkonniemen vedenkäsittelylaitoksella kemiallisesti. Hietasalon vedenottamon raakavedestä valmistettu talousvesi kattaa normaalitilanteessa noin 40 % Kuopion kaupunkialueen veden kulutuksesta. Suoraan Kallavedestä otetaan pintavettä Itkonniemen laitokselle noin 5 % kokonaistuotannosta.

2 AOX-YHDISTEET

2.1 Yleistä

Metsäteollisuuden jätevesiä ja niiden aiheuttamia vaikutuksia on tutkittu laajasti usean vuosikymmenen ajan sekä laboratoriotutkimusten että kenttätutkimusten avulla. Tutkimukset ovat käsitelleet jätevesien kemiallista koostumusta, niiden muuttumista vesistöissä ja niiden aiheuttamia vaikutuksia. Tutkimusten pääpaino sijoittui 1980- ja 1990-luvuille merkittävien prosessimuutosten (valkaisu ja jätevesien käsittely) yhteyteen. Sen jälkeen tutkimusaktiiviteetti on selvästi vähentynyt ja suurin osa viimeaikaisista tutkimuksista on liittynyt lähinnä tarkkailututkimusten ja seurantojen yhteyteen. Tämän takia suurin osa tässä selvityksessä referoiduista viitteistä on peräisin edellä mainituilla vuosikymmenillä tehdyistä tutkimuksista.

Jätevesistä mitattu AOX (Adsorbable Organic Halogens, Adsorboituvat orgaaniset halogeeniyhdisteet) on oleellinen muuttuja metsäteollisuuden jätevesien vaikutustutkimuksissa. AOX on summaparametri, joka kuvaa orgaanisesti sitoutuneen kloorin, bromin ja jodin määrää.

AOX analysoidaan eurooppalaisen standardin (EN-ISO 9562:2004) mukaan. AOX:n etuna on, että se on helppo mitata, se kuvaa hyvin tuotantoprosessien ja jäteveden käsittelyn toimivuutta ja auttaa tunnistamaan ne prosessi- ja käsittelytekniikoiden muutokset, jotka voivat vähentää klooriorganisten yhdisteiden päästöjä.

Menetelmän luonteesta johtuen AOX-analyysillä ei kuitenkaan saada tietoja jätevesissä esiintyvistä kemiallisista yhdisteistä tai millaisia yhdisteseoksia esim. sellutehtaan jätevesissä esiintyy. AOX ei myöskään korreloi yhdisteiden pysyvyyden tai bioakkumulaation kanssa eikä huomioi sitä, että organoklooriyhdisteiden toksisuus ja biologiset ominaisuudet vaihtelevat suuresti; vähemmän kloorautuneet yhdisteet aiheuttavat vähemmän vaikutuksia ja riskejä kuin yhdisteet, joiden kloorausaste on suurempi (Solomon 1993). AOX auttaa kuitenkin indikoimaan jätevesissä esiintyvän kloorin määrää.

Ympäristöön päätyvien orgaanisten klooriyhdisteiden aiheuttaman huolestuneisuuden vuoksi useiden maiden lainsäädännössä on asetettu rajoituksia valkaistua massaa tuottavien laitosten AOX-päästöille. Euroopan Unionin ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämisen direktiivin (IPPC-direktiivi) mukaan AOX-päästöjen tulisi olla alle 0,20 kg/tonni massaa. USA:n ympäristövirasto (US EPA) määrittää kuukausikeskiarvon AOX-päästöille 0,272 kg/tonni massaa (Taulukko 2-1). Pohjoismaissa AOX-päästöistä säädetään tehtaiden ympäristöluvuissa ja vielä 2000-luvun alussa AOX-päästörajat olivat tasolla 0,25–0,40 kg/tonni massaa. Nykyisin AOX-päästörajat lähes kaikilla Suomen tehtailla ovat tasolla 0,20 kg/tonni massaa.

Taulukko 2-1 AOX:n päästörajojen vertailua (kg/tonni massaa)

	Raja-arvo AOX-yhdisteille (kg/tonni massaa)
Finnpulp	0,15
IPPC, vuosikeskiarvo (EU BAT)	<0,20
US EPA, New Resource Performance Standard (kuukausikeskiarvo)	0,272
Skandinavian tehtaat, nykyhetki	0,15 – 0,25
Joutsen-merkki, painotettu vuosikeskiarvo selluntuottajille	0,17

2.2 Havusellun valkaisu prosessi Finnpulpin tehtaalla ja syntyvät AOX-määrät

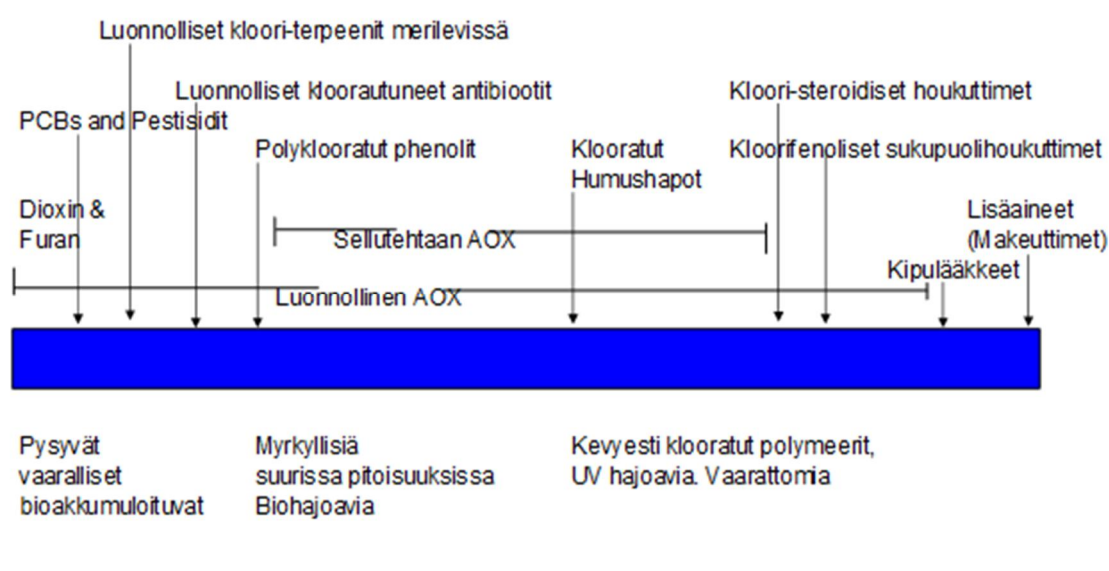
Finnpulp valmistaa 1,2 miljoona tonnia valkaistua havusellua sulfaattiprosessilla. Sellu valkaistaan ns. ECF (Elementary Chlorine Free) -prosessilla, jota edeltää kaksivaiheinen happidelignifointi. Valkaisuun tulevan massan ligniinipitoisuus happivaiheiden jälkeen on pieni (noin 1,6 %), kun happivaiheissa saavutetaan noin 60 % delignifointiaste.

Valkaisussa massa valkaistaan klooridioksidilla, hapella ja peroksidilla vaaleuteen 90 % ISO. Happivaiheiden jälkeen massa pestään kahdessa pesuvaiheessa. Tavoitteena on alentaa pesuhäviön aiheuttamaa klooridioksidin kulutusta. Valkaisusekvenssi on kolmi-vaiheinen D-E_{OP}-D. Valkaisussa poistetaan massan jäännösligniini. Kun samalla liukenee jonkin verran hiilihydraatteja, saantohäviö on noin 3 %. Klooridioksidi poistuu pääosin kloridina valkaisu suodoksissa. Hyvin pieni osa muodostaa kloorattuja orgaanisia yhdisteitä, joita mitataan AOX:nä.

Valkaisussa syntyy noin 0,46 kgAOX/ADt kun käytetään noin 13,7 kgClO₂ per sellu-tonni. AOX-päästö syntyy tasaisesti tuotantomäärän suhteessa kun suodokset johdetaan puhdistamolle, eikä siihen liity satunnaispäästöjä. AOX-yhdisteiden reduktio jätevedenpuhdistusprosessissa on noin 70 %. AOX-päästö on 500 kg/d vuosikeskiarvona. Kun kuukausituotanto vaihtelee, voi AOX-päästö enimmillään olla noin 600 kg/d kuukausikeskiarvona. Keskimääräinen AOX-konsentraatio vesistöön johdettavassa käsitellyssä jätevedessä on noin 7,6 mg/l ja jätevesimäärä noin 66 000 m³/d.

2.3 Havuselluprosessin AOX-yhdisteiden karakterisointi

Kuvassa 2-1 on esitetty karkealla tasolla eri AOX-yhdisteiden karkea spektri (Flemming 1995) ja mihin kohtaa sellutehtaan jätevesien sisältämä AOX sijoittuu. Kuvaan 2-2 on koottu eri matriiseista analysoituja AOX-pitoisuuksia.



Kuva 2.1 AOX -spektri (Flemming 1995).

Suurin osa valkaistua sellua tuottavien tehtaiden jätevesien sisältämästä orgaanisesta aineksesta on suurimolekyylisessä fraktiossa (Molekyylipaino, MW > 1 000).

Seuraavassa on muutamia tämän aineksen ominaisuuksista (Tana & Lehtinen 1996):

- Muodostuu pääosin vahvasti hapettuneesta ligniiniperäisestä aineksesta
- Sisältää oligo - ja/tai polysakkarideja pääosin peräisin hemiselluloosasta
- Sisältää pääosan COD:stä
- Sisältää suuren osan orgaanisesti sitoutuneesta kloorista
- Sisältää pääosan väristä

Suurimolekyylinen aines sellutehtaan jätevesissä sisältää suuren osan COD:stä samoin kuin AOX:stä erityisesti biologisen käsittelyn jälkeen. Tutkimukset osoittivat, että nykyaikaisten sellutehtaiden valkaisuprosesseista peräisin olevan suurimolekyylisen aineksen kloorausaste oli pieni (Mörck ym. 1991) eikä aines poikennut luonnollisesti kloorautuneesta aineksesta. Tämän perusteella pääteltiin jo 1990-luvulla olevan varsin epätodennäköistä, että jätevesistä peräisin oleva suurimolekyylinen aines aiheuttaisi korkeasti kloorattujen monomeristen fenolien muodostumista alapuolisissa vesistöissä (Axegård 1993). Sellutehtaan jätevesissä suurimolekyylisessä aineksessa esiintyvät klooratut fenolit ovat rakenteeltaan samanlaisia kuin luonnossa humuspitoisissa vesissä tavattavat vastaavat yhdisteet (Dahlman ym. 1993).

Sellutehtaan jätevesien pienimolekyylisessä (MW < 1 000) orgaanisen aineksen fraktiossa esiintyviä yhdisteitä on esitelty taulukossa 2-2 (Tana & Lehtinen 1996). Tiedetut yhdisteet voidaan karkeasti erotella kolmeen pääryhmään: hapot, fenoliyhdisteet ja neutraalit yhdisteet. Fenoliset yhdisteet ja eräät hapot ovat jäännösligniinistä peräisin olevia hajoamistuotteita. Muut yhdisteet kuten hartsi- ja rasvahapot, terpeenit ja sterolit ovat uuteaineiden jäännöksiä ja kulkeutuvat valkaisuun massan mukana. Nykyaikaisten kloo-

ridioksidia käyttävien tehtaiden jätevesissä esiintyvien pienimolekyylisten yhdisteiden kloorautumisaste on pieni (Dahlman & Mörck 1993).

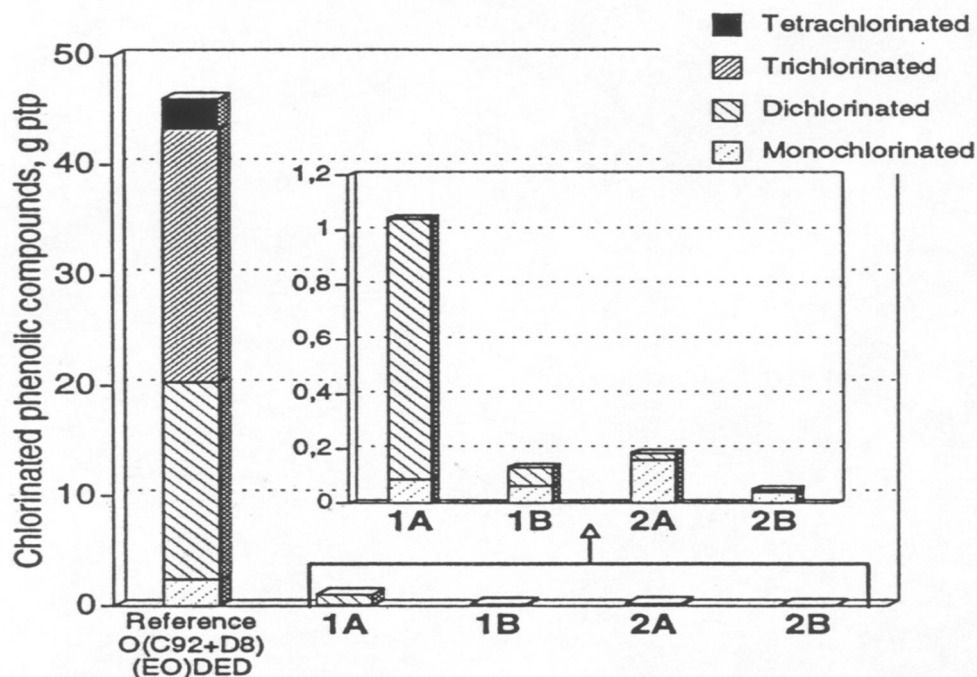
Taulukko 2-2 Metsäteollisuuden jätevesistä identifioituja pienimolekyylisiä yhdisteitä (Dahlman & Mörck 1993)

Hapot	Fenoliset yhdisteet	Neutraalit yhdisteet
Karboksyylihapot (esim. tyydyttyt rasvahapot, asetoni)	Fenolit	Klooratut alkaanit (pääasiassa kloroformi)
Alkenoiset hapot (esim. tyydyttämättömät rasvahapot)	Katekolit	Alifaattiset alkoholit
Hydroksyylihapot	Guajakolit	Aromaattiset ja alifaattiset aldehydit
Aromaattiset hapot	Syringolit (lehtipuussa)	Aromaattiset ja alifaattiset ketonit
Hartsihapot	Vanilliinit	Bentseenit Veratrolit PCDD ja PCDF Sulfonit Tiofeenit Terpeenit Sterolit

Yhdisteiden kyky bioakkumuloitua eläviin eliöihin liittyy yhdisteen kykyyn absorboitua eliöiden rasvakudokseen. Tämä ominaisuus, jota kutsutaan rasvaliukoisuudeksi, voidaan määrittää oktanoli-vesi jakaantumiskertoimella, joka on yhdisteen oktanoli-liukoisuuden suhde yhdisteen vesiliukoisuuteen. Oktanoli on valittu siksi, että sen on katsottu edustavan hyvin rasvakudosta. Pysyvien yhdisteiden, kuten polykloorattujen yhdisteiden, jakaantumiskertoimet ovat noin miljoonan suuruusluokkaa (=kemikaalin pitoisuus rikastuu miljoona kertaa oktanolissa veteen verrattuna).

Tutkimukset ovat osoittaneet, että AOX:n suurimolekyylinen fraktio, joka on jätevesissä esiintyvien kloorattujen orgaanisten yhdisteiden suurin yksittäinen fraktio, omaa oktanoli-vesi jakaantumiskertoimen alle yksi (1) (Yan 1994). Toisessa tutkimuksessa todettiin AOX:lle vastaavaksi jakaantumiskertoimeksi 0,03 (Dierick & Banerjee 1993). Jakaantumiskerroin, joka on pienempi kuin yksi, tarkoittaa, että AOX:llä on suurempi suuntautuvuus veteen kuin oktanoliin ja siten se ei ole bioakkumuloitua eläviin eliöihin.

Jätevesien kemiallista karakterisointia tehtiin runsaasti 1990-luvulla ja erityisesti keskityttiin organokloorisiin yhdisteisiin, kuten kloorifenoleihin, joita pidettiin vaikutuksiltaan merkittävimpinä. Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin kahden ECF-vaikuttajan käyttävän tehtaan jätevesien kloorifenolipitoisuuksia ennen ja jälkeen käsittelyn sekä vertailuna kaasukloorivaikuttajan käyttävän tehtaan jätevesien vastaavia pitoisuuksia (Dahlman 1993). Tutkimuksen tuloksia on esitetty kuvassa 2-2.



Kuva 2.2 ECF-valkaisimon jätevesien kloorifenolipitoisuuksia (g/tonni massaa), 1A=käsittelemätön jätevesi ECF-valkaisu, 1B=sama jätevesi biologisen käsittelyn jälkeen, 2A=käsittelemätön jätevesi ECF-valkaisu, 2B=sama jätevesi ilmastetun lammikkokäsittelyn jälkeen, Reference=kloorivalkaisun (8 % klooridioksidia, kloorikaasu) käsittelemätön jätevesi

Kuvassa 2-2 esitetyt tulokset osoittavat selvästi, että happidelignifioidun havupuusellun ECF-valkaisussa muodostuu vain mono- ja dikloorifenoleja. Tri- ja tetrakloorifenoleja ei havaittu muodostuvan, kun määrittämissä rajana oli 0,005 g/tonni massaa.

Toisessa tutkimuksessa, joka tehtiin Kanadassa (O'Connor 1994), selvitettiin laboratorio-olosuhteissa havupuusellun valkaisussa muodostuvia kloorifenoleja (Taulukko 2-3).

Taulukko 2-3 Kloorattujen fenolien, etikkahappojen ja neutraaliyhdisteiden pitoisuuksia laboratorio-olosuhteissa tehdyissä valkaisuksissa, jossa käytettiin eri valkaisuensekvenssejä. ND = ei havaittu.

Määrä, g/Adt	Valkaisuensekvenssit *)			
	(C90+D10)E ¹	(D50C50)E ²	D100E ³	OD100E ⁴
Klooratut fenolit				
2,4-Dikloorifenoli	1,9	1,7	0,06	ND
2,4,6-Trikloorifenoli	2,0	1,7	ND	ND
2,3,4,6-Tetrakloorifenoli	0,28	0,28	ND	ND
Pentakloorifenoli	ND	ND	ND	ND
4,6-Diklooriguajakoli	ND	ND	0,06	ND
3,4- Diklooriguajakoli	4,5	4,8	0,06	ND
4,5- Diklooriguajakoli	5,4	12	0,06	0,06
3,4,6-Triklooriguajakoli	1,0	0,50	ND	ND
3,4,5-Triklooriguajakoli	14	6,2	ND	ND
4,5,6- Trikllooriguajakoli	1,9	1,8	ND	ND

Tetraklooriguajakoli	2,8	0,60	ND	ND
4,5-Dikloorikatekoli	1,8	3,8	0,06	0,11
3,4,5-Trikloorikatekoli	7,9	9,6	ND	ND
Tetrakloorikatekoli	8,4	3,3	ND	ND
6-Kloorivanilliini	5,5	11	1,5	0,38
5,6-Dikloorivanilliini	1,9	2,1	0,06	ND
Yhteensä, g/Adt	59	59	1,9	0,61
Klooratut etikkahapot				
Dikloorietikkahappo	100	100	18	37
Trikloorietikkahappo	350	300	1,6	6,2
Yhteensä, g/Adt	450	400	19,6	43,2
Klooratut neutraalit				
Diklooridimetyylisulfoni	12	11	5,4	7,3
Triklooridimetyylisulfoni	0,44	0,94	0,28	0,11

*)1: kloorivalkaisu, jossa 10 % klooridioksidia, 2: valkaisuissa 50 % klooria ja 50 % klooridioksidia, 3: klooridioksidivalkaisu, 100 %, 4: **happidelignifiointi ja klooridioksidivalkaisu, 100 % (=ECF)**

Myös kanadalaisen tutkimuksen tulokset osoittavat, että ECF-valkaisuissa ei muodostu tri- ja tetrakloorifenoleita, vaan syntyvät kloorifenolit ovat biologisesti hajoavia.

Klooridioksidivalkaisun (ECF) yhteydessä ei myöskään synny vaarallisena pidettyjä tetraklooridibentso-p-dioksineja ja furaaneja (TCDD/TCDF). Muodostuakseen nämä TCDD- ja TCDF-yhdisteet vaativat molekyyllisen esiasteen (dibenzo-p-dioksinin ja dibentsofuraanin). Klooridioksidi ei normaaleissa ECF-valkaisuolosuhteissa reagoi näiden dioksinien ja furaanien esiasteiden kanssa (Berry ym 1989). Kun kloori korvataan valkaisuissa kokonaan klooridioksidilla, eliminoidaan dioksinien ja furaanien muodostuminen. Tämä on todettu Skandinavian, Pohjois-Amerikan ja Australian sellutehtailla ja lukuisat tutkimusraportit ovat varmistaneet, että ECF vähentää dioksinien ja furaanien esiintymisen jätevesissä alle määritysrajojen. Finnulpin tehdas tulee käyttämään viimeisintä BAT-teknologiaa, jossa valkaisu menetelmien lisäksi muut prosessitekniset ratkaisut entisestään vähentävät haitallisten yhdisteiden syntymistä ja joutumista alapuolisiin vesistöihin.

2.4 AOX-yhdisteiden poistuminen biotuotetehtaan jätevedenpuhdistuksessa

Tehtaan jätevesi käsitellään mekaanisbiologisessa puhdistamossa, joka käsittää tasaus- ja varoaltat, esiselkeyttimen, ilmastusaltat ja jälkiselkeyttimet. Prosessi poistaa noin 70 % sellutehtaan COD -kuormasta ja noin 70 % AOX -kuormasta. Biologinen puhdistus pystyy poistamaan alhaisemman molekyyllipainon yhdisteitä, jotka hajoavat biologisesti ja jätevedeen jäävä jae tulee hitaasti hajoavista suuremman molekyyllipainon yhdisteistä.

2.4.1 Yleistä nykyisten sellutehtaiden jätevesien biologisista vesistövaikutuksista

ECF- ja TCF (Total Chlorine Free)-valkaisu käytävien tehtaiden ympäristövaikutuksia vesiympäristöön on tutkittu laajasti. Yhteenvetoselvitys vaikutuksista laadittiin Metsäteollisuus ry:lle ja Pohjoismaiselle Joutsen-ympäristömerkille (Tana ym. 2009 ja 2011). Selvitysten johtopäätökset olivat seuraavat:

- ECF-valkaisu käytävien massa- ja paperitehtaiden käsitellyissä jätevesissä ei käytännössä ole dioksiineja tai muita pysyviä bioakkumuloituvia myrkyllisiä yhdisteitä.
- ECF-valkaisusta aiheutuvat klooria sisältävät orgaaniset yhdisteet ovat luonnonyhdisteiden kaltaisia, hajoavat luonnollisesti, eivät ole pysyviä luonnossa eivätkä aiheuta ympäristölle haitallisia riskejä vesiekosysteemeissä.
- Nykyaikaisten tehtaiden kokonaisjätevesien toksisuus on yleisesti hyvin pieni eikä korreloi AOX-pitoisuuksien kanssa.
- Tällä hetkellä ei ole olemassa todisteita osoittamaan, että jätevesien AOX-pitoisuuden vähentäminen tasosta 0,5 kg/tonni massaa johtaisi osoitettavissa oleviin ympäristötietuihin.
- AOX:n päästörajoihin ei ole kansainvälistä konsensusta.
- ECF- tai TCF-valkaisu käytävien tehtaiden kokonaisjätevesien vaikutusintensiteetissä tai vaikutusmalleissa ei ole systemaattista eroa.
- Nykyaikaisista tehtaista aiheutuvia vaikutuksia (esim. subletaali toksisuus vesieliöihin) ei voida ennustaa pelkästään valkaisuajakeiden perusteella. Ympäristövaikutusten arviointien tulisi tulevaisuudessa kohdentua tehtaan tuotannon muihin osiin kuin valkaisu (esim. puunkäsittely, keitto, pesu, tilapäisiin vuotoihin ja kondensatteihin)
- Massan sisältämät orgaaniset halogeenit (OX) on sovelias parametri arvioitaessa ECF-massan ympäristöystävällisyyttä.
- Viimeisten viiden vuoden aikana ei ole julkaistu tutkimuksia, joissa olisi vertailtu ECF-valkaistun ja TCF-valkaistun massan tuotannosta aiheutuvia jätevesiä. Kanadassa on viime aikoina laajalti tutkittu massa- ja paperitehtaiden jätevesien aiheuttamia vaikutuksia. Tämä tutkimustoiminta on keskittynyt pääasiassa kalojen lisääntymistä koskeviin vaikutustutkimuksiin sekä ympäristötarkkailuun menetelmäkehittelyyn ja ekosysteemitason vaikutuksiin. Viimeaikaisissa tutkimuksissa ei kuitenkaan ole tullut esille mitään sellaista, joka muuttaisi edellä esitettyjä johtopäätöksiä vuosien 1990–2002 tutkimuksista. Nykyisen tietämyksen perusteella ei ole osoitettavissa eroja ympäristövaikutuksissa suhteessa AOX-päästöihin, jotka ovat välillä 0,2–0,5 kg/tonni massaa.

Tällä hetkellä ehkä laajin vesistövaikutusten tarkkailu tapahtuu nykyisen UPM:n Fray Bentosin tehtaan alapuolisessa vesistössä Rio Uruguaisa, Uruguaisa. Näissä tarkkailututkimuksissa selvitetään veden laatua, pohjasedimentin laatua, planktonia, pohjaeläimiä ja vaikutuksia kaloihin ja kalastoon sekä alapuolella sijaitsevan Fray Bentosin kaupungin raakaveden laatuun. Vuodesta 2007 asti jatkuneissa tutkimuksissa ei ole todettu mitään sellaisia vaikutuksia, jotka korreloisivat tehtaan jätevesipäästöihin (Ecometrix 2010; Tana ym. 2014)

2.5 AOX-pitoisuudet vesistöissä

Huoli AOX:n mahdollisesti aiheuttamista haitallisista ekologisista vaikutuksista johti tutkimuksiin, joissa selvitettiin AOX:n luonnossa esiintyviä pitoisuuksia. Tutkimuksia tehtiin eri luonnontilaisista vesistöistä liittyen maaperään, pintavesiin, pohjavesiin ja sedimenttiin (Tana & Lehtinen 1996). Näissä tutkimuksissa todettiin AOX pitoisuuksien vaihtelevan välillä 1-80 µg/l vesistöissä, joihin ei ole kohdistunut ihmistoiminnan vaiku-

tuksia. Ruotsissa (Asplund 1992) selvitettiin 134 järven, joihin ei kohdistu pistekuormitusta, AOX-pitoisuuksia ja ne vaihtelivat välillä 11–185 µg/l. Suurimmat pitoisuudet havaittiin hyvin humuspitoisissa järvissä, jotka sijaittivat etäällä asutuksesta. Nämä pitoisuudet olivat suuruusluokaltaan samoja kuin mitä esim. teollisuuden saastuttaman Rhein-joen vedestä on tavattu (5–200 µg/l).

Yleisesti ottaen vesistöjen AOX-pitoisuuksien mittauksia on raportoitu suhteellisen vähän ja esim. Kallaveden AOX-pitoisuuksista ei ole ollut käytettävissä tietoja. Taulukon 2-4 on kerätty tietoja eri vesistöissä mitatuista AOX-pitoisuuksista.

Taulukko 2-4 Eri vesistöissä mitattuja AOX-pitoisuuksia. Suomesta esitettävät tiedot on kerätty vedenlaaturekisteristä 2001 ja Hertta-tietokannasta 2015.

Vesistö	Pitoisuus µg/l	Huomioita	Viite
Rhein-joki	5-200		Asplund 1992
Vänern, Ruotsi	15	Selluteollisuutta	Grimvall ym.1991
Vänern, sivujoki	32	Ei selluteollisuutta	Grimvall ym.1991
Suomalaisia vesistöjä			Vedenlaaturekisteri 2001, Hertta tietokanta 2015
Vuoksi	5-181	Selluteollisuutta#	
Kymijoki	23–290	Selluteollisuutta#	
Asikkala	18–36		
Kalkkistenkoski	31–69	H:ki raakavedenotto	
Päijänne	23–100	Selluteollisuutta#	
Aurajoki	16–100	Ei selluteollisuutta	
Kiiminkijoki	14–57	Lohijoki	
Tornio joki	9-44	Lohijoki	
Kapeenkoski, Äänekoski	30–110	Selluteollisuutta#	

Selluteollisuus tarkoittaa, että vesistöissä mittauspisteiden yläpuolella esiintyy selluteollisuuden päästöjä

Suomessa vesistöjen keskimääräinen AOX-pitoisuus vuoden 2001 havaintojen mukaan oli 37,5 µg/l, vaihteluvälin ollessa 2–290 µg/l.

2.5.1 AOX-pitoisuuslisäykset Kallavedessä

Kallaveteen ei kohdistu tällä hetkellä tiedossa olevaa suoraa AOX-kuormitusta. AOX-yhdisteitä on luontaisesti vesistöissä pieninä pitoisuuksina, mutta Kallaveden AOX-pitoisuuksista ei ole tietoa ympäristöhallinnon tietokannassa. Mittaustuloksia on ympäristöhallinnon Hertta-tietokannassa havaintopaikoilta ”Tiioharja kp oja”, missä AOX:n pitoisuudet ovat vaihdelleet välillä 2,5–36 µg/l, joten Kallaveden pitoisuustason voidaan nykytilanteessa olettaa olevan hyvin alhainen.

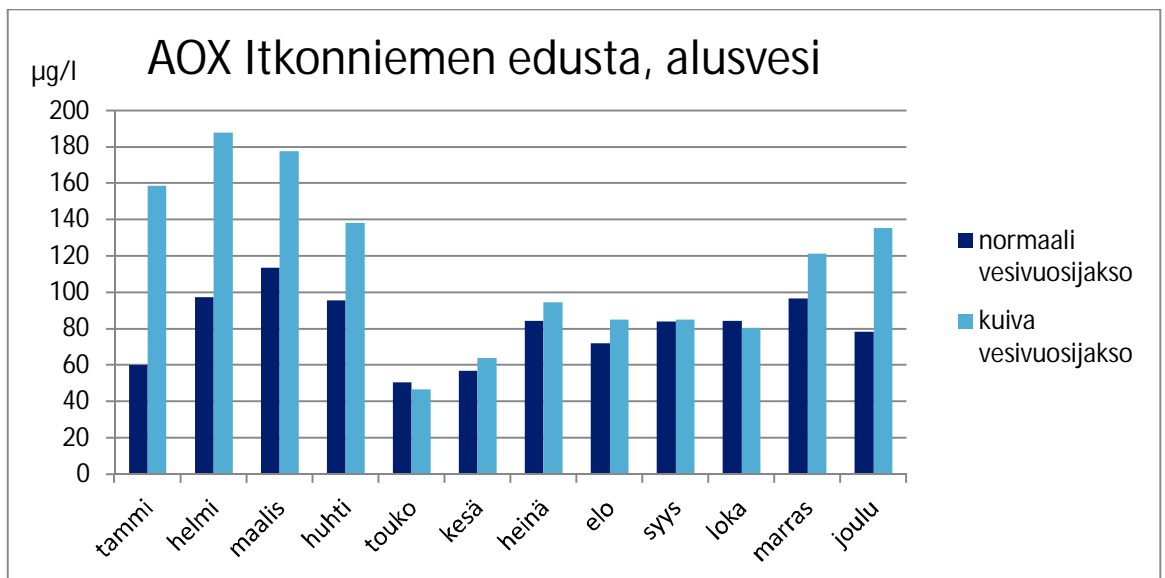
Finnpulpin tehtaan YVA-vaiheessa mallinnettiin AOX-päästöjen aiheuttamat pitoisuuslisät Kallavedessä. Mallinnukset tehtiin määrittelemällä AOX konservatiiviseksi aineeksi, eli pitoisuuden pieneminen tapahtuu ainoastaan laimentumalla. Konservatiivinen aine ei siis häviä kierrosta fysikaalisten, kemiallisten tai biologisten prosessien kautta. Mallinnuksessa ei myöskään ole otettu huomioon sitä, että osa AOX:tä on kiintoaineseen sitoutuneena, joka osittain poistuu vesifaasista sedimentoitumalla. Mallinnustulokset siten yliarvioivat pitoisuuslisäyksiä vesistöissä.

Seuraavassa on tarkasteltu AOX:n pitoisuuslisäyksiä Kallavedessä perustuen kuukausikeskiarvona laskettavaan kuormitukseen 600 kg/d. Ympäristölupahakemuksessa hakija esittää kuukausikeskiarvon lisäksi vuosikeskiarvona laskettavaa luparajaa 525 kg/d, jo-

ten kuormitus voi olla ainoastaan lyhytaikaisesti kuukausikeskiarvona laskettavalla tasolla, jotta vuosiluparaja voidaan saavuttaa. Tässä tarkastelussa kuormituksen on kuitenkin oletettu olevan koko ajan kuukausikeskiarvona laskettavalla tasolla, jotta voidaan arvioida kaikissa tilanteissa maksimivaikutusta raakaveden ottoon.

Mallinnustulosten mukaan normaalilla vesivuosisijaksolla keskimääräinen AOX:n pitoisuuslisäys Itkonniemen edustalla alusvedessä on noin 80 µg/l ja kuivalla vesivuosisijaksolla 115 µg/l. Kuten edellä todettiin, kuormitus voi olla vain lyhytaikaisesti kuukausikeskiarvona laskettavalla tasolla, mistä johtuen em. keskiarvot ovat yliarvioita. Kuukausittaiset keskimääräiset pitoisuuslisäykset on esitetty kuvassa (Kuva 2.3).

Mallinnustulosten mukaan AOX:n pitoisuuslisäykset ovat normaalivesivuosisijaksolla noin 3/4-osaa ajasta alle 100 µg/l ja vain noin 1 % ajan yli 200 µg/l, yksittäisen mallinnetun maksimipitoisuuden ollessa 280 µg/l. Yksi prosentti ajasta tarkoittaa noin 3,5 vuorokautta vuodesta. Kuivana jaksona AOX-pitoisuus alittaa 100 µg/l noin puolet ajasta. Pitoisuus 200 µg/l ylittyy 11 % ajan ja pitoisuus 250 µg/l 1 % ajan. Kuivalla jaksolla suurin mallinnettu yksittäinen pitoisuus Itkonniemen edustalla alusvedessä on noin 300 µg/l.



Kuva 2.3. AOX:n pitoisuuslisäykset Itkonniemen edustalla alusvedessä. Pitoisuuslisäykset perustuvat kuukausikeskiarvona lasekttavaan kuormitustasoon, joka ei voi olla jatkuvaa, jotta vuosikeskiarvo voidaan saavuttaa.

2.6 Arvio biotuotetehtaan AOX-päästöjen vaikutuksista Kuopion kaupungin vedenhankintaan

2.6.1 Kuopion vedenhankinta

Kuopion Veden vedenhankinta koostuu kahdesta päävedenottamosta; Jänneniemen ja Hietasalon vedenottamoista, joiden vesi on rantaimettyä tekopohjavettä sekä viidestä käytössä olevasta pohjavedenottamosta.

Kuopion kaupunkialueen vedenkulutus on noin 16 000 m³/d, josta 2/3 otetaan normaalisti Jänneniemessä ja 1/3 Hietasalosta.

Jänneniemestä saadaan nykytekniikalla otettua vettä enintään n. 18 000 m³/d, lupaehtojen mukainen maksimivesimäärä on 20 000 m³/d. (Kuopion kaupunki 2014). Hietasalosta lupaehtojen mukainen maksimiottomäärä on 35 000 m³/d ja nykytekniikalla vettä saadaan otettua n. 28 600 m³/d. (Kuopion kaupunki 2015)

Jänneniemen pohjavesialuetta ympäröi 48,3 km² valuma-alue, joka ulottuu Jännevirralta Ryönän ja Pelonsalmen sekä Kotasalmen aluille. Vesistöistä pohjavesialuetta ympäröi Pohjalampi.

Jänneniemellä on viisi siiviläputkikaivoa, joiden vesi käsitellään kaksivaiheisella biologisella pikahiekkasuodatuksella. Hiekkasuodatuksen jälkeen vesi johdetaan Itkonniemen vesilaitokselle, jossa se sekoitetaan Hietasalon vedenottamon veden kanssa, desinfioidaan natriumhypokloriitilla, alkaloidaan kalkkivedellä ja johdetaan kulutukseen. (Kuopion kaupunki 2014).

Biotuotetehtas ei sijaitse Jänneniemen valuma-alueen läheisyydessä, eivätkä biotuotetehtaan käsitellyt jätevedet vaikuta Jänneniemen raakaveden laatuun.

Hietasalon vedenottamo sijaitsee pinta-alaltaan 1,19 km² saaren kaakkoisosassa Keski-Kallavedellä. Saaren maaperä on pohjaveden muodostuma-alueella hiekkaa tai hietaa. Muodostumasta on hydraulinen yhteys Kallaveteen. Hietasalon ottamolta vesi pumpataan käsiteltäväksi Itkonniemen vesilaitokselle. Käsitelyssä saostetaan ensin raakaveden sisältämä rauta ja mangaani alkaloimalla vesi kalkilla, ilmastamalla ja lisähapettamalla kaliumpermanganaatilla. Tämän jälkeen saostetaan orgaaninen aines alumiinisulfaattilla. pH:n säätöön käytetään hiilidioksidia. Alkukemikaloinnin jälkeen vesi selkeytetään ja suodatetaan hiekkapikasuodatuksella. (Kuopion kaupunki 2015)

Hiekkasuodatettu vesi sekoitetaan Jänneniemestä tulevan veden kanssa, desinfioidaan natriumhypokloriitilla, alkaloidaan kalkkivedellä ja johdetaan kulutukseen.

Itkonniemen laitoksella on mahdollista puhdistaa myös suoraan Kelloselältä otettua vettä. Tällöin pintavesi käsitellään alumiinisulfaattilla orgaanisen aineen saostamiseksi, selkeytetään, hiekkasuodataan, desinfioidaan natriumhypokloriitilla ja alkaloidaan.

Itkonniemen vesilaitos ja Hietasalon pohjavesialue sijaitsevat virtaussuunnassa biotuotetehtaan käsitellyn jäteveden purkuputken alapuolella.

Kallavedestä tai Hietasalon raakavedestä ei ole määritetty kloorattuja hiilivetyjä. Vedenkäsittelyssä kloorattuja hiilivetyjä muodostuu, kun vedessä jäljellä oleva orgaaninen aine reagoi natriumhypokloriitin kanssa. Desinfioinnin sivutuotteista sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista (STMa 1352/2015) on asetettu laatuvaatimusraja bromaatille ja trihalometaaneille. Kuopion talousvedessä esiintyvät trihalometaanipitoisuudet olivat vuonna 2014 keskimäärin 23 µg/l ja vuonna 2015 keskimäärin 25 µg/l ("Vedentuotanto ja -puhdistus", Kuopion Veden www-sivu, www.kuopionvesi.fi, viitattu 17.2.2016).

2.6.2 AOX-päästöjen vaikutus talousveden tuotantoon

Kuopion Veden vedenhankinnan kannalta keskeistä on kloorattujen yhdisteiden kokonaismäärä talousvedessä. Koska myös vedenkäsittelyssä syntyy desinfioinnin sivutuotteena klooriyhdisteitä, ei talousveden sisältämien klooriyhdisteiden yhteismäärä saa nousta terveydelle haitalliselle tasolle.

Talousveden orgaanisille halogeeniyhdisteille AOX:ina mitattuna ei ole annettu yhteisraja-arvoa Suomen lainsäädännössä, eikä Maailman terveysjärjestön, WHO:n, talousveden laatua koskevissa ohjeistuksissa (WHO 2011).

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015 (STMa 1352/2015) on asetettu laatuvaatimusraja-arvot seuraaville desinfiointin sivutuotteille:

- Bromaatti 10 µg/l
- Kloorifenolit yhteensä 10 µg/l
- Trihalometaanit yhteensä 100 µg/l

Edellä mainituista yhdisteistä havuselluprosessin pienimolekyylisten AOX-yhdisteiden joukkoon kuuluu kloorifenolit.

Maailman terveysjärjestön, WHO:n, ohjeistuksessa (WHO 2011) on asetettu terveysperusteiset ohjearvot seuraaville yhdisteille, jotka kuuluvat havuselluprosessin AOX-yhdisteiden joukkoon:

- Dikloorietikkahappo 50 µg/l
- Trikloorietikkahappo 200 µg/l
- Kloorifenolit
 - o 2- kloorifenoli, ei terveysperusteista raja-arvoa
 - o 2,4-dikloorifenoli, ei terveysperusteista raja-arvoa

Kloorifenoleista 2,4,6-trikloorifenolille on asetettu WHO:n terveysperusteinen raja-arvo 200 µg/l, mutta tutkimusten mukaan havuselluprosessissa syntyvät kloorifenoliyhdisteet ovat mono- ja dikloorifenoleita, joille ei ole asetettu terveysperusteista raja-arvoa.

WHO:n (WHO 2011) terveysperusteinen raja-arvo klooridioksidin hajoamistuotteille kloriitille on 700 µg/l ja samoin kloraatille 700 µg/l. Kloridille ei ole asetettu terveysperusteista raja-arvoa, makuraja on 250 mg/l (WHO 2011), joka on myös asetettu Suomen lainsäädännössä talousveden laatusuosituksiksi (STMa 1352/2015).

Edellisten kappaleiden perusteella biotuotetehtaan jätevesistä Kallaveden vesistöön päätyy ensisijaisesti luonnon yhdisteiden kaltaisia suuren molekyyli-massan orgaanisia halogeeniyhdisteitä. Jäteveden käsittelyn jälkeen jäljelle jäävä pienimolekyylinen fraktio sisältää di- ja trikloorietikkahappoa sekä mono- tai dikloorifenoleita. Terveydelle haitallisimpia trikloorifenoleita, kloorattuja furanoneja tai dioksiineja ei muodostu. AOX-yhdisteiden yhteenlaskettu pitoisuuslisäys Kallavedessä on normaalivesivuosisyksöllä suurimman osan (3/4) vuodesta mallinnustuloksen perusteella noin 100 µg/l.

Tyypillisesti valmistettaessa pintavedestä talousvettä, kemiallisessa saostuksessa poistuu suurimolekyylinen orgaaninen aines ja siihen sitoutuneet yhdisteet ja mikrobit. Haitta-aineet, jotka eivät poistu saostuksessa tulee käsitellä aktiivihiihi- tai kalvosuodatuksella. Vahvoilla hapettimilla saadaan yhdisteitä hajoamaan, mutta myös hajoamistuotteet voivat olla haitallisia, minkä takia tarvitaan edellä mainittu aktiivihiihisiuodatus.

Normaalitilanteessa Kuopion Vesi ottaa pääosan vedestään Jänneniemen vedenottamolta. Jänneniemen vedenhankinta-alue, eikä pohjaveden muodostumisalue ole sellutehtaan vaikutuspiirissä. Tuotetusta vedestä 1/3 on Kallavedestä Hietasalossa rantaimetytettyä pohjavettä. Hietasalon rantaimetytetty vesi käsitellään vielä hapettamalla sekä kemiallisella saostusprosessilla, jolloin suurimolekyylinen osa raakaveden AOX-yhdisteistä saadaan poistettua vedestä ennen vesien sekoittamista.

AOX-päästöillä voi olla vaikutusta kaupungin vedenhankintaan tilanteessa, jossa varavesilähde otettaisiin käyttöön korvaamaan päävedenottamot ja erityisesti kylmän veden aikaan, jolloin AOX-yhdisteiden biologinen hajoaminen vesistöissä on hitaampaa.

Jos kaikki kaupungin vesi jouduttaisiin päävedenottamoiden sijaan ottamaan pidemmän aikaa varavesilähteenä toimivalta Kellošelältä ja käsittelemään Itkonniemen laitoksella, tulisi tarkastella, poistuuko selluteollisuudesta peräisin olevaa AOX:ia vedenkäsittelyprosessissa, mitkä AOX-yhdisteet voivat selluteollisuuden jätevesien takia lisääntyä tänä aikana talousvedessä ja voivatko ne aiheuttaa terveydellistä haittaa.

Käsittelyprosessina olisi tässä tilanteessa alumiinisulfaattisaostus, selkeytys, hiekkapikasuodatus, alkalointi kalkkivedellä ja hiilidioksidilla ja klooridesinfiointi natriumhypokloriitilla.

Kemiallisen saostuksen toimivuutta sellun valkaisun jätevesien käsittelyyn on tutkittu laajasti ja tutkimusten perusteella on raportoitu 50–70 % AOX-poistumaa käytettäessä saostuskemikaalina alumiinisulfaattia (Leiviskä 2009). Talousveden valmistuksessa AOX-yhdisteiden poistumista on tutkittu vähemmän. Ruotsissa Linköpingin yliopisto selvitti Skärblackan sellutehtaan AOX-päästöjen vaikutusta Norrköpingin vesilaitoksen raakaveteen ja juomaveteen. (Grimvall ym. 1994) Yhteenveto tutkimuksesta on esitetty alla.

Case Skärblacka

Skärblackan sellutehdas Ruotsissa sijaitsee noin 15 km ylävirtaan Norrköpingin kaupungin (asukkaita 150 000) vesilaitoksen raakavedenottamosta. Sellutehdas tuottaa 147 000 tonnia ECF-valkaistua sellua ja noin 100 000 tonnia paperia vuosittain. Tehtaan AOX-päästö oli 0,11 kg/t (Finnpulp 0,15 kg/t). Alapuolisen vesistön virtaus oli pienimmillään 24 m³/s kesällä ja keskimäärin 152 m³/s talvella (Finnpulp kohdalla keskimäärin 140 m³/s ja kuivana kautena keskimäärin 100 m³/s).

Norrköpingin vesilaitoksen raakaveden käsittely muodostuu kemiallisesta saostuksesta alumiinisulfaatilla, aktiivihilisuodattuksesta, hitaasta hiekkasuodattuksesta ja desinfiointista klooriamiinilla. Ruotsalaisen tehtaan jäteveden purku sijoittuu järven ylävirtaan, jossa veden teoreettinen viipymä on 2 kuukautta talvella ja useita kuukausia kesällä. Vesilaitos ottaa vetensä muutaman kilometrin päässä järven alavirrasta lähtevästä joesta.

Talviaikana AOX:n lisäys jätevedestä johtuen vaihteli jäteveden purkukohdalla 16–30 µg/l ja oli raakaveden ottamolla myös 30 µg/l. Talviaikana, johtuen alhaisista veden lämpötiloista, vain 20 % organokloorisista yhdisteistä hajoaa vesistössä ja siten ainakin osa raakaveden ottamolla havaitusta AOX:stä täytyy olla peräisin sellutehtaasta.

Kesäaikana AOX-pitoisuus lisääntyi jäteveden purkukohdalla 15:sta µg/l 60:een µg/l. Raakaveden ottamolla 15 km alavirtaan AOX pitoisuus oli vain 22 µg/l eli vesistössä oli tapahtunut huomattavaa hajoamista (fotokemiallinen ja biohajoaminen).

Orgaanisten aineiden klooratun fraktion (AOX) puhdistustehokkuus Norrköpingin vedenpuhdistuslaitoksen vedenkäsittelyprosessissa oli 32 % kesällä ja 50 % talvella. Verkostoon johdettavan desinfektoidun juomaveden keskimääräinen AOX-pitoisuus oli 61 µg/l kesällä ja 54 µg/l talvella.

Esimerkkitutkimuksessa haluttiin myös selvittää, mikä osuus juomaveden AOX:sta oli peräisin sellutehtaasta. Kesällä käytännöllisesti katsoen kaikki sellutehtaan AOX oli hävinnyt matkalla raakavedenottamolle, mutta talviaikana sitä oli edelleen jäljellä raakavedessä. Olettaen, että vesilaitoksella poistuu samat fraktiot sellutehtaalta peräisin olevasta AOX:stä kuin ei-sellutehtaalta peräisin olevasta fraktiosta, päädytään siihen, että puolet sellutehtaalta peräisin olevasta AOX:stä poistuu raakaveden käsittelyssä. Täten talviaikana pieni osa sellutehtaalta peräisin olevasta AOX:stä on edelleen juomavedes-

sä. Koska juomaveden lopullinen desinfiointi kuitenkin saa aikaan nelinkertaisen lisäyksen AOX-pitoisuudessa, olisi sellutehtaan osuus juomaveden AOX-pitoisuuteen korkeintaan noin 5 % ja ainoastaan talviaikaan.

Ruotsalaisen tutkimuksen yhteydessä tehdyt kemialliset selvitykset päätyivät johtopäätökseen, että pienimolekyyliset yhdisteet kuten kloorifenolit ja neutraalit, haihtuvat organokloorit eivät enää ole merkityksellisiä nykyaikaisten sellutehtaiden jätevesissä.

Vertaileva selvitys juomavesien AOX-pitoisuuksista Suomessa, Länsi-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa (Jokela ym. 1992) osoitti, että talousveden AOX-pitoisuudet ovat korkeammat Suomessa kuin vertailumaissa.

Taulukko 2-5 Talousveden AOX-pitoisuudet (Jokela ym. 1992)

Maa/maanosa	Talousveden AOX-pitoisuus
Suomi, 22 eri talousvesinäytettä	vaihteluväli 10 - 260 µg/l
Länsi-Eurooppa	vaihteluväli 5 – 60 µg/l
Pohjois-Amerikka	vaihteluväli 50 - 90 µg/l
Ruotsi	vaihteluväli 47 – 79 µg/l

Nissisen ja Lehtolan (2003) tutkimuksessa klooridesinfointia (kloorikaasu) käyttävän pintavesilaitoksen vesijohtoverkostoon lähtevän veden AOX-pitoisuus oli 93 ± 15 µg/l.

Vahala ym. (1999) tutkivat AOX-yhdisteiden poistumista talousveden valmistuksessa. Heidän tutkimuksessaan Päijänteen pintavesi saostettiin Pitkälän vedenpuhdistuslaitoksella täydessä mittakaavassa alumiinisulfaattilla, selkeytettiin ja hiekkasuodatettiin. Prosessi noudatti Itkonniemen vesilaitoksen prosessia tältä osin. Hiekkasuodatuksen jälkeen AOX-pitoisuus vedessä oli 11 µg/l. Hiekkasuodatuksen jälkeen otsonointi pienensi AOX-pitoisuutta edelleen 35 %. Jälkidesinfiointi klooriamiinilla lisäsi Vahalan tutkimuksessa trihalometaani-, AOX- ja MX-pitoisuuksia sekä mutageenisuutta, mutta pitoisuudet olivat pienemmät kuin klooridesinfiointissa. Enimmillään koeverkossa mitattiin AOX-pitoisuus 21 µg/l.

Vahalan tutkimuksessa ei esitetty raakaveden AOX-pitoisuutta. Suomen ympäristökeskuksen OIVA – ympäristö- ja paikkatietopalvelun (Oiva 2016) tietojen mukaan AOX-pitoisuudet Päijänteellä lähimpänä Asikkalanselän vedenottamoita Kalkkistenkoskella vaihtelivat kuukausittaisen mittaustulosten perustella vuonna 1999 välillä 22–30 µg/l, ollen pienimmillään syys-lokakuussa ja suurimmillaan tammi-helmikuussa. Tämän perusteella noin puolet raakaveden sisältämästä AOX:ista olisi saatu poistettua perinteisellä käsittelyprosessilla. Tulos on samansuuntainen ruotsalaisten tutkimuksen (Grimvall ym. 1994) kanssa.

Pienimolekyylisistä yhdisteistä selluteollisuuden jätevesistä nousi esiin di- ja trikloorietikkahapot, joille on asetettu terveysperusteiset raja-arvot juomavedessä (WHO 2011). Muille tunnistetuille AOX-yhdisteille ei ole asetettu vastaavia raja-arvoja ja niiden talousveden terveellisyyttä heikentävä vaikutus muiden talousveden käsittelyssä muodostuvien desinfiointin sivutuotteiden rinnalla jää merkityksettömäksi.

Edellä esitettyjen tutkimusten perusteella voidaan arvioida, että tilanteessa, jossa kaikki Kuopion tarvitsema talousvesi otettaisiin Itkonniemen edustalta suoraan pintaveden käsitteilylaitokselle, nousisi talousveden sisältämän AOX:in kokonaismäärä. Kokonaismäärästä selluteollisuudesta peräisin olevan AOX:in määrä olisi tässä tilanteessa vesivuosisijaksosta riippuen enimmillään 50-80 µg/l. Tästä määrästä terveydelle haitallisia yhdisteitä ovat tri- ja dikloorietikkahapot. Trikloorietikkahapon raja-arvo (200 µg/l) on korkeampi kuin mallinnettu AOX-yhdisteiden kokonaispitoisuus. Dikloorietikkahapon raja-arvon (50 µg/l) ylittyminen on hyvin epätodennäköistä ja mahdollista ainoastaan tilanteessa, jossa koko selluteollisuudesta peräisin oleva AOX-määrä olisi ainoastaan dikloorietikkahappoa. Jätevesistä tehtyjen tutkimusten mukaan suurin osa AOX-yhdisteistä on kuitenkin suurimolekyylisiä fraktiota, eikä pienimolekyylisiä, mihin myös klooratut etikkahapot kuuluvat.

3 RAVINNEKUORMA

Jätevesien ravinnekuorman vaikutuksia Kallaveden on laajemmin arvioitu ympäristölupahakemuksessa, josta tässä esitetään tiivistetysti keskeisimmät asiat.

Finnpulpin yhteispuhdistamon tavoitteellinen typpikuormitus 1 100 kg/d vuosikeskiarvona laskettuna tulee olemaan samaa tasoa kuin Savon Sellun toteutunut typpikuormitus vuosijaksolla 2005–2014 (1 280 kg/d). Arviolta noin ¾-osaa Finnpulpin yhteispuhdistamon typpikuormituksesta on epäorgaanista tyyppiä, joko ammoniumtyyppiä tai nitraattityyppiä, mutta ammoniumtyppikuormitus pienenee nykyisestä Savon Sellun päästötasosta.

Finnpulpin yhteispuhdistamon fosforikuormitus (36 kg/d) on noin kuusinkertainen verrattuna Savon Sellun nykyiseen kuormitukseen. Finnpulpin fosforikuormitus on suurimmaksi osaksi (noin 90 %) fosfaattifosforina. Kuukausikeskiarvona laskettuna Finnpulpin yhteispuhdistamon fosforikuormituksen arvioidaan olevan enimmillään 42 kg/d.

Koska typpikuormitus pysyy nykyisellä tasolla, Kallaveden typpipitoisuus ei muutu. Nitraatin osalta Finnpulpin yhteispuhdistamon kuormitus ei aiheuta talousveden laatuvaatimuksen ylittymistä, vaan Kallaveden nitraattipitoisuuden joko arvioidaan pienenevän tai pysyvän nykyisellä tasolla. Ammoniumtyppipitoisuus Kallavedessä pienenee, koska Savon Sellun ammoniumtyppi hapettuu aiempaa tehokkaammin uudella jätevedenpuhdistamolla. Fosforipitoisuus lisääntyy arvioin mukaan Itkonniemen edustalla keskimäärin noin 5 µg/l. Fosforille ei ole olemassa talousveden laatuvaatimusta tai -suositusta.

Mallinnustulosten mukaan a-klorofyllipitoisuuden nousu Kelloselän eteläosassa on normaalilla vesivuosisijaksolla noin 1,5 µg/l ja kuivalla jaksolla noin 1,9 µg/l. Kelloselän eteläosan a-klorofyllipitoisuus on 2000-luvulla ollut keskimäärin 9,5 µg/l. Mittaustulosten mukaan Kelloselän a-klorofyllipitoisuus on ollut lievässä noususuunnassa 1990-luvulta nykypäivään (Finnpulp Oy 2015, Ympäristövaikutusten arviointiselostus). Kelloselän ja koko Kallaveden ravinnepitoisuuksien osalta määräävä tekijä on tulovirtaaman mukana tuleva ravinnekuorma. Kasviplanktonin määrään vaikuttavat kuitenkin monet muutkin tekijät kuin vain ravinnepitoisuus, kuten lämpötila ja virtausolosuhteet, mistä johtuen korrelaatio ravinnepitoisuuksien ja a-klorofyllipitoisuuden välillä Kallavedessä on heikko.

Sekä edellä esitetyt arvioidut pitoisuuslisäykset että Kelloselän eteläosan nykyinen pitoisuustaso kuvaavat tilannetta päällysvesikerroksessa eli 0–2 metrin syvyydessä. Kuopion Veden Itkonniemen laitokselle raakavesi otetaan noin 12 metrin syvyydestä. Läm-

pötilan harppauskerros Itkonniemen edustalla sijaitsee noin 10 metrissä. Päälyysvesikerroksessa tapahtuvaa a-klorofyllipitoisuuden nousua ei siten suoraan voida soveltaa alusveteen, josta Kuopion Veden raakavesi otetaan.

Kallavesi on selvästi fosforirajoitteinen, eli fosforin määrä vedessä rajoittaa levien kasvua. Finnpulpin jätevesissä kokonaisravinteiden suhteen arvioidaan olevan 18 ja epäorgaanisten ravinteiden suhteen 15, mitkä molemmat kuvaavat fosforirajoitteisuutta. Sekä kokonais- että epäorgaanisten ravinteiden suhteen perusteella Kallaveden arvioidaan säilyvän edelleen selvästi fosforirajoitteisessa tilassa, eikä sinileväkukintojen sen vuoksi arvioida yleistyvän nykyisestä.

Fosforirajoitteisuudesta huolimatta Kallavedellä on todettu sinileväkukintoja. Tehtyjen tutkimusten mukaan sinilevien osuus kasviplanktonissa kasvaa loppukesää kohden (Savo-Karjalan Ympäristötutkimus Oy & Vesi Eko Oy 2013). Kallavedellä on todettu tyyninä päivinä pintaan nousevia sinilevälauttoja loppukesällä ja syksyllä. Olemassa olevien havaintojen mukaan säätelijöillä on suuri vaikutus sinilevien esiintymiseen Kallavedessä. Lämpimän ja tyynen jakson seurattessa runsassateista jaksoa riski sinilevien esiintymiselle näyttäisi kasvavan. Sinilevät, kuten suurin osa muistakin leväryhmistä, lisääntyvät päälyysvesikerroksessa, missä valoa on riittävästi levien kasvuun. Sääolosuhteilla näyttäisi olevan suuri merkitys sinilevien esiintymiseen Kallavedessä.

Osa sinilevistä tuottaa myrkkijä ja tärkeintä talousveden tuotannon kannalta on poistaa sinileväsolut pintaveden käsittelyn alkuvaiheessa kemiallisella saostuksella ja suodatuksella. Lisäksi sinilevän pääsyä vedenkäsittelyprosessiin hallitaan vedenottokorkeudella.

4 METALLIT

Kallaveden mangaanipitoisuudet Itkonniemen edustalla (Kallavesi Pirttiniemi 2) ovat ympäristöhallinnon Hertta-tietokannassa olevien mittaustulosten mukaan vaihdelleet välillä 5–52 µg/l ja rautapitoisuudet välillä 180–780 µg/l. Mangaanin pitoisuus on siten pääsääntöisesti ollut alle talousveden laatusuosituksen, mutta raudan pitoisuus on lähes poikkeuksetta ollut laatusuositusta suurempi. Finnpulpin yhteispuhdistamon aloitettua toimintansa Itkonniemen vesilaitokselle otettavassa raakavedessä mangaanipitoisuus on todennäköisesti ajoittain talousveden laatusuositusta suurempi.

Kallaveden rautapitoisuudet ovat nykyisinkin pääsääntöisesti suurempia kuin talousveden laatusuositus. Finnpulpin jätevedet lisäävät vesistön rautapitoisuutta Itkonniemen edustalla vain vähän, keskimäärin alle 10 µg/l, joten raudan osalta tilanne ei tule suuresti muuttumaan.

Jäteveden sisältämien metallien arvioidut pitoisuudet ovat rautaa, mangaania ja lyijyä lukuun ottamatta pienempi kuin talousvedelle asetetut laatusuositukset ja -vaatimukset (1352/2015) (Taulukko 4-1). Jäteveden lyijypitoisuus vastaa käytännössä talousveden laatuvaatimusta. Tehtyjen mallinnusten mukaan jäteveden laimentuminen purkupaikalta Itkonniemen edustalle on yli 100-kertaista. Osa metalleista on sitoutuneena kiintoaineseen, joka sedimentoituu pääsääntöisesti jätevesien purkualueen läheisyyteen, mikä vähentää metallien pitoisuuksia alempana vesistössä. Käytännössä metallien osalta pitoisuuksien pieneneminen on suurempaa kuin pelkästään laimentumissuhteen perusteella voidaan arvioida.

Rautaa ja mangaania lukuun ottamatta ei ole riskiä sille, että metallipitoisuudet ylittäisivät vesilaitokselle otettavassa raakavedessä talousveden laatusuosituksen tai -vaatimuksen Finnpulpin yhteispuhdistamon jätevesistä johtuen.

Tällä hetkellä Hietasalon vedenottamon raakavedestä poistetaan rauta ja mangaani Itkonniemen laitoksella ennen kemiallista saostusta.

Taulukko 4-1. Arvioidut metallipitoisuudet Finnpulpin jätevesissä sekä talousveden laatuvaatimukset.

		Finnpulp arvioitu jäteveden pitoisuus	Talousveden laatuvaatimukset (STM 1352/2015)	Talousveden laatusuositus (STM 1352/2015)
Al	µg/l	170		200
As	µg/l	3,6	10	
B	µg/l	52	1 000	
Cd	µg/l	3,3	5	
Cu	µg/l	35	2 000	
Fe	µg/l	780		200
Hg	µg/l	0,33	1	
Mn	µg/l	2 800		50
Ni	µg/l	7,1	20	
Pb	µg/l	11	10	
Sb	µg/l	1,7	5	

5 HÄIRIÖTILANTEIDEN HALLINTA

5.1 Varautuminen selluprosessin häiriötilanteisiin

Kuten yllä todettiin, AOX -päästö on suorassa suhteessa tuotantoon ja klooridioksidianokseen valkaisuissa. Tärkein hallintakeino on kuitulinjaprosessin tasainen ajotapa, joka on ensiarvoisen tärkeää myös tuotteen laadun kannalta. Selluprosessin häiriöt, kuten vuodot ja kunnossapitotöistä johtuvat satunnaispäästöt eivät vaikuta AOX-kuormaan puhdistamolle.

Muut häiriöpäästöt ohjataan varoaltaalle automaattisesti tai operaattorin toimesta. Lisäksi jäteveden laatu voidaan tarkistaa tasausaltailla ennen sen johtamista puhdistamolle.

Valkaisu-suodokset jäädytetään tehtaalla ennen niiden johtamista esiselkeyttimelle. Jätevesi neutraloidaan tehtaalla lisäämällä happamaan suodokseen poltettua kalkkia.

Jäteveden viipymä tasausaltaissa eliminoi jäännösklooraatin jätevedessä, kun se joutuu hapettomiin olosuhteisiin.

5.2 Varautuminen jätevedenpuhdistamon häiriötilanteisiin

Riskienhallinta jätevedenpuhdistamolla keskittyy ensisijaisesti häiriötilanteiden ehkäisemiseen. Puhdistamon häiriötilanteet voisivat teoreettisesti aiheutua tehtaan häiriöpäästöistä tai puhdistamolla tapahtuvasta sähkökatkosta, mittalaite- tai koneistorikosta, tulipalosta, automaatiojärjestelmän viasta (esim. ukonilman aiheuttama jännitepiikki) tai inhimillisestä virheestä. Näitä voidaan ehkäistä ja niihin voidaan varautua suunnittelun ja käytön aikana mm. seuraavasti:

- Tasaus- ja varoaltaat
- Riittävä prosessiyksiköiden mitoitus huomioiden kuormitusvaihtelujen vaatima puskurikapasiteetti
 - esiselkeytyksen pintakuorma
 - ilmastusaltaiden viipymä, lieteikä, aktiivilietteen määrä ja ilmastuskapasiteetti
 - jälkiselkeytyksen pintakuorma ja syvyys
- Jäteveden jäähdytys ennen biologista käsittelyä tasolle, jolla aktiivilietteen mikrobien toiminta on tehokasta
- Sähkönsyötön ja -jakelun sekä automaatiojärjestelmän pääkomponenttien kahdentaminen
- Sähkönsyötön priorisointi ja varmistaminen tehtaalta
- Riittävästi varalaitteita asennettuna ja automaattisesti käynnistyvinä sekä asennusvalmiina varastossa
- Kattava prosessi-instrumentointi, mm. tulevan jäteveden laadun automaattinen tarkkailu
- Valmiit ajosuunnitelmat poikkeustilanteisiin
- Henkilökunnan koulutus
- Kunnossapito
- Etukäteissuunnittelu ja -harjoittelu

Jos jätevedenpuhdistusprosessi ajautuu varotoimista huolimatta häiriötilaan, joka vaarantaa puhdistustuloksen, toimitaan etukäteen suunnitellun ja harjoitellun hätäsuunnitelman mukaisesti. Tarvittaessa tehdään tuotantoa rajoitetaan tai tehdas pysäytetään siten, että käsitelty jätevesi täyttää lupaehdot kaikissa tilanteissa.

Puhdistamolla pH säädetään tarvittaessa lopullisesti puhdistusprosessin vaatimalle tasolle. Puhdistetun veden pH on aina 6,0–7,5.

5.3 Biotuotetehtaan laivaliikenne

Savon Sellun teollisuusalueella Kallaveden rannalla sijaitsee teollisuussatama. Satamaan johtaa 4,3 metrin syvyinen väylä, josta vastaa Liikennevirasto. Sataman edustalla on saman syvyinen alusten kääntöpaikka. Satamassa on käynyt muutamia aluksia vuodessa.

Finnpulpin tehtaalle on mahdollista kuljettaa puuta vesiteitse Sorsasalonsatama-alueen kautta. Samoin on mahdollista, että sellua laivataan pieniä määriä Itämeren satamiin. Kemikaaleja ei kuljeteta vesiteitse. Laivakuljetukset tulevat käyttämään olemassa olevia laivaväyliä sekä Savon Sellun nykyiselle satama-alueelle rakennettavaa uutta satamalaituria. Sulan veden aikaan puuraaka-aineen laivakuljetuksia voi tulla satamaan noin kaksi laivaa viikossa. Tehtaan laivaliikenteen määrä on vähäinen eikä sillä arvioida olevan merkittävää vaikutusta ympäristöön tai öljyvahinkoihin.

Öljyntorjuntaan varautuminen on viranomaisten vastuulla. Öljyvahinkojen ja aluskemikaalivahinkojen torjunnan yleinen ohjaus, seuranta ja kehittäminen kuuluvat ympäristöministeriölle. Suomen ympäristökeskus SYKE vastaa alusten öljy- ja kemikaalivahinkojen torjunnasta Suomen vesialueella rannikoita lukuun ottamatta. SYKE huolehtii valtakunnallisesti riittävästä alusten öljy- ja kemikaalivahinkojen torjuntavalmiuden hankkimisesta ja ylläpidosta. Alueellinen pelastustoimi vastaa öljyvahinkojen torjunnasta maa-alueilla, sisävesillä sekä rannikolla. Laajassa onnettomuudessa tai muusta erityisestä syystä Suomen ympäristökeskus voi ottaa torjunnan vastuulleen.

5.4 Biotuotetehtaan kemikaalikuljetusten kuljetussuunnat

Kemikaalit kuljetetaan Finnpulpin tehtaalle pääosin valtatieä 5 pitkin etelän suunnasta. Jonkin verran kemikaaleja voi tulla pohjoisen suunnasta, mutta ei idän suunnasta (Joensuuun tie).

Vaarallisten aineiden kuljetuksia on noin 10 ajoneuvoa vuorokaudessa. Vaarallisten aineiden kuljetukset koostuvat natriumhydroksidin (lipeä), natriumkloratin, vetyperoksidin, rikkihapon, metanolin ja raskaan polttoöljyn kuljetuksista. Vaarallisia kemikaaleja kuljetetaan säiliöautoilla Finnpulpin tehtaalle yhteensä noin 150 000 tonnia vuodessa. Vuonna 2012 tehdyssä selvityksessä vaarallisten aineiden kuljetusten yhteismääräksi arvioitiin 378 000 tonnia vuodessa Kuopion kohdalla.

6 LÄHTEET

- Asplund, G., 1992. On the origin of organohalogenes found in the environment. Ph D Thesis. Linköping University. Linköping Studies in Arts and Science No. 77, Linköping, Sweden.
- Axegård, P., Dahlman, O., Haglund, I., Jacobson, B., Mörck, R. & Strömberg, L., 1993. Pulp bleaching and the environment. *Nord. Pulp Res. J.* 4:365-378
- Berry, R.M., Fleming, B.I., Voss, R.H., Luthe, C.E., Wrist, P.E. 1989. Toward preventing the formation of dioxins during chemical pulp bleaching. *Pulp & Paper Canada* 90:8, T279-T289
- Dahlman, O., & Mörck, R., 1993. Chemical composition of the organic material in bleached kraft mill effluents. In. Södergren, A. (ed). *Bleached pulp mill effluents. Composition, fate and effects in the Baltic Sea. Final Report from Environmental/Cellulose II.* Swedish Environmental Protection Agency Report 4047.
- Dahlman, O., Reimann, A., Ljunquist, P., Mörck, R., Johansson, C., Boren, H. & Grimvall, A., 1993. Characterization of chlorinated Aromatic structures in high molecular weight BKME-materials and in fulvic acids from industrial unpolluted waters. 4th IAWQ Symposium on Forest Industry Wastewaters. Tampere, Finland, June 8-11, 1993. Proceedings.
- Diericks, R. & Banerjee, S., 1993. Lipophilicity of synthetic bleached kraft effluent. *Environ. Sci. Technol.* 27(12) 2427.
- Ecometrix, 2010. Orion Pulp Mill, Uruguay Independent Performance Monitoring as required by the International Finance Corporation Environmental Performance Review 2010 Monitoring Year,
- Flemming, B.I., 1995. Organochlorine in perspective. International Environmental Conference, Book 1, Tappi Proceedings. Tappi Press.
- Grimvall, A., Borén, H., Jonsson, S., Karlsson, S. and Sävenhed, R., 1991. Organohalogenes of natural and industrial origin in large recipients of bleached plant effluents. *Wat. Sci. Technol.* 24: 373-383.
- Grimvall, A., Boren, H., Karlsson, S., Johansson, S., & Johansson, C., 1994. Inverkan av utsläpp från Skärblacka Bruk på innehållet av organiska substanser i dricksvattnet från vattenverket Borg i Norrköping. Universitet Linköping rapport
- Jokela, J., Salkinoja-Salonen, M.S. and Elomaa, E., 1992. Adsorbable organic halogens (AOX) in drinking water and the aquatic environment in Finland. *J. Water SRT -Aqua* 41(1):4-12.
- Kuopion kaupunki. 2014. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma, Jänneniemi. 24.7.2014
- Kuopion kaupunki. 2015. Pohjavesialueen suojelusuunnitelma, Hietasalo. 23.6.2015
- Kuopion Veden www-sivusto. www.kuopionvesi.fi. 17.2.2016
- Leiviskä. 2009. Coagulation and size fractionation studies on pulp and paper mill process and wastewater streams. Faculty of Technology, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu. Academic dissertation.
- Mörck, R., Reimann, A. & Dahlman, O., 1991. Characterization of high molecular weight organic materials in modern softwood and hardwood bleached pulp kraft mill effluents- In: *Environmental Fate and Effects of Bleached Kraft Mill Effluents*; Proceed-

- ings of aa SEPA Conference, Saltsjöbaden. Södergren, A., (ed) pp 155-163. Swedish Environmental Protection Agency Report 4031.
- Nissinen T., Lehtola M. 2003. Parantaako vesijohtoverkoston puhdistus veden laatua? Vesitalous 1/2003. s. 30–34
- OIVA – Ympäristö- ja paikkatietopalvelu asiantuntijoille. Suomen ympäristökeskus. Viitattu 17.2.2016.
- Solomon, K., Bergman, H., Huggett, R., Mackay, D. & McKague, B., 1993. A review and assessment of the ecological risks associated with the use of chlorine dioxide for the bleaching of pulp. Report prepared for the Alliance for Environmental Technology, October 1993.
- Solomon, K., Bergman, H., Huggett, R., Mackay, D. & McKague, B., 1996. A review and assessment of the ecological risks associated with the use of chlorine dioxide for the bleaching of Pulp. With secondary treatment, ClO₂ bleaching poses low risk to environment. Pulp and Paper Canada 97:10 345–354.
- STMa 17.11.2015/1352. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista 1352/2015.
- Tana, J. & Lehtinen, K.-J., 1996. The aquatic environmental impact of pulping and bleaching operations – an overview. The Finnish Environment No. 17.
- Tana, J. & Grotell, C., 2009. Chlorine discharges from pulp and paper industry – recent knowledge and opinion research of different stakeholders in Nordic countries. ÅF-Report ENVI-510. ÅF-Consult Oy, September 25, 2009, Vantaa, Finland.
- Tana, J., Grotell, C. & Pitkäranta, S., 2011. A short review of environmental impacts of ECF and TCF mill effluents. ÅF-Report ENVIR-64. ÅF-Consult Oy, May 13, 2011. Vantaa, Finland.
- Tana, J., Teixeira, F., Gonzalez, I., D’Anatro, A., 2014. Fish community and species diversity in Rio Uruguay. Monitoring studies in the recipient of UPM pulp mill, April 2014
- Tana, J., Teixeira, F., Gonzalez, I., D’Anatro, A., 2014. Fish exposure studies. Monitoring studies in the recipient of UPM pulp mill April 2014
- Vahala R., Långvik V.-A., Laukkanen R. 1999. Controlling adsorbable organic halogens (AOX) and trihalomethanes (THM) formation by ozonation and two-step granule activated carbon (GAC) filtration. Wat.Sci.Tech. Vol.40, No.0, pp. 249-256.
- WHO. 2011. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th Edition. World Health Organization.