

20

Jukka Tana ja Karl-Johan Lehtinen

Valkaistun massan tuotannosta aiheutuvien  
jätevesien ympäristövaikutusten arviointi -  
yleiskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen laajennettu suomenkielinen yhteenveto

**20**

Jukka Tana ja Karl-Johan Lehtinen

# Valkaistun massan tuotannosta aiheutuvien jätevesien ympäristövaikutusten arviointi - yleiskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen laajennettu suomenkielinen yhteenveto

Helsinki 1996  
SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

PAINOPIIKKA:  
Suomen ympäristökeskuksen monistamo  
Helsinki 1996

# Sisällys

<b>Tavoite</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Tekninen kehitys</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Menetelmät vaikutustutkimuksissa</b> .....	<b>9</b>
<b>4 Altistuminen</b> .....	<b>12</b>
<b>5 Vaikutukset</b> .....	<b>14</b>
<b>6 Johtopäätöksiä</b> .....	<b>22</b>
Tekninen kehitys .....	22
Altistuminen .....	22
Menetelmät .....	22
Vaikutukset .....	22
Muita .....	23
<b>7 Viitteet</b> .....	<b>24</b>
<b>Kuvailulehti</b> .....	<b>26</b>



# TAVOITE

Tämä on suomenkielinen yhteenveto laajemmasta kirjallisuusselvityksestä, jonka tavoitteena on ollut laatia viimeisimpään tutkimustietoon perustuva katsaus koskien massatehtaiden jätevesien ympäristövaikutuksia ja niiden suhdetta valkaisu-tekniikan kehitykseen. Tavoitteena on myös ollut tarkastella, tukeeko käytettävissä oleva tieteellinen aineisto sitä näkemystä, että nimenomaan massan valkaisu olisi syynä todettuihin vaikutuksiin. Lisäksi katsaukseen on sisällytetty tutkimusmenetelmien käyttökelpoisuuden ja uusien tutkimusalueiden tarkastelua.

# JOHDANTO



Massa- ja paperiteollisuuden kehitys toisen maailmansodan jälkeen johti erilaatuisten valkaistujen massojen lisääntyneeseen tuotantoon. FAO:n (1992) tilastojen mukaan maailman paperi- ja kartonkituotanto vuonna 1990 oli 240 miljoonaa tonnia. Suomessa tuotettiin valkaistua massaa vuonna 1980 3,1 milj. tonnia ja vuonna 1993 vastaava tuotanto oli 6 milj. tonnia. Tuotannon odotetaan lisääntyvän Suomessa 1990-luvun loppupuolella. Samanlainen suuntaus on odotettavissa valkaistun massan kansainvälisessä tuotannossa, ja kierrätyskuidulla odotetaan olevan merkittävä osuus tulevassa tuotannossa (Kramer 1992).

Massa- ja paperiteollisuutta on historiallisesti pidetty yhtenä suurimmista luonnonvarojen kuluttajajista, vesi mukaan luettuna, ja merkittävänä ympäristön kuormittajana (Folke 1991). Massa- ja paperitehtailla on kuitenkin edellytykset olla ympäristölle ystävälliseen toimintaan kestävä kehityksen periaatteella (Folke ym. 1991). Raaka-aine on uusiutuva luonnonvara; kemiallisen massan tuotannossa ei tarvita ulkopuolista energiaa, tuotteita on mahdollista kierrättää tai käyttää energialähteenä, jolloin ne eivät lisää kiinteistä jätteistä aiheutuvia ongelmia.

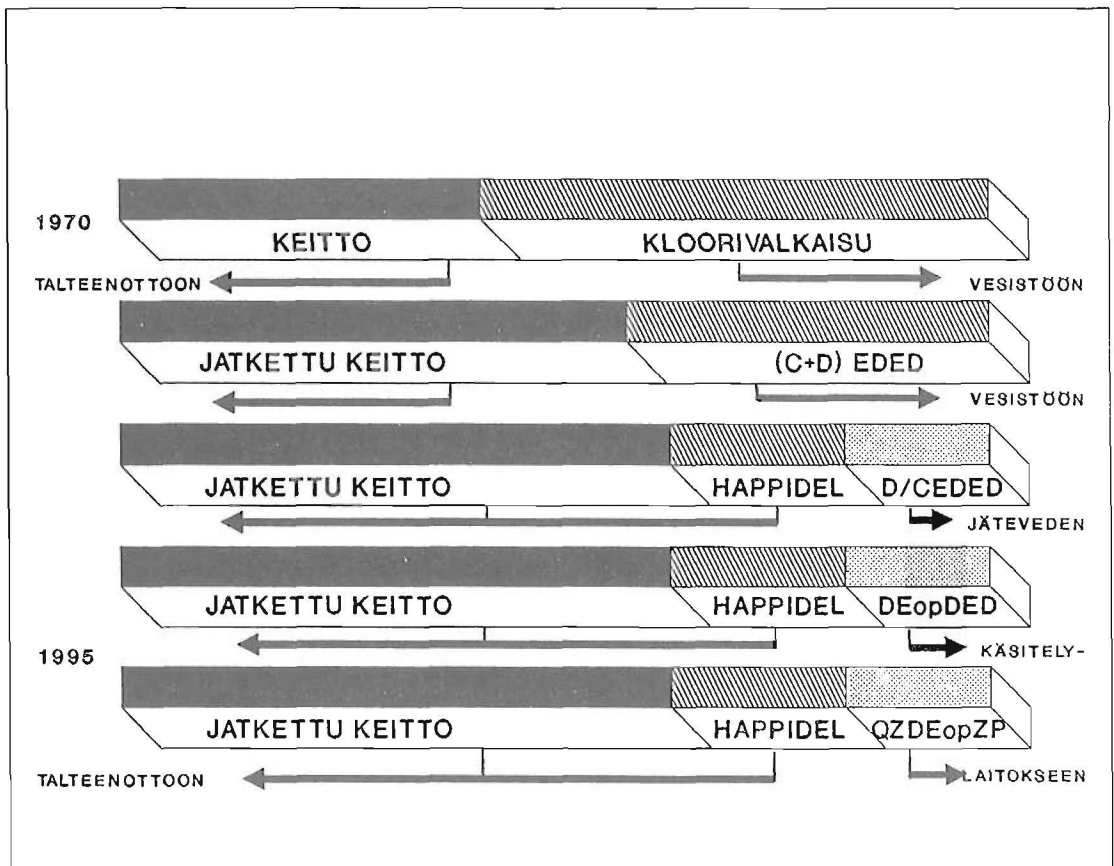
Tuotannon lisäys 1970-luvulle asti johti huomattaviin jätevesipäästöihin ja päästöjen vaikutukset vastaanottavissa vesistöissä olivat monesti dramaattisia happikatoineen ja kalakuolemiseen. Nämä vaikutukset olivat seurausta happea kuluttavan orgaanisen aineksen päästöistä ja kiintoainepäästöistä, erityisesti vesistöissä, joissa laimennusolot olivat huonot. Jo 1960-luvulla ryhdyttiin toimenpiteisiin akuuttien vaikutusten pienentämiseksi, kuten esim. happikadon poistamiseen jätevesien purkukohdan välittömässä läheisyydessä. 1970-luvulla huomio kiinnittyi enenevässä määrin pitempiaikaisiin ja kroonisiin vaikutuksiin, joita aiheuttivat muut kuin happea kuluttavat yhdisteet.

Valkaisimossa muodostuviin kloorautuneisiin orgaanisiin yhdisteisiin alettiin kiinnittää huomiota 1970-luvun lopulla, ja 1980-luvulta aina näihin päiviin asti pääpaino on ollut näiden yhdisteiden vaikutusten selvittämisessä. Usein esitetty väittämä oli, että koska eräät ympäristölle haitallisimmat aineet kuten DDT ja PCB ovat orgaanisia kloori-yhdisteitä, myös sellutehtaista peräisin olevat orgaaniset kloori-yhdisteet ovat yhtä haitallisia. Näiden yhdisteiden päästöjä ei tällä perusteella tulisi sallia ja kloorin käytöstä valkaisukemikaalina tulee luopua. Julkisessa keskustelussa ei kuitenkaan otettu huomioon eri orgaanisten klooriyhdisteryhmien kemiallisissa ja myrkyllisissä ominaisuuksissa esiintyvää suurta vaihtelua. Lisääntyvä tietämys luontaisten kloorautuneiden yhdisteiden esiintymisestä ympäristössä (Grimvall 1993; Gribble 1992) ei myöskään ulottunut julkisen keskustelun piiriin. Tuloksena oli kuitenkin massa- ja paperiteollisuuden päätyminen merkittäviin teknisiin investointeihin kloorautuneen orgaanisen aineksen (AOX) päästöjen pienentämiseksi.

# 2

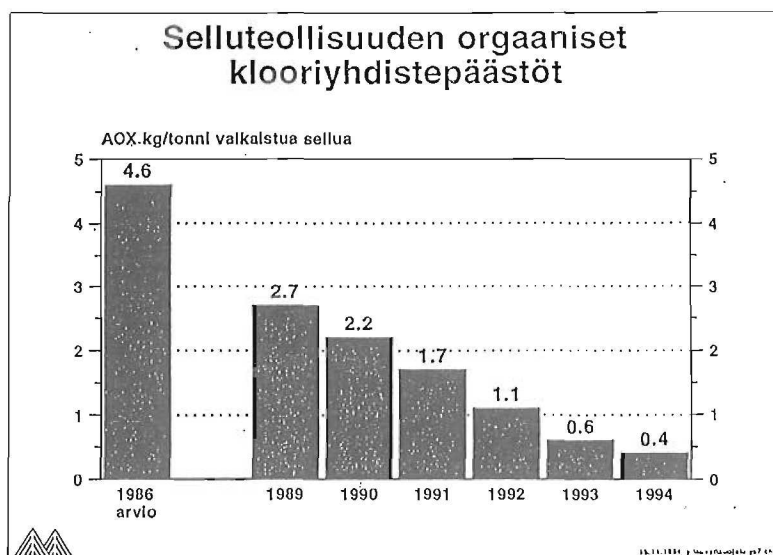
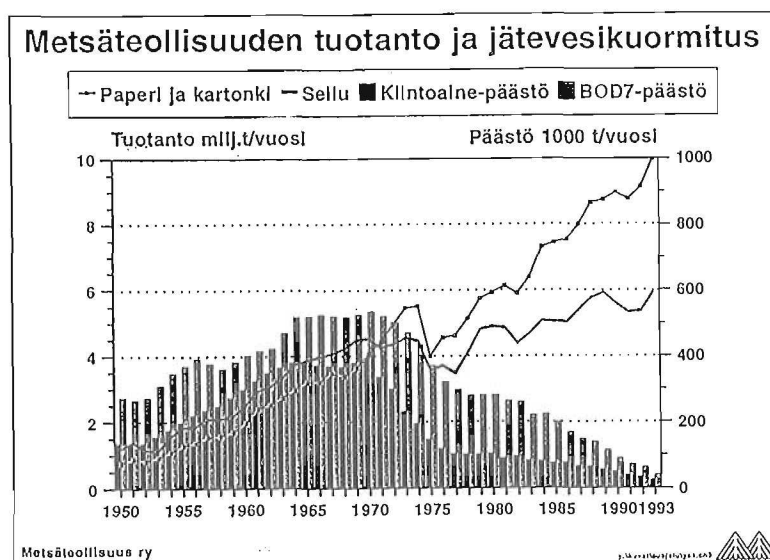
## TEKNINEN KEHITYS

Päästöjen pienentäminen on viimeiset parikymmentä vuotta ollut tärkein sellu-  
tuotannon teknistä kehitystä määräävä yksittäinen tekijä. Tämä suuntaus on joh-  
tanut merkittäviin prosessitekniikan muutoksiin ja huomattaviin lisäyksiin  
ympäristönsuojeluinvestoinneissa. Sellun keiton, valkaisu ja päästöjen kehitystä  
voidaan kuvata kuvassa 1 olevalla kaaviolla (Annergren 1993, Kymmene 1995).  
Liuenneen puuraaka-aineen lisääntynyt sisäinen talteenotto on ollut merkittävä  
muutos, jolla on myös taloudellisia etuja. Kloorikaasun käyttö valkaisuissa on kor-  
vattu klooridioksidilla (ECF-valkaisu) ja muilla hapetta sisältävillä kemikaaleilla  
kuten peroksidilla ja otsonilla (TCF-valkaisu). Kloorikaasun käyttö Suomessa pie-  
neni 200 000 tonnista vuonna 1980 noin 20 000 tonniin vuonna 1993. Samaan ai-  
kaan klooridioksidin käyttö lisääntyi 60 000 tonnista 150 000 tonniin. Hapen käy-  
ttö valkaisu-  
kemikaalina on kasvanut nol-  
lasta 50 000 tonniin vuosien 1980 - 1993  
aikana (Metsäteollisuus ry.).



Kuva 1. Keittoprosessin, valkaisu ja päästöjen kehitys. (Lähde: Annergren 1993, Kymmene 1995).

Toinen merkittävä tekijä päästöjen kannalta on ollut ulkoisten biologisten puhdistuslaitosten rakentaminen metsäteollisuuslaitosten yhteyteen. Vuonna 1994 Suomen metsäteollisuuden biologisista puhdistamoista 26 oli aktiivilietelaitoksia, neljä oli ilmastettuja lammikoita ja kaksi oli anaerobilaitoksia. Lisäksi useimmat tehtaat ovat vähentäneet jätevesipäästöjään prosessin sisäisillä toimilla esimerkiksi satunnaispäästöjä pienentämällä, suunnitteleamalla viemärointiä sekä käsittelemällä lauhhteita. Suomen metsäteollisuuden jätevesivirtaama on näiden teknisten ratkaisujen seurauksena pienentynyt 64 % vuodesta 1973 vuoteen 1993. Vuonna 1973 jätevesivirtaama oli 1 800 000 m<sup>3</sup>/a ja vuonna 1993 650 000 m<sup>3</sup>/a. Vastaavasti metsäteollisuuden AOX-päästöt ovat pienentyneet vuoden 1986 arvioidusta 4,6 kg/tonni massaa 0,4 kg/tonni massaa vuonna 1994 (Kuva 2) (Metsäteollisuus ry.).



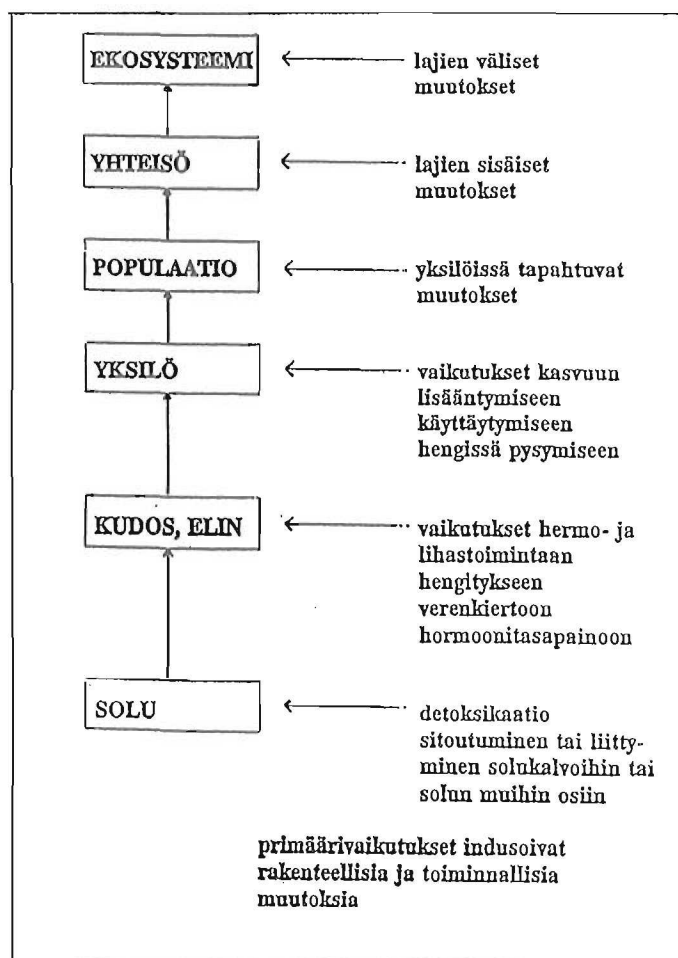
Kuva 2. Metsäteollisuuden tuotanto ja jätevesikuormitus sekä selluteollisuuden orgaaniset klooripäästöt 1988-1994. (Lähde: Metsäteollisuusry1995).

Tänä päivänä useat tehtaat etupäässä Skandinaviassa ovat korvaamassa klooridioksidin käyttöä vetyperoksidilla ja otsonilla (TCF-valkaisu) ainakin eräiden massalaatujen tuotannossa. Verrattuna klooridioksidivalkaisun (ECF), kuten myös muidenkin valkaisu-tekniikoiden aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, TCF-valkaisun vaikutuksista on suhteellisen vähän tietoa julkaistussa kirjallisuudessa (Kovacs ym. 1995, painossa). TCF-valkaisuun siirtymisestä on käyty laajaa keskustelua. On kyseenalaistettu, perustuivatko prosessimuutokset enemmänkin epäilyksiin ja satunnaisiin viitteisiin kuin selkeisiin tieteellisiin näyttöihin syy-yhteyksistä selluteollisuudesta peräisin olevien orgaanisten klooriyhdisteiden ja biologisten ja ekologisten vaikutusten välillä (Reeve 1993, Clark 1994). Prosessimuutoksiin liittyi onneksi myös muita ympäristön kannalta merkittäviä prosessitoiminnan parannuksia. Tällaisia ovat olleet esimerkiksi valkaisemattoman massan pesun tehostuminen ja satunnaispäästöjen talteenotto, jotka ovat vähentäneet kloorautumattoman orgaanisen aineksen päästöjä. Viimeaikaiset tieteelliset selvitykset antavat aiheetta olettaa, että AOX-kuormituksen pienentymisen yhteydessä usein tapahtuva samanaikainen orgaanisen aineksen kokonaiskuormituksen pienentyminen on ollut vähentyneen toksisuuden todellinen syy. Orgaanisen aineksen määrää voidaan mitata kiintoaineen, biokemiallisen (BOD) ja kemiallisen hapenkulutuksen (COD) ja liunneen orgaanisen hiilen (DOC) avulla.

# MENETELMÄT VAIKUTUSTUTKIMUKSISSA

# 3

Biologinen karakterisointi on muodostunut merkittäväksi keinoksi selvittää ympäristö-vaikutusten ilmenemistä ja laajuutta vesiekosysteemeissä. Tämä karakterisointi voidaan jakaa neljälle eri organisaation tasolle: yhteisö-, populaatio-, yksilö- ja kudostaso. Yhteisössä eri lajit ovat läheisessä vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. Populaatio on ryhmä yhden lajin yksilöitä, jotka asuttavat tiettyä aluetta. Biologisia tutkimuksia yhteisö- ja populaatiotasolla pidetään tällä hetkellä tärkeimpinä mm. jätevesien vaikutus-tutkimuksissa ja niitä tulisi enemmän painottaa. Yksilötason tutkimukset selvittävät mm. eliöiden painoa, pituutta ja kuntoa kun taas kudostason selvitykset tutkivat vaikutuksia elin-, kudostasolla ja molekyylitasolla (Kuva 3).



Kuva 3. Biologinen karakterisointi.

Ekologian painopistealueet ovat yhteisö- ja ekosysteemitasolla. Tämän päivän tutkimuksen painopistealueet ovat olleet solu-, kudosis- ja yksilötason tutkimuksissa, joista yleisesti on käytetty nimitystä ekotoksikologinen tutkimus. Tavoitteena on ollut se, että alemman tason yksinkertaisemmilla tutkimuksilla pyritäisiin ennakoidaan yleisemmällä tasolla tapahtuvia muutoksia.

Yksinkertaisimmat biologiset menetelmät ovat akuuttia ja lyhytaikaista toksisuutta mittaavat yksilajitestit, joista käytetään yleisesti nimitystä toksisuustesti. Näissä testeissä käytetään yhtä eliölajia, tiettyä laimennussarjaa ja tiettyä aikaväliä mitaamaan esimerkiksi kuolleisuutta, kasvua, liikkumista tai lisääntymistä. Tulokset ilmoitetaan yleensä LC50-arvona, joka on se pitoisuus, jossa 50 % tutkittavista eliöistä kuolee. EC50-arvo kuvaa sitä pitoisuutta, jossa tietty ennalta määrätty vaste ilmenee puolessa koe-eliöistä (EC50-arvo). Tärkeimmät toksisuustestit ovat olleet kalalla tai vesikirpulla tehtävät LC50-testit, joista on olemassa suomalaiset SFS-standardit. Skandinaviassa ja Kanadassa, jossa vastaanottavat vesistöt yleensä ovat kylmiä, kalatesteissä on yleisimmin käytetty kirjolohta.

Toksisuustestien tuloksia ilmoitettaessa käyttöön otettiin käsite toksisuusyksikkö (toxic unit) TU. Toksisuusyksikkö (TU) vastaa sitä kemikaalin pitoisuutta tai jäteveden laimennusta (% v/v), joka tappaa 50 % koekaloista 96 tunnin aikana eli 1 TU = 96 h LC50. Tämän mukaan tietyn jäteveden "toksisuuden määrä" ilmaistaan toksisuusyksikköinä seuraavasti:

$$TU = \frac{100 \%}{96 \text{ h LC50} (\%)}$$

Toksisuusyksikkö on lisäksi käyttökelpoinen kun halutaan suhteuttaa toksisuus tietyn tehtaan päivittäiseen jätevesimäärään. Kertomalla toksisuusyksikkö päivittäisellä jätevesimäärällä (m<sup>3</sup>/d) saadaan TER-arvo (toxicity emission rate). Lisäksi on usein tärkeää saada tietää toksisuuden määrä suhteessa tuotantoon. Tällöin voidaan laskea TEF-arvo (toxicity emission factor) joka saadaan kertomalla TU jätevesimäärällä tuotettua sellutonna kohden.

$$\begin{aligned} \text{TER} &= \text{TU} \times \text{päivittäinen jätevesimäärä m}^3/\text{d} \\ \text{TEF} &= \text{TU} \times \text{jätevesimäärä per tuotettu sellutonne m}^3/\text{ADt} \end{aligned}$$

Toksisuuden mittaauksessa yksilajitestit ovat nopea ja halpa tapa ennakoita jätevesien vaikutuksia, mutta niitä ei voida käyttää tyhjentyvinä selvityksinä. Lyhytaikaisia testejä voidaan käyttää seulottaessa ja vertailtaessa eri jätevesien myrkyllisyyttä, sekä arvioitaessa prosessimuutosten suhteellista vaikutusta. Nämä testit ovat myös käyttökelpoisia kun tarkoituksena on varmistaa, että jätevedet eivät aiheuta tappavia vaikutuksia vesistöissä. Niiden ei kuitenkaan ole voitu osoittaa ennustavan mahdollisia pienemmissä, mutta haitallisissa pitoisuuksissa todettavia vaikutuksia (subletaali) yksilötasolla, kuten ei myöskään populaatio- ja yhteisötasolla.

Subletaaleja vaikutuksia on tutkittu yksilötasolla runsaasti käyttämällä erilaisia menetelmiä ja vaikutuskohteita (Taulukko 1). Suurin osa tutkimuksista on tehty kaloilla, mutta myös simpukoita ja muutamia äyriäislajeja on käytetty koe-eliöinä. Kalafysiologia ja biokemiallisia muuttujia kutsutaan usein biomarkkereiksi. Teoriassa biomarkkereiden tulisi olla herkkiä muuttujia, jotka varoittavat vaikutuksista. Niiden tulisi välittää tietoa yksilöiden vasteista joko luonnollisista tai ihmisen toiminnan aiheuttamista ympäristö-muutoksista.

**Taulukko 1. Luettelo eri kalalajeista ja muuttujista, joita on käytetty pitempiaikaisissa laboratorioaltistuksissa.**

Laji	Muuttuja
Hauki ( <i>Esox lucius</i> )	mätikuolleisuus
Kivinilkka ( <i>Zoarces viviparus</i> )	mäimunien määrä ja poikasten kasvu
Mutu ( <i>Phoxinus phoxinus</i> )	mäti- ja poikaskuolleisuus
Kirjolohi ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	poikaskuolleisuus, kasvu, energia-aineenvaihdunta, hematologia, histopatologia, vierasainemetabolia ja siihen liittyvät entsyymitoiminnat
Kultakala ( <i>Carassius auratus</i> )	lisääntymishormonit
Härkäsimppu ( <i>Myoxocephalus quadricornis</i> )	selkärangan epämuodostumat, luuston biokemiallinen koostumus, hematologia, energia-aineenvaihdunta
Salakka ( <i>Alburnus alburnus</i> )	selkärangan epämuodostumat, luuston biokemiallinen koostumus
Kuningaslohi ( <i>Oncorhynchus tshawytscha</i> )	kuolleisuus, kasvu, hematologia, histologia

Yksilajitestien lisäksi metsäteollisuuden jätevesiä on tutkittu monilajitesteillä, joista tärkeimpiä ovat olleet Itämeren rantavyöhykettä kuvaavat malliekosysteemit. Valkaistun sulfaattimassan tuotannosta aiheutuvia jätevesien biologisia vaikutuksia on laajemmin selvitetty 1980-luvun alusta lähtien. Malliekosysteemitekniikan kehittelyn taustana oli se, että yksilötasolla vaikutuksia kuvaavilla yksilajitesteillä ei yksinään voitu ennustaa aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Todenmukaisemman tiedon saamiseksi oli hankittava ekosysteemin rakennetta ja toimintaa kuvaavaa tieteellistä aineistoa. Täten saadaan merkittävästi todellisempaa tietoa ja käytetyt testimenetelmät mahdollistavat suorien ja epäsuorien vaikutusten selvittämisen.

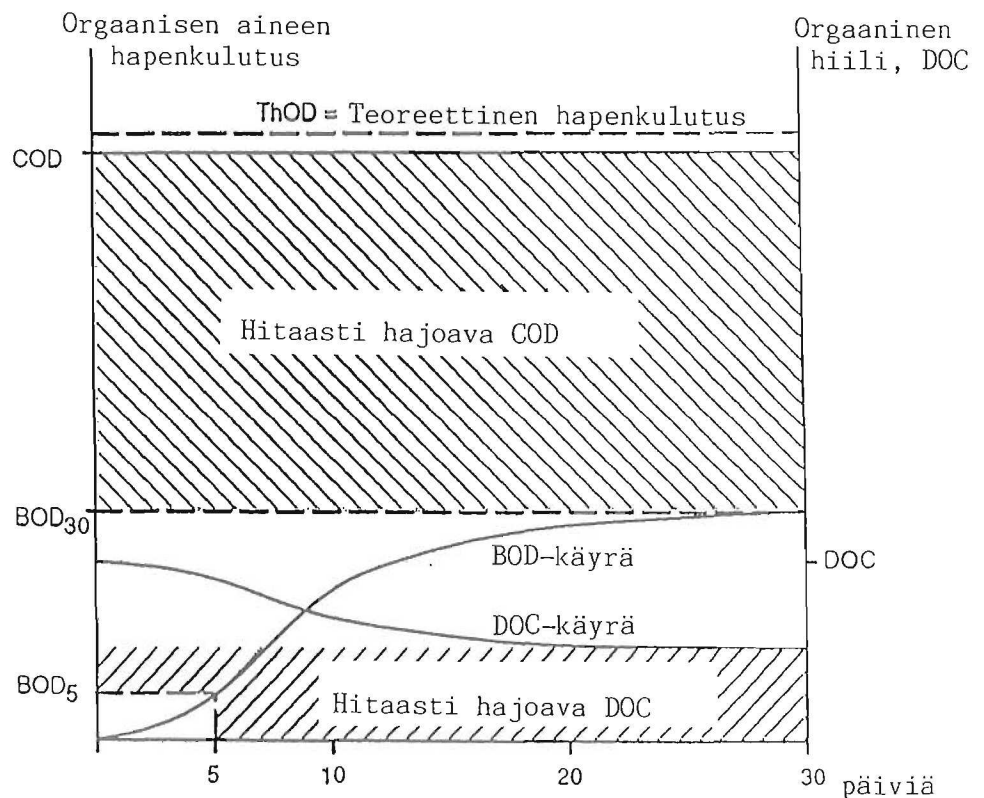
Malliekosysteemi voidaan määritellä yksinkertaistetuksi luonnollisen ekosysteemin kopioksi. Ekosysteemi muodostuu fyysisestä ympäristöstä, johon kuuluvat vesi, pohja, veteen liuenneet aineet sekä mikro-organismit, kasvit ja eläimet. Aurinkoenergian, hiili-dioksidin, veden ja kivennäissuolojen avulla muodostuu kasviainesta, joka toimii ravintona alimmalle kuluttajatasolle (primäärikuluttajat). Pedot eli toisen asteen kuluttajat muodostavat sekä määrällisesti että ekosysteemin läpi virtaavan energian kannalta vain pienen osan systeemiä, mutta niiden merkitys primäärikuluttajien säätelyssä on merkittävä. Kuolleen orgaanisen aineksen l. detrituksen syöjät (mikro-organismit ja tietyt eläimet) toimivat lopullisina hajottajina, jolloin kivennäissuolat vapautuvat käytettäväksi uudelleen kasvien rakennusaineena.



# 4

## ALTISTUMINEN

Biologisesti käsiteltyjen jätevesien COD edustaa sitä orgaanisen aineksen osaa, joka ei helposti hajoa ekosysteemissä, mutta ei toisaalta myöskään välttämättä anna viitteitä siihen kuuluvien yhdisteiden mahdollisesta haitallisuudesta. Kuva 4 pyrkii antamaan käsityksen BOD:n, COD:n ja DOC:n (liuennut orgaaninen hiili) välisestä suhteesta. COD:n ja DOC:n pienentäminen on sen mukaan ympäristön kannalta tärkeämpää kuin BOD:n pienentäminen, edellyttäen, että happiolosuhteet vastaanottavassa vesistössä eivät muodosta erityistä ongelmaa. Valkaisukemikaalien valinta ei paljonkaan vaikuta COD:hen tai DOC:hen, mutta valkaisu edeltävillä prosessiratkaisuilla kuten esim. jatkettulla keitolla, lisääntyneellä pesulla ja happidelignifioinnilla, sitä vastoin on vaikutusta kyseisiin kuormitusparametreihin.



Kuva 4. Yleistajuinen kaavio COD:n, DOC:n ja BOD:n välisestä suhteesta. (Lähde: Folke ym. 1993).

Yleisesti ollaan sitä mieltä, että nykyaikaisten ECF- ja TCF-valkaisua käyttävien tehtaiden monikloorattujen fenolien, dioksiinien ja furaanien päästöjä ei enää voida pitää huolen aiheena. Sen sijaan kloorautumattomat yhdisteet kuten hartsi- ja rasvahapot, kasvisterolit ja muut puuperäiset yhdisteet samoin kuin kompleksinmuodostajat ovat nykyisin suurimman kiinnostuksen kohteena. Näiden yhdisteiden päästöt riippuvat suuresti pesuhäviöistä ja muista tehtaan sisäisistä prosessiratkaisuista samoin kuin ulkoisen puhdistuksen asteesta. Kompleksinmuodostajia käytetään otsoni- ja vetyperoksidi-valkaisun yhteydessä. Kompleksinmuodostajat (EDTA, DTPA) eivät häviä jätevesien käsittelyn yhteydessä ja sisältäessään tyypeä voivat siten teoriassa edesauttaa rehevöitymistä.

Tässä katsauksessa läpikäyty vanhempi kirjallisuus osoittaa toksisuustestejä tehdyn vähän eri jätevesijakeilla. Suurin osa tutkimuksista on tehty joko käsittelemättömillä tai käsitellyillä tehtaan kokonaisjätevesillä. Useimmiten tutkimuksissa ei ole kerrottu tehtaan käyttämistä valkaisujakeista, vedenkulutuksesta sellutonna kohden tai esitetty tietoja jäteveden kuormitusparametreista. Puhdasainekokeet on tehty lähes pelkästään kloorifenoleilla ja/tai hartsihapoilla. Näillä yhdisteillä tehdyissä laboratoriokokeissa on käytetty pitoisuuksia, jotka eivät vastaa nykyisin uudenaikaisten tehtaiden vastaanottavissa vesistöissä tavattavia pitoisuuksia. Tutkimusten tuloksia ei myöskään ole suhteutettu tai verrattu käytössä olleisiin prosesseihin. Näin ollen johtopäätösten tekeminen prosessimuutosten suhteesta todettuihin vaikutuksiin on ollut mahdotonta. Vasta viimeaikaisessa tieteellisessä kirjallisuudessa on alkanut esiintyä prosessitietoja yhdessä biologisten tulosten kanssa.

Puuperäisten yhdisteiden kuten sterolien on osoitettu aiheuttavan häiriöitä kalojen hormonitasapainossa. Koiraspuolisten ominaisuuksien lisääntymistä naaraskaloissa on lisäksi havaittu tehtaiden alapuolisissa vesistöissä (Bortone ym. 1989) samoin kuin laboratorio-olosuhteissa (Drysdale & Bortone 1989). Alhaisten  $\beta$ -sitosteroli- ja sitä muistuttavien yhdisteiden pitoisuuksien on todettu aiheuttavan kaloissa kasvun lisääntymistä ja vasteita aineenvaihduntaa kuvaavissa muuttujissa (Lehtinen ym. 1993) sekä lisääntymiskyvyn alentumista (MacClatchy & Van Der Kraak 1994). Sekä alku-peräisten puuperäisten sterolien että niiden mikrobiologisten aineenvaihduntatuotteiden on todettu aiheuttaneen muutoksia kalojen hormonitaseissa. Tämä aiheuttaa analyttisen ongelman arvioitaessa jätevesien käsittelylaitosten tehokkuutta poistaa steroleja ja niiden kaltaisia yhdisteitä, koska näiden yhdisteiden bakteeriperäinen muuntuminen voi olla todennäköisempää kuin niiden hajoaminen käsittelyn aikana.

Tällä hetkellä näyttää siltä, että puuperäisiä yhdisteitä voidaan pitää yhtenä tärkeimmistä vaikutusten aiheuttajista yksilötasolla. On myös mahdollista, että monet aikaisemmin kloorattujen orgaanisten yhdisteiden aiheuttamiksi raportoidut vaikutukset itse asiassa ovat johtuneet puuperäisistä yhdisteistä, joilla ei ole ollut suoranaista yhteyttä massan valkaisuun. Sellutehtaat eivät välttämättä ole ainutlaatuisia tarkasteltaessa hormonaalisia vaikutuksia aiheuttavien kasviperäisten yhdisteiden päästöjä. Kunnalliset jätevedet ja valumavedet voivat aiheuttaa merkittävän lisän hormoneja muistuttavien yhdisteiden esiintymiseen vesistöissä.

# 5

## VAIKUTUKSET

Viimeisimmät lyhytaikaiset yksilajitestit osoittavat vaikutusten vähenevän prosessi-tekniikan parantuessa. Malliekosysteemitutkimukset ovat osoittaneet, että saavutettaessa AOX-taso noin 1,3 kg/t massaa vaikutusten vähentymistä ei voida enää osoittaa. Ne ovat myös osoittaneet konventionaalisesta valkaisuista yhdessä ulkoisen puhdistuksen kanssa peräisin olevat jätevedet vaikutuksiltaan samanlaisiksi tai pienemmiksi kuin nykyaikaista valkaisu-tekniikkaa käyttävien tehtaiden jätevedet (Lehtinen ym. 1993). Lisäksi eräissä testeissä on todettu 100 %:sti klooridioksidia käyttävän valkaisimon jätevesien olevan vähemmän myrkyllistä kuin valkaisimon, jossa valkaisu-kemikaaleina on käytetty otsonia tai/ja peroksidia (Kuva 5).

Valkaisujätevedet		Esiselkeytettyt kokonais-jätevedet	
Levä:	ODEoD > OZP, OPZ	Akuutit testit	
Ceriodaphnia		Microtox	
EROD (Taimen):	OQP, OZEP > ODE	Ceriodaphnia:	ECF = TCF
Seeprakala:	ECF = TCF	Subletaalit testit	
		Seeprakala:	ECF > TCF
		Ceriodaphnia	
		Levä:	ECF = TCF

### 2nd International Conference on Environmental Fate of Bleached Pulp Mill Effluents

- \* Biologinen puhdistus vähentää vaikutuksia
- \* Keittämöjätevesi > Valkaisujätevesi
- \* ECF = TCF
- \* ECF < TCF
- \* ECF > TCF

Kuva 5. ECF- ja TCF-jätevesien toksisuuden vertailu lyhytaikaistesteillä (Lähde Kovacs ym. 1995) sekä vertailu aikaisempiin tutkimuksiin (Vancouver pidetty konferenssi 11/1995).

Kuvassa 5 esitetty yhteenveto tehdyistä lyhytaikaisista yksilajitesteistä osoittaa vaihtelua ja eroja ECF- ja TCF-menetelmällä valkaistun massan tuotannosta aiheutuvien jätevesien välillä. Jätevesien myrkyllisyyden suhteen TCF-valkaisuun edut ECF-valkaisuun suhteen tai päinvastoin eivät ole johdonmukaisia. ECF-jätevedet voivat olla myrkyllisempiä, vähemmän myrkyllisiä tai yhtä myrkyllisiä kuin TCF-jätevedet. Toistaiseksi ei kuitenkaan voida antaa mitään todennäköistä selitystä sille, miksi näin on. Myrkyllisuustutkimuksissa käytetyt toisistaan poikkeavat koejärjestelyt ja eri tyyppiset biotestit ovat epäilemättä lisäämässä tulosten ristiriitaisuutta. Kokeissa on saatettu testata joko saman tehtaan tai eri tehteiden valkaisu-jätevesiä käyttäen eri toimintoja mittaavia biotestejä. Lisäksi muut tekijät kuin valkaisu, esimerkiksi puuraaka-aine ja valkaisu edeltävien prosessien erot, ovat vaikuttamassa testattavien jätevesien laatuun.

Taulukkoon 2 on koottu erilaisten 1970-luvun ja 1980-luvun alkupuolen teknologiaa käyttävien tehtaiden jätevesien laboratorioaltistuksissa pääosin kaloille vasteita aiheuttaneiden jätevesilaimennosten vaihteluvälejä. Taulukon 2 perustana olevat tutkimukset ovat käsitelleet sekä yksilö- että kudostasolla tehtyjä tutkimuksia (kalojen kuolleisuus, uintikäyttäytyminen, ravinnon kulutus, energia-aineenvaihdunta, hematologia, kudosaauriot), mikä osaksi saattaa vaikuttaa todettuihin suuriin vaihteluväleihin.

**Taulukko 2. Eliöille biologisia vasteita aiheuttaneiden jätevesilaimennosten vaihteluvälejä. Suluissa testattujen vesien määrä (Lähde: McLeay 1987).**

Prosessi	Käsittely	Jätevesilaimennoksenvaihteluväli (% v/v)	Testattujen vesienmäärä
Valkaisematon	Käsittelemätön	2,0 - 5,0	(2)
Valkaisematon	Esiselkeytetty	0,5 - > 30	(7)
Valkaisematon	Biol.käsittely	1,0 - > 5,0	(7)
Valkaistu	Käsittelemätön	<1,0 - 10	(2)
Valkaistu	Esiselkeytetty	0,1 - >25	(15)
Valkaistu	Biol.käsittely	1,0 - 91	(16)

Valkaisemattoman ja valkaistun massan tuotannosta aiheutuneiden esiselkeytettyjen jätevesien vasteita aiheuttavat jätevesilaimennokset olivat hyvin samanlaisia. Valkaistun massan biologisesti käsiteltyjen jätevesien vasteita aiheuttavat jätevesilaimennokset vaihtelivat 1 %:n ja käytännössä lähes laimen-tamattoman jäteveden välillä. Tämä osoittaa biologisen käsittelyn vähentävän valkaistun massan jätevesien aiheuttamia vaikutuksia. Valkaisemattoman massan tuotannosta aiheutuvien jätevesien vaikutukset sen sijaan eivät vähentyneet biologisen käsittelyn jälkeen.

Eri jätevesiä vertailtaessa on kuitenkin muistettava, että tehtaiden vedenkulutuksessa ja prosessien sisäisissä ratkaisuisissa esiintyy suuriakin eroja, jotka myös osaltaan vaikuttavat taulukossa 2 esitettyjen vaihteluvälien suuruuteen.

Viimeaikaiset vastaavat laboratorioaltistukset nykyaikaisten tehtaiden jätevesillä ovat osoittaneet samanlaisia vasteita aiheuttavia jätevesilaimennoksia kuin taulukossa 2 esitetyt valkaistun massan käsitellyt jätevedet. Nämä tulokset osoittavat, että vanhempaa ja uudempaa teknologiaa käyttävien tehtaiden jätevedet aiheuttavat biologisia vasteita samoissa jätevesilaimennoksissa. Tulokset antavat myös aiheutta epäillä valkaisun osuutta todetuissa vaikutuksissa. Biologinen käsittely toisaalta vähentää merkittävästi uusien valkaistua massaa tuottavien tehtaiden jätevesien myrkyllisyyttä.

Norrssundetin tehtaan vastaanottavassa vesistössä Ruotsissa tehdyt tutkimukset 1980-luvun puolivälissä (MILJÖ/CELLULOSA I, Södergren 1988) aloittivat maailmanlaajuisen tutkimustoiminnan, jossa kiinnostus oli ensisijaisesti kloorautuneen aineksen ja vaikutusten välisessä suhteessa. Norrssundetin tutkimuksissa, kuten muissakin Ruotsissa tehdyissä laboratorio- ja kenttätutkimuksissa, osoitettiin huomattavia vasteita yksilö- ja populaatiotasolla. Tutkimusten johtopäätöksissä kloorivalkaisussa muodostuvat orgaaniset klooriyhdisteet yhdistettiin yleensä havaittuihin biologisiin vaikutuksiin. Orgaanisten klooriyhdisteiden osuutta todettuihin vaikutuksiin ei kuitenkaan voitu ratkaisevasti todistaa.

Norrssundetin tutkimuksista lähtien on lukuisia kalafysiologisia ja muita biokemiallisia biomarkkereita käytetty laboratorio- ja kenttätutkimuksissa. Niistä vain harvat ovat osoittautuneet luotettaviksi varoituskelloiksi, mikä oli biomarkkereiden käytön alkuperäinen tavoite. Kalojen vierasainemetaboliaan liittyvät vasteet ovat olleet yleisimmin käytettyjä biomarkkereita. Erityisesti transformaatioentsyymi EROD:n aktiivisuuden muutoksia käsitteleviä tutkimuksia on tehty paljon Skandinaviassa ja Pohjois-Amerikassa. Useimmissa tapauksissa todettiin tämän entsyymin aktiivisuuden lisääntymistä (induktio) altistusten aikana. Muutosten syy-seuraussuhteet ovat kuitenkin edelleen tulkinnanvaraisia.

Huolimatta alkuperäisestä hypoteesista, että jätevesien klooratut yhdisteet olivat induktion aiheuttajia, myöhemmät tutkimukset ovat osoittaneet, että myös valkaisemattoman massan tuotannosta aiheutuvat jätevedet aiheuttavat entsyymin indusoitumista (Lindström-Seppä ym. 1992). Kanadalaiset laboratoriotutkimukset ovat myös osoittaneet TCF-jätevesien aiheuttavan entsyymin induktiota (O'Connor ym. 1993). Vierasaine-metaboliaan liittyvien entsyymien induktion lisäksi, näiden entsyymien aktiivisuuden on todettu myös pienenevän (inhibitio) jätevesialtistuksissa valkaisuprosessista riippumatta. Tulokset osoittavat, että EROD-entsyymin aktiivisuuden muutokset a) eivät ole kloorispesifisiä, b) muutosten erisuuntaisuus vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja c) sulfaattiprosessi sinällään sisältää entsyymitoimintaa kiihdyttäviä yhdisteitä.

Kanadalaisissa tutkimuksissa on viime aikoina alettu käyttää kalojen lisääntymistoimintoihin liittyviä biomarkkereita. Nämä tutkimukset ovat osoittaneet hormonaalisia häiriöitä tehtaiden alapuolisista vesistöistä pyydytyissä kaloissa. Hormonaaliset häiriöt eivät kuitenkaan ole olleet yhteydessä vierasainemetaboliaan liittyvien entsyymien aktiivisuuden muutoksiin. Kanadalaiset tutkimukset ovat myös osoittaneet EROD-entsyymin induktion häviävän alapuolisen vesistön kaloissa tehtaan seisokin aikana, kun taas hormonaaliset vasteet säilyivät. Jätevesien ulkoinen puhdistus ei myöskään vähentänyt todettuja hormonaalisia vaikutuksia (Munkittrick ym. 1992).

Erilaisissa vastaanottavissa vesistöissä tehdyissä kenttätutkimuksissa on todettu suurta vaihtelua kalojen yksilö- ja kudostasolla havaittujen vasteiden määrässä ja voimakkuudessa. Nykyaikaisten tehtaiden alapuolisissa vesistöissä tehtyjen viimeaikaisten kenttätutkimusten perusteella ei ole osoitettavissa mitään yleistä vaikutusmallia.

Norrundetin tehtaan alapuolisessa vesistössä yhteisö-, populaatio- ja yksilötasolla todettuja dramaattisia vaikutuksia voidaan laajuudeltaan ja määrältään pitää ainutlaatuisina. Norrsundetin ja myös muiden vanhempaa teknologiaa käyttävien, myös ulkoisella puhdistuksella varustettujen tehtaiden, alapuolisissa vesistöissä havaittua vaikutustapaa ei myöskään ole voitu myöhemmissä kenttätutkimuksissa vahvistaa.

Tulosten oikeaa tulkintaa varten kenttätutkimuksissa on tärkeitä omata riittävät tiedot altistumisolosuhteista ja tehtaan toiminnasta. Norrsundetin tehtaalla esimerkiksi oli vuosien 1984-85 tutkimusten yhteydessä käynnissä uusien prosessien käyttöönotto, jonka seurauksena satunnaispäästöt olivat merkittäviä.

Nykyisin on olemassa kemiallisia ja biologisia mittauksia, joiden avulla altistuminen voidaan määrittää. Esimerkkinä tästä mainittakoon kalojen sapesta tehtävät eri konjugoitujen kloorifenolien ja hartsihappojen määritykset. Kenttätutkimuksissa tulee myös kiinnittää huomiota altistumista kuvaavan näytteenoton ajalliseen ja paikalliseen koordinaatioon yhdessä biologisten tutkimusten kanssa. Tämä on tärkeitä altistumisen ja vaikutusten vuorovaikutuksen arvioinnissa. Yksilö- ja kudostason mittausten käyttökelpoisuus on kaikkiaan tässä suhteessa kuitenkin todistamatta. Useiden eri tyyppisten metsäteollisuuden jätevesien on esimerkiksi todettu aiheuttavan EROD-entsyymin induktiota ilman, että todellista vaikuttavaa yhdistettä on voitu tunnistaa, ja tämän induktion seuraukset populaatiotasolla ovat yhä tuntemattomat.

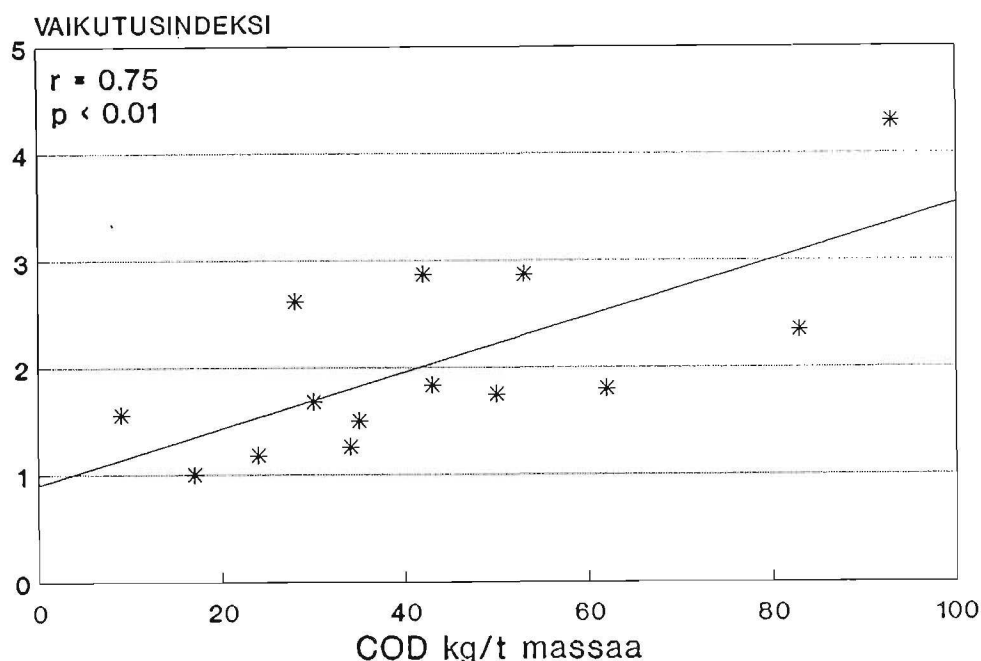
Käytettävissä olevat kenttätutkimukset ovat osoittaneet, että kun tehtaan sijainti vastaanottavan vesistön kannalta on hyvä, tehtaan toiminnot hyvin valvonnassa ja tehtaalla on tehokas ulkoinen puhdistus, niin alapuolisen vesistön kala- ja pohjaeläin-populaatiot vaikuttavat normaaleilta ja luonnonmukaisilta. Käytäntö on myös osoittanut, että metsäteollisuuden jätevesien vaikutustutkimuksiin kenttäolosuhteissa tulee liittää sekä fysiologisia että ekologisia osia. Niihin on sisällytettävä myös tarkat tiedot tehtaan käyttämistä prosesseista ja jätevesien sisältämistä yhdisteistä tai yhdisteryhmistä.

Suomessa tehdyt kenttätutkimukset ovat olleet joko pelkästään yksilötasolla tai populaatiotasolla tehtyjä tutkimuksia. Yhtään julkaistua selvitystä, jossa sekä yksilö- että populaatiotasoon vaikuttavia vaikutuksia olisi selvitetty samanaikaisesti ei kirjallisuudesta ole löytynyt.

Tutkimuksia ei tulisi ajoittaa tehtaan prosessimuutosten yhteyteen kuten Norrsundetissa ja sitten yleistää todettuja vaikutuksia koskemaan metsäteollisuuden jätevesialueita yleensä. Selvitettäessä prosessimuutosten ympäristövaikutuksia vesistöissä jätevesistä aiheutuva altistuminen on selkeästi määritettävä. Lisäksi tehtaan prosessiolosuhteet, vastaanottavan vesistön hydrologia sekä aikaisemmat päästöt ja vaikutukset on tunnettava ennen yleistävien johtopäätösten tekemistä. Lisäksi kenttätutkimuksissa käytettävien eri biomarkkereiden tai biomarkkeriyhdistelmien ekologinen vaikuttavuus on arvioitava, ennenkuin niitä voidaan käyttää tai suositella käytettäväksi rutiininomaisissa tarkkailututkimuksissa.

Malliekosysteemitutkimukset ovat osoittautuneet selvästi yksilajitestejä herkemiksi. Ne ovat osoittaneet myös, että pitkäaikaisvaikutusten ennustettavuus ekosysteemi- ja yhteisötasolla lyhytaikaisten toksisuustestien perusteella on huono. Malliekosysteemit mahdollistavat myös hallittuja populaatio- ja yhteisötason tutkimuksia ilman, että historiallista alkuperää olevat päästöt ja päästöjäät ovat vaikuttamassa.

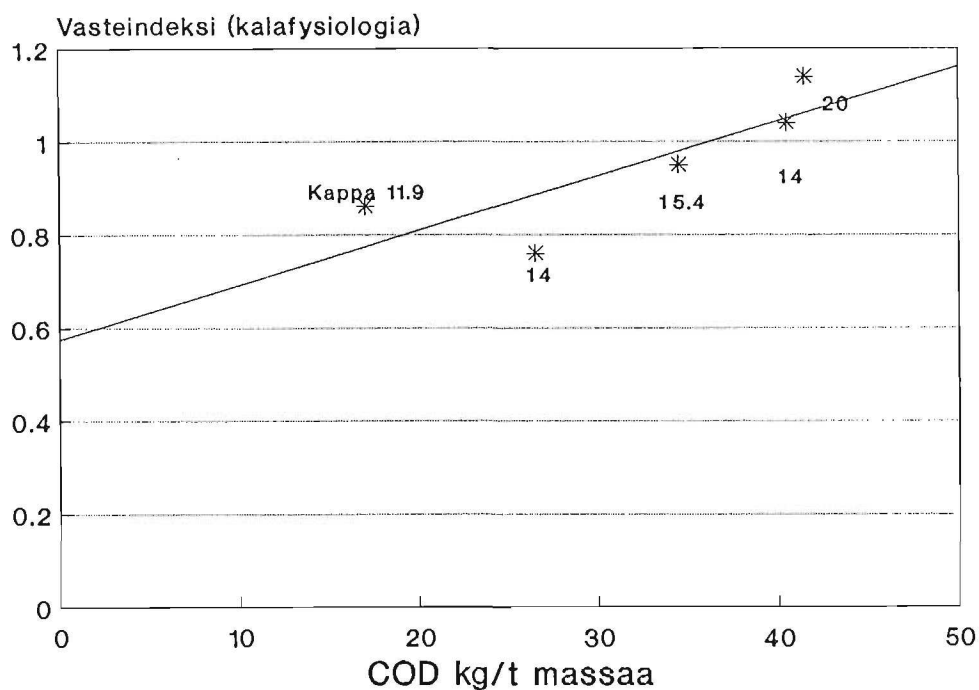
Malliekosysteemitutkimuksista tai eri osista malliekosysteemitutkimuksia (esim. kalafysiologia) saadun tietämyksen perusteella oli osoitettavissa, että 1980-luvun lopun AOX-tasojen 2,0-2,5 kg/tonni massaa ja todettujen vaikutusten välillä ei ollut riippuvuutta keskenään. Myöhemmät malliekosysteemitutkimukset ovat osoittaneet riippuvuutta jätevesien sisältämän COD:n ja todettujen vaikutusten välillä (Kuva 6). Tämän perusteella COD:n kuvaamalla orgaanisen aineen määrällä on merkitystä jätevesien vaikutus-potentiaaliin.



**Kuva 6.** Malliekosysteemikokeissa todettujen vaikutusten ja jätevesien sisältämän COD (kg/t massaa) välinen riippuvuus. Jätevesivaikutukset on kuvassailmaistu laskennallisena vaikutusindeksinä. (Lähde: Sangfors ym. 1994)

Kappaluvulla näyttää olevan merkitystä tarkasteltaessa valkaisu- ja edeltävien tehdasprosessien osuutta valkaisu- ja edeltävien jätevesien vaikutuksiin. Kappaluvun aletessa, s.o. valkaisuun ja vesistöön menevän orgaanisen aineen määrän pienentyessä, myös altistetuissa kaloissa todetut vasteet ovat yleensä vähentyneet vaikka tutkitut jätevedet ovat olleet peräisin eri tehtaasta, puuraaka-aine on ollut erilainen ja valkaisu- ja edeltävien prosessit eronneet toisistaan (Kuva 7).





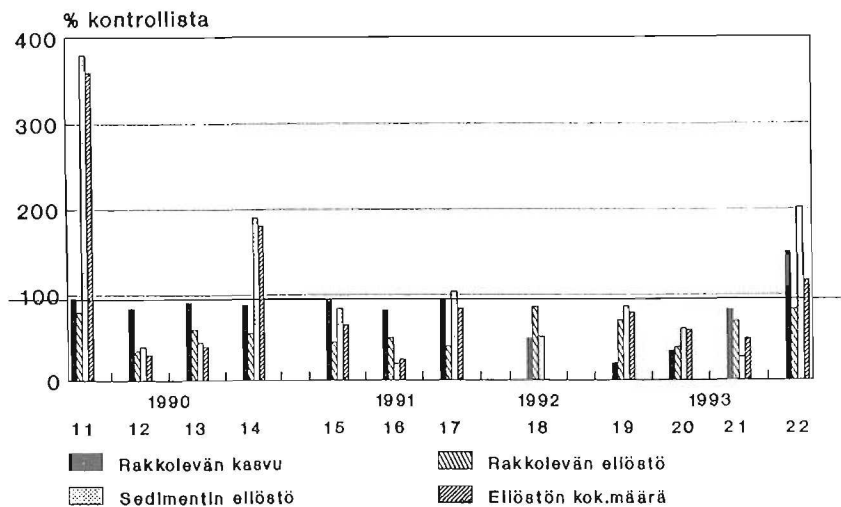
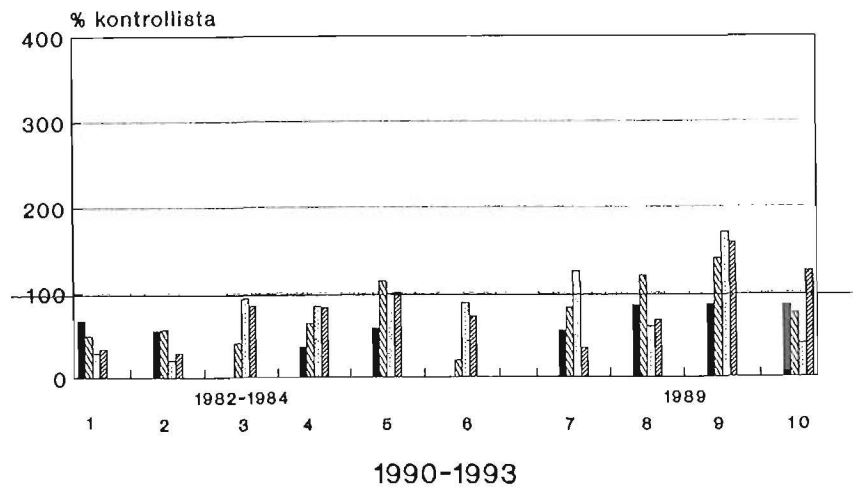
Kuva 7. Valkaisimojätevesille altistettujen kalojen vasteindeksin suhde liuenneen orgaanisen aineen määrää kuvaavaan COD:hen ja kappalukuun. Altistukset on tehty malliekosysteemitutkimusten yhteydessä.

Aineiston vertailussa on kuitenkin huomioitava tehdaskohtaiset erot tutkittujen jätevesien ollessa peräisin prosessiratkaisuiltaan erilaisista ja eri raaka-ainetta käyttävistä tehtaista. Tässä suhteessa jokainen tehdas on ainutlaatuinen.

Malliekosysteemeissä on vuodesta 1982 lähtien tutkittu erilaisia valkaisuprosesseja käyttävien tehtaiden jätevesien vaikutuksia. Kuvassa 8 on esitetty vertailu eri jätevesien vaikutuksista malliekosysteemeissä tutkittaviin rakenteellisiin muuttujiin. Rakenteellisina muuttujina on käytetty rakkolevän kasvua, rakkolevässä ja sedimentissä elävien selkärangattomien lukumäärää sekä selkärangattomien kokonaisu määrää. Vaikutukset on esitetty prosentuaalisen erona vastaavasta vertailualtaasta.



## RAKENTEELLISTEN MUUTTUJIEN VERTAILU 1982-1989



Rakkolevän kasvu
  Rakkolevän eliöstö
  Sedimentin eliöstö
  Ellöstön kok.määrä

1. (C95+D5)EHDED	käsittelemätön	2. (C87+D13)EDED	ilm.lammikko
3. O(C83+D17)EDED	käsittelemätön	4. O(C84+D16)EDED	osaksi ilmastettu
5. O(C84+D16)EDED	ilm.lammikko	6. O(C52+D48)EDED	käsittelemätön
7. O(C60+D40)(Eo)DED*	käsittelemätön	8. O(C60+D40)(Eo)DED	käsittelemätön
9. O(C85+D15)(Eo)DED*	käsittelemätön	10. OPD*	käsittelemätön
11. (D80+C20)(Eop)DED	käsittelemätön	12. (D80+C20)(Eop)DED	aktiiviliete
13. O(D27,C68+D5)EopEpD	käsittelemätön	14. O(D27,C68+D5)EopEpD	ilm.lammikko
15. (C84+D16)(Eo)DED	aktiiviliete	16. TMP+sanomalehti	ilm.lammikko+kem.saos
17. Kasvisterolit		18. O(D91+C9)(Eo)DED	aktiiviliete
19. DEoDED*	käsittelemätön	20. DEoDED	käsittelemätön
21. QeZEopAzEPA*	käsittelemätön	22. QeZEopAzEPA/DEoDED	aktiiviliete

\* valkaisuajätevesi

**Kuva 8. Rakenteellisten muuttujien vertailu malliekosysteemeissä, jotka on altistettu eri metsäteollisuuden jätevesille 400 kertaisena laimennuksena. Eläinten lukumäärä on pidetty biomassaa tärkeämpänä, koska sen katsotaan paremmin heijastavan yhteisön käytettävissä olevaa perimää. Rakkolevään kohdistuneet kasvua hidastaneet vaikutukset ovat pääosin olleet klo- raatista johtuvia.**

Kuvassa 8 esitety jätevedet 1 ja 2 vaikuttivat negatiivisesti kaikkiin tutkittuihin muuttujiin ja vaikutukset olivat samanlaisia huolimatta jätevesien erilaisesta TOCl määrästä. Jäteveden 1 TOCl oli 6,5 kg/t massaa ja jäteveden 2 vastaavasti 2.4 kg/t massaa. Kasvisteroleilla (No. 17 kuvassa 8) oli myös selvä vaikutus rakkolevässä elävien selkä-rangattomien määrään. Ilmastetun lammikon jälkeen kemiallisella saostuksella käsitelty TMP-sanomalehtipaperitehtaasta peräisin oleva jätevesi (No.16) aiheutti samanlaisia muutoksia malliekosysteemin rakenteellisiin muuttujiin kuin kuvassa 8 esitetyt jätevedet 1 ja 2. ECF- ja TCF valkaisuista peräisin olevat jätevedet 19-21 (käsittelemättömät valkaisu-jätevedet tai käsittelemätön tehtaan kokonaisjätevesi) aiheuttivat myös selkärangattomien määrän vähentymistä.

Aktiivilietelaitoksessa käsitelty sekä ECF- että TCF-valkaisuista peräisin olevia jakeita sisältänyt jätevesi (No. 22) puolestaan lisäsi selkärangattomien määrää altistetussa malliekosysteemissä. Selkärangattomien määrän lisääntymistä kontrolliin verrattuna todettiin samoin altistettaessa käsittelemättömälle valkaisimojätevedelle (No.9, Kuva 8) ja käsittelemättömälle kokonaisjätevedelle (No.11, Kuva 8), joka aiheutti merkittävimmän yksilömäärän lisääntymisen. Käsitelty jätevesi (No.14), joka oli peräisin alhaista kloorimultippelia valkaisuissa käytävästä tehtaasta sai myös aikaan selkärangattomien määrän lisääntymistä altistuksen aikana.

Rakenteellisten muuttujien tarkastelu ei osoittanut selvää riippuvuutta valkaisu prosessien ja selkärangattomien yhteisössä todettujen vaikutusten välillä.

Tämän hetken tietämys tukee sitä johtopäätöstä, että orgaanisten klooriyhdisteiden ja haitallisten vaikutusten välistä riippuvuutta ei ole osoitettavissa käytettäessä nykyaikaisia valkaisu tekniikoita yhdistettynä alhaiseen kappaluukuun (Folke ym. 1993) Jätevesien aiheuttamia vaikutuksia ei voida pelkästään arvioida tarkastelemalla tehtaan valkaisu sekvenssejä. Vaikutuksia arvioitaessa muutkin tehtaan toiminnot kuten mm. massan keitto, satunnaispäästöt ja pesuhäviöt on otettava huomioon. Eri tehtaiden vertailussa on tarkasteltava tehtaan kokonaisjätevesiä ja niissä esiintyviä yhdisteitä sen sijaan, että tarkastelu rajoitetaan koskemaan vain valkaisimoja. Erityisesti, kun nykyisistä valkaisu prosesseista muodostuvat AOX päästöt ovat alhaisia, eri valkaisu tekniikoiden vertailu ei ympäristön kannalta ole tarkoituksenmukaista. Viimeaikaiset tulokset, joskin toksisuuden kannalta vielä kaukana lopullisista, antavat aiheen olettaa, että kyse ei ole niinkään ECF:n tai TCF:n käyttämisestä valkaisuissa vaan pikemminkin itse keiton ja jäteliemen talteenoton parantamisesta.

# 6

## JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Viimeaikaisiin laboratorio- ja malliekosysteemitutkimuksiin sekä kenttä-tutkimuksiin perustuva kirjallisuuskatsaus valkaistun sellun tuotannosta aiheutu-  
vien jätevesien vaikutuksista antaa aihetta seuraaviin johtopäätöksiin:

### Tekninen kehitys

- \* Liuenneen puuraaka-aineen lisääntynyt talteenotto
- \* Kloorikaasun käytön vähentyminen valkaisussa muiden valkaisukemikaalien avulla (otsoni, peroksidi)
- \* Tehokkaat ulkoiset biologiset puhdistusmenetelmät
- \* Tehostunut pesu, satunnaispäästöjen talteenotto ja prosessien hallinta

### Altistuminen

- \* Jätevesikuormitus pienentynyt
- \* Polykloorattujen orgaanisten yhdisteiden päästöt vähentyneet
- \* ECF-prosesseissa muodostuva AOX luonnon AOX:n kaltaista
- \* Uudenaikaisten tehtaiden dioksiinipäästöt eivät ole ajankohtaisia

### Menetelmät

- \* Lyhytaikaisilla testeillä huono ennustettavuus populaatio- ja yhteisötason vaikutuksiin
- \* Biomarkkerivasteiden tulkinta epäselvää. Biomarkkerivasteiden suhde populaatio- ja yhteisötason vaikutuksiin yhä tuntematon
- \* Biomarkkereiden suhde lisääntymiseen ja energia-aineenvaihduntaan tulevien tutkimusten tehtävä
- \* Monilajiset malliekosysteemitestit ovat suhteellisen pitkäaikaisia ja muodostavat linkin lyhytaikaisten laboratoriokokeiden ja kenttä-tutkimusten välillä. Todenmukaiset altistuslaimennokset, muuntumis- ja hajoamisprosessit voidaan ylläpitää.

### Vaikutukset

- \* 1980-luvun lopun ja 1990-luvun tekniikoiden aiheuttamat ympäristövaikutukset vesistöissä vähäisiä

- \* Viimeaikaisista kenttätutkimuksista ei voida päätellä mitään yleistä vaikutusmallia
- \* Jokainen tehdas ja vastaanottava vesistö on ainutlaatuinen
- \* Laajamittaisista vaikutuksista yksilötasolla ei todisteita
- \* Klooratun orgaanisen aineksen (AOX) ja todettujen vaikutusten välillä ei riippuvuutta
- \* Viitteitä COD:n ja vaikutusten välisestä riippuvuudesta

## Muita

- \* Puuraaka-aines ja sellun keitto todennäköisimmät vaikutusten aiheuttajat
- \* Vaikutuksia ei voida ennustaa valkaisu-tekniikan perusteella
- \* Ympäristövaikutusten arviointi jatkossa koskemaan myös muita kuin valkaisuprosesseja
- \* ECF:n ja TCF:n suhteellisissa eduissa ei osoitettu johdonmukaisuutta
  - erilaisia koejärjestelyjä
  - valkaisun ulkopuoliset tekijät
- \* TCF-jätevesien kenttätutkimuksista ei ole julkaistuja tietoja
- \* Ympäristövaikutusten tutkimuksessa oleellista tuntea tehtaan prosessit ja kuormitus oikeiden johtopäätösten tekemiseksi

- Annergren, G., 1993. Trends in the development of future bleaching processes.  
- In: Södergren, A. (ed.) Bleached Pulp Mill Effluents. Swedish Environmental Protection Agency, Report No. 4047. Solna, Sweden, 1993.
- Clark, D., 1994. "A European Perspective". - International NonBleaching Conference Proceedings, 6-10 March, Amelia Island, FL USA. Miller Freeman Inc. Distribution Center, 6600 Silacci way, Gilroy, CA, USA.
- Drysdale, D.T. & Bortone, S.A., 1989. Laboratory induction of intersexuality in the mosquitofish, *Gambusia affinis*, using paper mill effluent. - Bull. Environ. Contam. Toxicol. 43: 611-617.
- FAO, 1992. "Statistics", Rome
- Folke, J., 1991. Regulatory requirements for pulp and paper mill effluent control: Scientific basis and consequences. - Wat. Sci. Technol. 24(3/4): 19-32.
- Folke, J., Landner, L., Lehtinen, K-J., Männistö, E., Männistö, H. & McCubbin, N., 1993. Chlorine dioxide in pulp bleaching - technical aspects and environmental effects. - CEFIC, Chlorine Group, Brussels, Belgium.
- Grimvall, A., Boren, H., Jonsson, S., Karlsson, S., & Sävenhed, R., 1991. Organohalogenes of natural and industrial origin in large recipients of bleach plant effluents. - Wat. Sci. Technol. 24: 373-383.
- Gribble, G.W., 1992. Naturally occurring organohalogen compounds - a survey. - J. Nat. Products 55(10): 1353-1395.
- Kramer, J.D., 1992. Strategies to bleached market pulp producers. - TAPPI Annual Meeting Proceedings, Tappi Press, Atlanta, GA, USA, p. 161.
- Kymmene, 1995. Modern Pulp Bleaching and the Aqueous Environment. - Third Global Conference on Paper & the Environment, 26-28 March, 1995, London, England, pp. 5.
- Lehtinen, K-J., Tana, J., Mattsson, K., Härdig, J., Karlsson, P., Grotell, C., Hemming, S., Engström, C., & Hemming, J., 1993. Ecological impact of pulp mill effluents. - Publications of the Water and Environment Administration series A 133. ISBN 951-47-7137-0.
- Lindström-Seppä, P., Huuskonen, S., Pesonen, M., Muona, P., & Hänninen, O., 1992. Unbleached pulp mill effluents affect cytochrome P450 mono-oxygenase enzyme activities. - Marine Environm. Res. 34: 157-161.
- MacClatchy, D.L., & Van Der Kraak, G., 1994. The plant sterol  $\beta$ -sitosterol decrease reproductive fitness in goldfish. - 2nd Conference on Environmental Fate and Effects of Bleached Pulp Mill Effluents. Nov 6-9, 1994, Vancouver, B.C., Canada, Proceedings.

- McLeay, D.J., 1987. Aquatic toxicity of pulp and paper mill effluents: A review. -Report EPS 4/pf/1, April 1987. Environment Canada, Canada.
- Metsäteollisuus ry., 1995. "Tilasto", Helsinki.
- Munkittrick, K.R., Van Der Kraak, G.J., McMaster, M.E., & Portt, C.B., 1992. Response of hepatic MFO activity and plasma sex steroids to secondary treatment of bleached kraft pulp mill effluent and mill shutdown. - Environm. Toxicol. Chem. 11: 1427-1439.
- O'Connor, B.I., Kovacs, T.G., Voss, R.H., Martel, P.H., & Van Lierop, B., 1993. A laboratory assessment of the environmental quality of alternative pulp bleaching effluents. - Pulp Paper can. 95(3): 47-56.
- Sangfors, O., Tana, J., Härdig, J., & Grotell, C., 1994. Environmental effects of ECF- and TCF-bleached pulp mill effluents. Part III Model ecosystem studies with pilot-treated bleachery effluents from production of ECF and TCF pulp. In: Verta, M. (ed). Happikemikaalien käyttöön perustuvan massanvalkaisun ympäristövaikutuksista. Publications of the Water and Environment Administration - series A 1989.
- Södergren, A., (ed), 1988. Biologiska effekter av blekeriavlopp. Slutrapport från projektområdet MILJÖ/CELLULOSA I. Naturvårdsverket, Rapport 3498, Solna, Sweden.

# Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika 1996
Tekijä(t)	Jukka Tana ja Karl-Johan Lehtinen, Suomen Ympäristötutkijaryhmä Oy	
Julkaisun nimi	Valkaistun massan tuotannosta aiheutuvien jätevesien ympäristövaikutusten arviointi - yleiskatsaus	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Projektista ilmestynyt 5 julkaisua aikaisemmin.	
Tiivistelmä	<p>Tämän kirjallisuusselvityksen tavoitteena on ollut laatia viimeisimpään tutkimustietoon perustuva katsaus massatehtaiden jätevesien ympäristövaikutuksista ja niiden suhteesta valkaisu-tekniikan kehitykseen. Lisäksi katsaukseen on sisällytetty tutkimusmenetelmien käyttökelpoisuuden ja uusien tutkimusalueiden tarkastelua.</p> <p>Orgaanisten klooriyhdisteiden päästöjen pienentäminen on 1980-luvun puolivälistä lähtien ollut tärkein sellutuotannon teknistä kehitystä määräävä yksittäinen tekijä. Tämä suuntaus on johtanut merkittäviin prosessitekniikan ja erityisesti valkaisu-tekniikan muutoksiin. Kehityksen seurauksena kaasumaisen kloorin käyttö valkaisu-kemikaalina on lähes kokonaan loppunut. Kloorikaasun käyttö on korvattu klooridioksidilla (EFC-valkaisu) yhdistettynä happidelignifointiin, jatkettuun keittoon sekä tehokkaaseen ulkoiseen puhdistukseen. Nykyisin useat tehtaat Skandinaviassa ovat korvanneet klooridioksidin käytön muilla happea sisältävillä kemikaaleilla kuten peroksidilla tai otsonilla (TCF-valkaisu). Viimeaikaiset tieteelliset selvitykset antavat aiheen olettaa, että AOX-kuormituksen pienentyminen on ollut jätevesien vähentyneen toksisuuden ja ympäristövaikutusten todellinen syy.</p> <p>Viime vuosikymmenen aikana tehdyn jätevesien ympäristövaikutuksia selvittäneen tieteellisen työn tuloksena voidaan esittää mm. seuraavia johtopäätöksiä:</p>	
Asiasanat	massateollisuus, valkaisu, ECF, TCF, jätevesi, ympäristövaikutukset	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen Ympäristökeskuksen moniste 20	
Julkaisun teema		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Happikemikaalien käyttöön perustuvan massan valkaisu-ympäristövaikutuksia, nro XC 101	
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Enso-Gutzeit Oy, Oy Finnish Peroxides Ab, Kemira Chemicals Oy, Kymmene Oy, Oy Metsä-Botnia Ab, Veitsiluoto Oy, Suomen ympäristökeskus	
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Enso-Gutzeit Oy, Oy Finnish Peroxides Ab, Kemira Chemicals Oy, Kymmene Oy, Oy Metsä-Botnia Ab, Veitsiluoto Oy, Suomen ympäristökeskus, Suomen Ympäristötutkijaryhmä Oy, Jyväskylän yliopisto kcl	
	ISSN	ISBN
	Sivuja 26	Kieli suomi
	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta
Julkaisun myynti/ jakaja	Suomen ympäristökeskus Asiakaspalvelu puh. (90) 4030 0100 telefax (90) 4030 0190	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus PL 140 00251 Helsinki	
Painopaikka ja -aika	Suomen ympäristökeskuksen monistamo, Helsinki 1996	
Muut tiedot	Raportti on toimitettu Suomen ympäristökeskukseen 30.8.1995	







