



YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU

Jyrki Tenhunen, Jaana Oinonen ja Jyri Seppälä

# Vesihuollon elinkaaritutkimus

Tampereen vesilaitoksen vaikutukset  
ympäristöön





Jyrki Tenhunen, Jaana Oinonen ja Jyri Seppälä

# Vesihuollon elinkaaritutkimus

Tampereen vesilaitoksen vaikutukset  
ympäristöön

HELSINKI 2000



Painotuote

ISBN 952-11-0784-7  
ISSN 1238-7312

Kannen kuva  
Viinikanlahden jätevedenpuhdistamo  
©Tampereen vesilaitos

Paino  
Oy Edita Ab, Helsinki 2000

# Esipuhe

Tämä raportti on kuvaus Tampereen vesilaitoksen vaikutuksista ympäristöön. Se on ensimmäinen vaihe tutkimushankkeesta "Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus". Tutkimus kuuluu TEKESin tutkimusohjelmaan "Vesihuolto 2001" sekä ympäristöministeriön koordinoimaan ympäristöklusterin tutkimusohjelmaan.

Tutkimusta valvomaan perustettiin johtoryhmä, johon ovat kuluneet Esko Haume Tampereen vesilaitoksesta, Aija Jantunen Kemira Chemicalsista, Jorma Kaloinen ympäristöministeriöstä, Risto Laukkanen (puheenjohtaja) Teknillisestä korkeakoulusta, Markku Maunula maa- ja metsätalousministeriöstä, Alec Estlander ja Jyri Seppälä Suomen ympäristökeskuksesta, Jukka Meriluoto Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksestä, Risto Saarinen Turun kaupungin vesilaitoksesta ja Heikki Uusi-Honko ja Robin Gustafsson TEKESistä. Tutkimuksen ovat rahoittaneet TEKES, Suomen ympäristökeskus, ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö. Tutkimushankkeen "Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus" vastuullisina johtajina ovat toimineet Veli-Matti Tiainen (25.9.1998 saakka) ja Jyrki Tenhunen Suomen ympäristökeskuksesta. Tampereen vesilaitoksen inventaarion ovat tehneet Jaana Oinonen Tampereen teknillisestä korkeakoulusta ja Jyrki Tenhunen. Vaikutusarvioinnin ovat tehneet Jyrki Tenhunen ja Jyri Seppälä. Lisäksi lukuisat asiantuntijat Tampereen vesilaitoksesta, Suomen ympäristökeskuksesta, Tampereen teknillisestä korkeakoulusta ja Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistyksestä ovat edesauttaneet työpanoksellaan ja asiantuntemuksellaan tutkimuksen valmistumista.

.....

# Sisällys

<b>Esipuhe</b> .....	<b>3</b>
<b>I Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Inventaari selvitys</b> .....	<b>9</b>
2.1 Soveltamisala .....	9
2.1.1 Toiminnallinen yksikkö .....	9
2.1.2 Järjestelmän rajat .....	10
2.1.3 Allokoinnissa käytetyt periaatteet ja menettelyt .....	10
2.1.4 Kriteerit syötteiden ja tuotosten mukaan ottamiseksi .....	11
2.1.5 Lähtötietojen keruuseen käytetyt menettelytavat ja tietolähteet .....	12
2.1.6 Lähtötietojen laadun arviointi ja puuttuvan tiedon käsittely .....	12
<b>2.2 Vesi- ja viemärlaitoksen toiminnot ja inventaarioanalyysin toteutus</b> .....	<b>13</b>
2.2.1 Vedenotto .....	13
2.2.2 Veden puhdistus .....	14
2.2.3 Vesijohtoverkosto .....	16
2.2.4 Viemäriverkosto .....	17
2.2.5 Jäteveden käsittely .....	18
2.2.6 Lietteiden loppusijoitus .....	21
2.2.7 Ostosähkön ja -lämmöntuotanto .....	22
2.2.8 Kemikaalien valmistus .....	24
2.2.9 Rakennusten ja putkien valmistus .....	26
2.2.10 Kuljetukset .....	27
<b>2.3 Tulokset</b> .....	<b>28</b>
2.3.1 Vesi- ja viemärlaitoksen syötteet .....	28
2.3.2 Vesi- ja viemärlaitoksen tuotokset .....	29
2.3.3 Jäteveden käsittelyn tehostaminen .....	33
2.3.4 Inventaarion luotettavuuden arviointi .....	34
<b>3. Vaikutusarviointi</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1 Vaikutusarvioinnin toteutus</b> .....	<b>35</b>
3.1.1 Luokittelu .....	36
3.1.2 Karakterisointi .....	41
3.1.3 Normalisointi .....	45
3.1.4 Painotus .....	46
<b>3.2 Ympäristövaikutusten kokonaisarvioinnin tulokset</b> .....	<b>47</b>
3.2.1 Vesi- ja viemärlaitoksen ympäristövaikutukset .....	47
3.2.2 Jätevesien käsittelyn ympäristöhyöty .....	55
3.2.3 Lietteestä tuotettu energia ja lietteen lannoitekäyttö .....	56
3.2.4 Käsiteltyjen jätevesien suhteellinen merkitys Tampereella .....	57
3.2.5 Jäteveden käsittelyn tehostamisen ympäristövaikutukset .....	60
<b>3.3 Kokonaisarvioinnin herkkyyks</b> .....	<b>61</b>
3.3.1 Lähtöoletukset .....	61
3.3.2 Vaikutusluokkien painotus .....	62
<b>3.4 Menetelmän soveltuvuus ja luotettavuus</b> .....	<b>65</b>

<b>4 Yhteenveto ja tulosten arviointi .....</b>	<b>66</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>68</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>72</b>
Liite 1. Ominaispäästökertoimia .....	72
Liite 2. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen inventaario .....	79
Liite 3. Inventaarion tulokset yhteenvetotaulukoina .....	89
Liite 4. Jäteveden käsittelyn tehostamissuunnitelman lähtötiedot .....	103
Liite 5. Tampereen sähkön- ja lämmöntuotannon päästölaskelma .....	104
<b>Kuvailulehdet .....</b>	<b>105</b>



# Johdanto

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut käsitellä yhdyskuntien vesihuollon ympäristövaikutuksia kokonaisuutena. Miten paljon jätevesien käsittely kuormittaa ympäristöä? Kannattaako jätevesien käsittelyä edelleen tehostaa ympäristönsuojelun nimissä? Esimerkiksi nämä ovat kysymyksiä, jotka vaikuttavat vesihuoltopäätöksiä tehtäessä ja ovat olleet myös tämän tutkimushankkeen käynnistämisen taustalla. Tutkimusmenetelmäksi on valittu elinkaariarviointi, jonka avulla erilaisia ympäristövaikutuksia on suhteutettu toisiinsa. Tutkimuskohteena on Tampereen vesilaitos, joka vedenhankintaan ja -jakeluun sekä jätevesihuoltoon liittyvien toimintojen suhteen edustaa varsin hyvin Suomessa toteutettuja vesihuoltoratkaisuja. Ympäristöltään Tampere on tyypillinen sisämaan kaupunki, jonka jätevedet johdetaan rehevöitymisherkkään vesistöön.

Tutkimushankkeelle ”Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus” on tutkimussuunnitelmassa asetettu muun muassa seuraavia tavoitteita:

1 Arvioida ja keskenään verrata vesi- ja viemärilaitostoiminnan eri vaiheissa syntyviä ympäristöä rasittavia tekijöitä. Niitä ovat ilma-, vesi-, ja jätepestöt, energian ja raaka-aineiden käyttö sekä maankäyttö.

2 Tuottaa vesihuoltojärjestelmien ja niiden perusrparannus- ja kehittämishankkeiden ympäristövaikutusten arviointimenetelmä. Kehitettävällä tietokantaan perustuvalla menetelmällä voidaan selvittää vesihuollon rakentamisesta, käytöstä ja ylläpidosta aiheutuvia ympäristövaikutuksia sekä vertailla vesi- ja viemärilaitosten kehittämismuutosten ympäristö- ja kustannusvaikutuksia. Laskentamallia ja arviointimenetelmää voidaan käyttää vesihuoltoratkaisujen suunnittelun ja vertailun työkaluna kehitettäessä ja rakennettaessa vesihuoltojärjestelmiä niin Suomessa kuin vientikohteissakin. Menetelmällä voidaan arvioida ja priorisoida esimerkiksi Suomen lähialueiden vesihuoltokohteita. Menetelmää voidaan hyödyntää myös hankkeiden esisuunnitteluvaiheessa tehtävien ratkaisujen tukena.

3 Luoda edellytyksiä vesihuollon päästöjen yhdennettyyn hallintaan ja BAT:n mukaisen toiminnan soveltamiseen vesihuollossa. Kehitettävän menetelmän mukaisesti voidaan vastaavia tarkasteluja kehittää myös muille kunnallisteknisien huollon sektoreille. Tutkimus avaa mahdollisuuksia kaupunkiyhdyskuntien ekologiselle kehittämiselle.

Tämä tutkimusraportti keskittyy Tampereen vesilaitoksen suorien ja välillisten päästöjen inventointiin ja niiden ympäristövaikutusten arviointiin sekä tulosten analysointiin. Tutkimushankkeelle ”Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus” asetetuista tavoitteista tässä raportissa yritetään antaa vastauksia lähinnä kohtiin yksi ja kolme. Tutkimuksen myöhemmissä vaiheissa keskitytään arvioimaan samanaikaisesti vesi- ja viemärilaitosten toiminnan ekologisuutta, taloudellisuutta ja palvelutasoa päätösanalyttistä lähestymistapaa hyödyntäen.

Tämän raportin inventaario-osassa esitetään suorat ja välilliset ilma-, vesi-, ja jätepestöt sekä energian ja raaka-aineiden käyttö. Inventaarioselvitys käsittää myös elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti tutkittavan järjestelmän rajaukset, lähtötietojen allokoinnin periaatteet, yksikköprosessien kuvaukset, päästöjen laskentasäännöt ja aineiston kokoamisessa käytetyt menettelytavat ja tieto-

lähteet. Inventaariossa tehtävät ratkaisut ja valinnat vaikuttavat keskeisesti kerätyn aineiston laatuun ja ympäristövaikutusten arvioinnin lopputulokseen. Tampereen vesilaitoksen ympäristövaikutusten arviointi toteutetaan käyttäen päätösanalyysiin perustuvaa vaikutusarviointimenetelmää (Seppälä 1997 ja 1999a, Seppälä & Jouttijärvi 1997). Menetelmä on kehitetty Suomen olosuhteisiin. Vaikutusarviointi tehdään myös Ekoindikaattori 95 -mallilla, jota käytetään yleisesti kaupallisissa elinkaariohjelmassa. Ympäristövaikutusten arviointimallit antavat karkean suuruusluokan eri päästöjen aiheuttamien ympäristövaikutusten keskinäisestä merkityksestä. Tällaista tietoa tarvitaan vesihuollon kehittämisen arviointiin. Saatu tieto on myös hyödyllinen tarkasteltaessa perusparannus- sekä uusinvestointien kokonaisvaikutuksia ympäristöön. Myös parhaan käyttökelpoisen teknologian (BAT) soveltamisen kannalta on oleellista tietää, miten vesihuollon eri prosessit aiheuttavat ympäristövaikutuksia.

Tampereen vesilaitos hoitaa Tampereen kaupungin talousveden valmistukseen ja jätevesien käsittelyyn liittyvät tehtävät. Tässä tutkimuksessa Tampereen vesilaitoksesta käytetään nimitystä Tampereen vesi- ja viemärlaitos. Puhuttaessa vesilaitoksesta tarkoitetaan talousveden valmistukseen liittyvää toimintaa ja puhuttaessa viemärlaitoksesta tarkoitetaan jäteveden käsittelyyn liittyvää toimintaa.

Inventaarioselvityksessä on arvioitu Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen syötteet (materiaalit, energia) ja tuotokset (tuotteet, päästöt ilmaan ja veteen sekä kiinteät jätteet) yhden vuoden ajalta. Inventaarioselvitys muodostuu tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelystä, inventaarioanalyysistä sekä tulosten tulkinnasta. Inventaarioanalyysin tuloksena saadaan inventaariotaulukko, jossa on esitetty vesi- ja viemärlaitoksen suorat välilliset päästöt. Vesi- ja viemärlaitoksen ostaman energiantuotannon päästöt ovat mukana. Vesi- ja viemärlaitoksen toiminnot on jaettu osakokonaisuuksiin, joille inventaariotiedot on kohdennettu. Osakokonaisuudet ovat vedenotto, veden puhdistus, vesijohtoverkosto, viemäriverkosto, jäteveden käsittely ja lietteiden loppusijoitus.

## 2.1 Soveltamisala

### 2.1.1 Toiminnallinen yksikkö

Toiminnallinen yksikkö on tutkittavan järjestelmän määrällinen suorituskyvyn mittaussyksikkö. Sen ensisijaisena tarkoituksena on antaa vertailuyksikkö, johon syötteitä ja tuotoksia suhteutetaan. Toiminnallisen yksikön avulla elinkaariarvioinnin tuloksista saadaan vertailukelpoisia, jos vertailtavien järjestelmien rajaukset ja laskentaperusteet ovat samanlaiset. (SFS 1997)

Talousveden valmistuksessa toiminnallinen yksikkö on prosessin lopputuote eli yksi kuutiometri verkostoon pumpattua talousvettä. Tämä tarkoittaa sitä, että inventaariossa kerätyt luvut suhteutettiin Tampereella vuonna 1996 toimitettuun vesimäärään (18 251 000 m<sup>3</sup>). Puhdistetun veden määrä on suurempi kuin verkostoon pumpatun veden määrä, koska osa puhdistetusta vedestä kuluu laitoksen sisäisessä käytössä.

Viemärlaitoksen lopputuotteita ovat käsitellyn jäteveden lisäksi muodostunut liete sekä lietteen mädätyksessä syntynyt kaasu. Tutkimuksen toiminnalliseksi yksiköksi valittiin näistä määrällisesti merkittävin eli yksi kuutiometri käsiteltyä jätevettä. Inventaariossa kerätyt luvut siis suhteutettiin Tampereella vuonna 1996 käsiteltyyn jätevesimäärään (26 467 000 m<sup>3</sup>). Jäteveden suurempi määrä talousveden määrään verrattuna johtuu muun muassa ympäristökunnista tulevista jätevesistä, vuotovesistä, viemäriin johdettavista sadevesistä ja teollisuusjätevesistä.

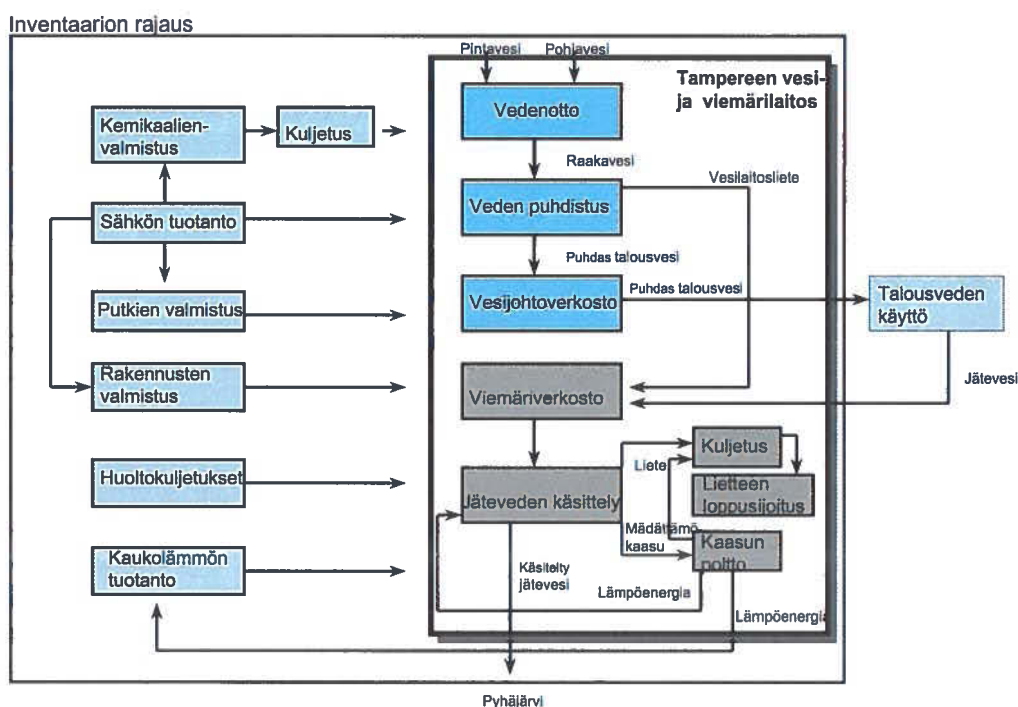
Inventaariossa syötteet ja tuotokset esitetään yhtä vuotta (1996) kohti laskettuina lukuina. Syötteet ja tuotokset esitetään myös toiminnallista yksikköä kohden laskettuna, jotta tulosten vertailu muihin vastaavanlaisiin tutkimuksiin olisi mahdollista.

## 2.1.2 Järjestelmän rajat

Järjestelmän rajat määrittelevät, mitkä yksikköprosessit otetaan mukaan elinkaariarviointiin. Yksikköprosessi on elinkaariarvioinnissa pienin yksikkö, josta tiedot kerätään. Ideaalitalanteessa järjestelmä pystytään mallintamaan siten, että syötteet ja tuotokset sen rajoilla ovat perusvirtoja. Perusvirroilla tarkoitetaan (SFS 1997):

1. tarkasteltavaan järjestelmään ympäristöstä tulevaa materiaalia tai energiaa, jota ihminen ei vielä ole jalostanut,
2. tarkasteltavasta järjestelmästä ympäristöön lähtevää materiaalia tai energiaa, jota ihminen ei enää käsittele.

Inventaarion yksityiskohtaisuutta täytyy tarkastella tutkimuksen tavoitteen kannalta. Tässä tutkimuksessa pyrittiin ennen kaikkea saamaan luotettava yleiskuva vesi- ja viemärlaitoksen ympäristörasittavuudesta. Kuvassa 1 on Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen virtauskaavio kokonaisuudessaan. Eri vaiheiden tarkemmat kaaviot esitetään kappaleessa 2.2.



Kuva 1. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen osakokonaisuudet sekä niihin liittyvät tärkeimmät materiaali- ja energiavirrat.

## 2.1.3 Allokoinnissa käytetyt periaatteet ja menettelyt

Vesilaitoksen (vedenotto, veden puhdistus, vesijohtoverkosto) inventaariossa kaikki syötteet ja tuotokset kohdistettiin valmistetulle talousvedelle. Viemärlaitoksen (viemäriverkosto, jätevedenkäsittely, lietteiden loppusijoitus) lopputuotteita ovat käsitellyn jäteveden lisäksi liete ja mädätyskaasu. Viemärlaitoksen inventaariossa syötteet ja tuotokset kohdistettiin pääsääntöisesti käsitellylle jätevedelle. Ainoastaan mädättäjäkaasusta tuotetulle lämmölle, joka myydään ulkopuolelle, allokoidaan sille kuuluva osa mädättäjäkaasun poltossa syntyviä päästöjä myydyin energiamäärän mukainen osuus. Tuloksissa (kappale 3.2.3) esitetään myös vaihtoehtoinen allokointitapa. Siinä mädättäjäkaasusta tuotetulla lämpöenergialla, jota ei voida hyödyntää jäteveden käsittelyssä ja joka johdetaan kau-

taan kaukolämmöksi, korvaa Tampereen kaukolämmöntuotantoa. Jäteveden käsittelyä siis hyvitetään niillä päästöillä, jotka syntyisivät, jos sama lämpöenergia tuotettaisiin Tampereen kaukolämpölaitoksilla.

Samalla vaihtoehtoisella allokontiperiaatteella voitaisiin käsitellä myös lietteitä. Tällöin lietteiden hyötykäytöllä maanviljelyksessä voidaan ajatella korvattavan teollisesti tuotettuja lannoitteita. Systeemiä voitaisiin silloin hyvittää niillä päästöillä, jotka syntyisivät vastaavan lannoitemäärän teollisessa valmistusprosessissa. Mädättämökaasun ja lannoitteiden valmistusta korvaavaan lietteiden käytön ympäristöhyötyjä on tarkasteltu vaikutusarvioinnin tulosten yhteydessä.

## **2.1.4 Kriteerit syötteiden ja tuotosten mukaan ottamiseksi**

Tässä tutkimuksessa tärkein mukaan otettavien syötteiden ja tuotoksien valintaan vaikuttava tekijä oli inventaariolle asetettu tavoite saada luotettava yleiskuva vesihuollon ympäristörasittavuudesta. Valinnan perusteena oli syötteiden ja tuotoksen oletettu merkittävyys ympäristön kannalta. Mikäli merkityksen katsottiin jäävän vähäiseksi (esim. painoprosenttiosuus kokonaiskuormituksesta vähäinen) syöte tai tuotos rajattiin ulos inventaariosta.

Toinen rajaukseen vaikuttava lähtökohta oli, että tämän tutkimuksen puitteissa ei lähdetty tekemään mittavia taustaselvityksiä syötteiden ja tuotosten tarkemmaksi selvittämiseksi. Inventaariossa käytettiin saatavilla olevia, käyttökelpoisia ja luotettavaksi katsottuja tietoja.

Inventaarion maantieteellinen rajausta perustuu Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen toiminta-alueeseen. Tarkasteltava järjestelmä käsittää Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen Tampereella käsitellyn veden. Tampere osti 3 prosenttia talousvedestään Ylöjärveltä vuonna 1996. Tämä vesimäärä ei ole mukana inventaariossa eikä myöskään Ylöjärvellä sijaitseva puhdistamo, josta ostettu vesi toimitaan.

Veden käyttö kiinteistöissä lisää veteen jätteitä ja epäpuhtauksia (ruuantähteet, pesuaineet, virtsa, ulosteet jne.) sekä lämpöenergiaa. Veden käyttövaihe ei ole mukana inventaariossa.

Kemikaalien valmistuksen välillinen luonnonvarojen kulutus (valmistuksen raaka-aineet) jouduttiin jättämään pois luotettavien tietojen puutteen vuoksi. Käytettyjen kemikaalien määrät ovat kuitenkin tiedossa.

Hajupäästöt ovat ongelma varsinkin kaupunkialueella sijaitsevalla jätevedenpuhdistamolla. Rikkivety ( $H_2S$ ) on usein tärkein hajunaiheuttaja. Hajupäästöjen vaikutukset ovat hyvin paikallisia ja niiden mittaaminen on hankalaa, joten haisevien yhdisteiden päästöjä ei sisällytetty inventaarioon.

Puhdistamoilla syntyvät pienet määrät talous- ja toimistojätettä sekä verkostotoiminnassa syntyvät rakennus- ja kaivuujätteet eivät ole mukana inventaariossa. Jäteveden käsittelyssä syntyvä välppä- ja hiekkajäte laskettiin inventaariossa lietteeksi.

Verkoston rakennus- ja huoltotoissa kuluva energia (esim. kaivaminen, talvisin maan sulattamiseen tarvittava nestekaasu) ei ole mukana tarkastelussa.

Lietteen loppusijoituksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia ovat muun muassa kaatopaikalle sijoitetun lietteen aiheuttamat päästöt maaperään, pohjavesiin ja vesistöihin sekä lannoitteena käytetyn lietteen raskasmetallien kertyminen viljelykasveihin. Lietteen raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä maanviljelyshyötykäytön raja-arvoja. Koska myös väkilannoitteista aiheutuu raskasmetallikuormitusta maaperään, ei lietteistä oletettu aiheutuvan merkittävää ympäristökuormitusta maanviljelyskäytössä. Kompostoinnin oletettiin toimivan hyvin, joten kompostoitu liete ei hajoa anaerobisesti eikä metaanipäästöjä synny. Lietteen hajoamisesta kaatopaikalla aiheutuvat metaanipäästöt ilmaan ovat sen sijaan mukana in-

ventaariossa. Ympäristökuormitusta aiheutuu myös polttoaineiden käytöstä mm. levitettäessä lietettä pelloille sekä käännettäessä kompostia. Tätä kuormitusta pidettiin kuitenkin pienenä, joten sitä ei tarkasteltu inventaariossa.

### **2.1.5 Lähtötietojen keruuseen käytetyt menettelytavat ja tietolähteet**

Inventaariovuodeksi valittiin vuosi 1996, josta oli kattavasti tietoja saatavilla. Kyseisen vuoden osalta selvitettiin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen normaali-käytön tiedot. Inventaarion pääasiallinen tietolähde on Tampereen kaupungin vesilaitoksen toimintakertomus vuodelta 1996. Se sisältää tärkeimmät tiedot vesi- ja viemärlaitoksen toiminnasta. Inventaariossa arvioituja tekijöitä ovat:

- Uusiutuvien luonnonvarojen käyttö,
- Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö,
- Päästöt ilmaan: hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O), metaani (CH<sub>4</sub>), rikki-dioksidi (SO<sub>2</sub>), typen oksidit (NO<sub>x</sub>), hiilimonoksidi (CO), haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), metallit: arseeni (As), kromi (Cr), nikkeli (Ni), vanadiini (V), lyijy (Pb), kadmium (Cd), elohopea (Hg),
- Päästöt veteen: ammoniumtyppi (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), fosfori (P), typpi (N), biologinen hapenkulutus (BOD<sub>7</sub>),
- Päästöt maaperään,
- Liete ja sen sisältämät haitta-aineet (esimerkiksi metallit).

Energian käyttö jaettiin energialähteen mukaan uusiutuvaan ja uusiutumattomaan energiaan. Energian oletettiin olevan keskimääräistä Tampereella tuotettua sähkö- ja kaukolämpöenergiaa. Energia on ilmoitettu pääasiassa alempana polttoarvona (LHV, low heating value). Joissain tuotteissa on ilmoitettu ylempi polttoarvo (HHV, high heating value).

Kemikaalien valmistajilta kerättiin tietoja niiden valmistukseen tarvittavista resursseista ja syntyvistä päästöistä. Pääosa tiedoista on luottamuksellisia, joten niitä ei julkaista tutkimusraportissa. Henkilökohtaiset tiedonannot olivat tärkeä tiedonlähde. Keskusteluissa tietoja ja arvioita saatiin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen, Tampereen teknillisen korkeakoulun, Pirkanmaan ympäristökeskuksen, Tampereen sähkölaitoksen sekä Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijoilta. Kirjallisuutta käytettiin, mikäli mitattua tai muutoin laskettua tietoa ei ollut saatavilla. Lähteinä käytettiin luotettaviksi katsottuja tutkimuksia.

### **2.1.6 Lähtötietojen laadun arviointi ja puuttuvan tiedon käsittely**

Koska kyseessä on Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen inventaario, kerättiin ensisijaisesti Tampereetta koskevia tietoja. Niiden puuttuessa on käytetty valtakunnallisia tai kansainvälisiä tietoja. Tampereen vesi- ja viemärlaitos edustaa hyvin tyyppillistä suomalaista vesi- ja viemärlaitosta. Inventaario toteutettiin laitoksen normaalitilanteen tiedoilla ja tutkimus on helposti toistettavissa.

Inventaarion lähtötietoina käytettiin ensisijaisesti mitattuja tietoja. Ellei niitä ollut saatavilla, käytettiin luotettaviksi katsotuilla menetelmillä laskettuja tietoja, asiantuntija-arvioita ja kirjallisuuslähteitä. Inventaariotiedot pyrittiin keräämään vuodelta 1996. Jos niitä ei ollut käytettävissä, käytettiin uusinta saatavilla olevaa tietoa.

Suurin osa tiedoista on peräisin vesi- ja viemärlaitoksen toimintakertomuksesta (1996). Eniten epävarmuutta lähtötiedoissa on kemikaalien ja putkien valmistuksen aiheuttamassa välillisessä ympäristökuormituksessa. Kemikaalien osalta valmistuksen tiedot ovat epätäydellisiä. Putkien valmistuksen tiedot ovat luotettavia, mutta epävarmuutta aiheutuu putkimateriaalien massoista, jotka perustuvat arvioihin. Rakennusten ekotasemallista (Kaivonen 1997) saadut tiedot ra-

kentämisen aiheuttamasta ympäristökuormituksesta ovat riittävän luotettavat. Vesi- ja viemärlaitoksen rakennusten tilavuudet ovat arvioita. Arvioita pidettiin kuitenkin riittävän hyvinä, joten tarkempiin selvityksiin ei ryhdytty. Vesi- ja viemärlaitokselta saatuja arvioita kuljetuskilometreistä pidettiin luotettavina inventaarion tarkoituksiin. Jäteveden käsittelyssä syntyvät metaani- ja typpioksiduulipäästöt laskettiin kirjallisuuslähteisiin perustuvilla menetelmillä. Koska puhdistamokohtaisia mittaustietoja metaanipäästöistä ei ollut saatavilla, voidaan arvioita, jotka tehtiin useilla vaihtoehtoisilla tavoilla, pitää riittävän luotettavina vesi- ja viemärlaitoksen kokonaisarvioinnin kannalta.

Joistakin vedenpuhdistuskemikaaleista (ks. luku 2.2.8) ei saatu niiden valmistuksen ympäristökuormitustietoja. Koska näiden puuttuvien kemikaalien osuus oli pieni (2 painoprosenttia vedenpuhdistuskemikaaleista), niiden aiheuttama kuormitus jätettiin ottamatta huomioon. Eri kemikaalien ja putkimateriaalien valmistuksesta saadut tiedot olivat eritasoisia. Kaikista tiedoista ei käynyt ilmi, sisälvisivätkö esim. päästöluvut energiankulutuksesta aiheutuvia välillisiä vaikutuksia vai olivatko ne pelkässä valmistusprosessissa syntyviä suoria päästöjä. Inventaariossa hankittuja tietoja käytettiin sellaisina kuin ne oli saatu. Jäteveden käsittelyprosessissa puhdistamalla syntyvät VOC-päästöt puuttuvat inventaariosta.

## **2.2 Vesi- ja viemärlaitoksen toiminnot ja inventaarioanalyysin toteutus**

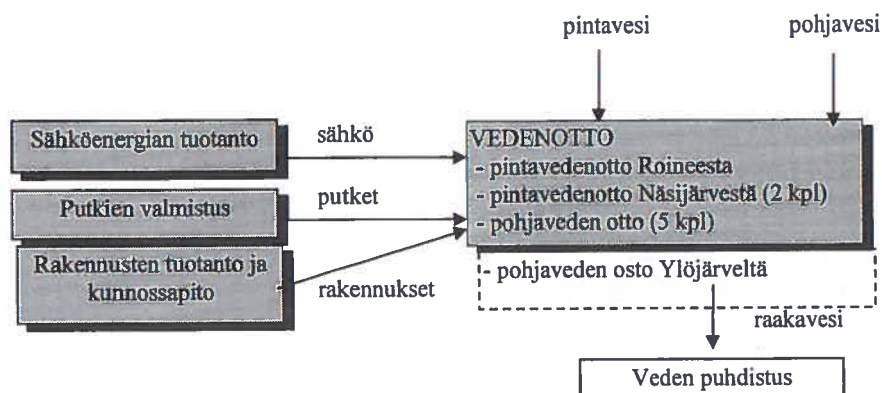
### **2.2.1 Vedenotto**

Vedenhankinnassa on tavoitteena käyttää pohjavettä niin paljon kuin mahdollista. Pohjavesi on Tampereen seudulla hyvälaatuaista ja lämpötilaltaan ihanteellista juomavesikäyttöön. Pintavesilähteenä käytettävän Roineen veden laatu on Sisä-Suomen järvistä puhtaimpia. Hajakuormituksesta huolimatta Roineen veden laatu on pysynyt hyvänä.

Tampere toimittaa vesijohtovettä paitsi oman kaupungin asukkaille myös Pirkkalan kunnalle. Lisäksi vettä toimitetaan tarpeen mukaan Nokialle, Lempäälään ja Kangasalle. Myös eräiden Ylöjärven raja-alueiden vedenhankinta hoidetaan Tampereelta. Vesi- ja viemärlaitoksen vastuulla on yli 200 000 asukkaan vesihuolto.

Vesi- ja viemärlaitoksen vuosittainen vedenhankinta on noin 20 miljoonaa kuutiometriä. Vesijohtoveden valmistukseen käytetystä vedestä 68 % otettiin Roineesta vuonna 1996. Roineen vettä johdetaan 7 km Ruskon puhdistamolle. Loppuosa vedestä saadaan viidestä pohjavedenottamosta.

Pohjavettä myös ostetaan Ylöjärveltä, josta Saurion vedenottamon lähes koko tuotanto johdetaan Tampereelle. Ostetun pohjaveden osuus koko vedenkäytöstä on noin 3 %. Ylöjärven pohjavedenottamo on kuitenkin inventaarion rajauksen ulkopuolella. Kuvassa 2 on esitetty vedenottoon kuuluvat vaiheet ja toiminnot.



Kuva 2. Vedenoton virtauskaavio. Katkoviivalla merkityt osa-alueet eivät ole mukana inventaariossa.

Vedenoton sähköenergiankulutus vuodessa saatiin vesi- ja viemärlaitokselta M. Vaahteran henkilökohtaisena tiedonantona (9.6.1998). Vedenoton sähköenergiankulutus käsittää Roineen pintavedenoton sekä Messukylän ja Hyhkyn pohjavedenotot. Puhdistuslaitosten imujohtojen pituudet, halkaisijat ja materiaalit on otettu vesi- ja viemärlaitoksen vuosikertomuksesta. Putkien metripainot saatiin putkivalmistajien tuotetiedoista. Imujohtot ovat pääosin muovia. Muoviputkien valmistuksen aiheuttama ympäristökuormitus valmistettua kilogrammaa kohti on mukana inventaariossa. Pieni määrä tulojohtoista on puuputkea, jonka valmistus ei ole mukana inventaariossa. Vedenottamoiden rakennusten tilavuudet perustuvat vesi- ja viemärlaitoksen omaan arvioon. Tilavuus kerrottiin rakennusten ekotaseiden laskentamallilla (Kaivonen 1997) lasketulla ympäristökuormituksella yhtä rakennuskuutiometriä kohden ja jaettiin käyttöiällä 50 vuotta, jolloin saatiin karkea arvio rakentamisen ympäristökuormituksesta kohdistettuna yhdelle vuodelle.

Liitteen 1 taulukoissa 1 - 2 on esitetty Tampereen sähkön- ja lämmöntuotannon ominaispäästökertoimet ja taulukoissa 7 - 12 on esitetty muoviputkien, valuraudan, betonin ja tiilen valmistuksen sekä rakennusten tuotannon ja kunnossapidon ominaispäästökertoimia. Vesi- ja viemärlaitoksen rakennusten tilavuudet, vedenoton sähköenergian kulutus ja vedenoton johtojen pituudet on esitetty liitteen 2 taulukoissa 2 - 4. Liitteessä 3 on esitetty vedenoton eri osatekijöiden energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sekä päästöt ilmaan ja veteen.

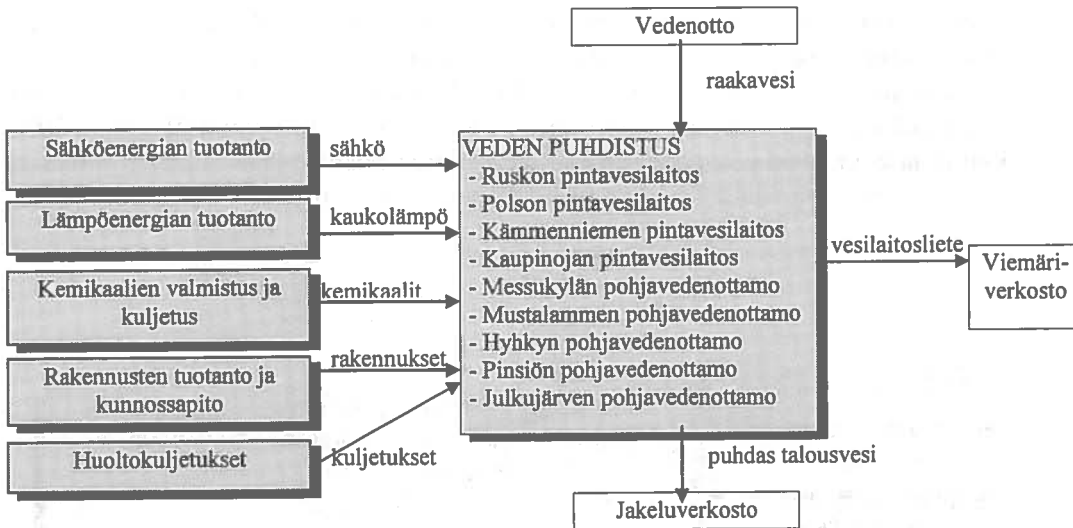
## 2.2.2 Veden puhdistus

Talousvedeksi puhdistetaan Roineen vettä Ruskon vedenpuhdistamolla ja Näsijärven vettä Polson ja Kämenniemen vedenpuhdistamoilla. Kaupinojan varavesilaitoksen puhdistamaa pintavettä ei pumpata vesijohtoverkostoon. Laitoksen toimintakyky varmistetaan 2-4 viikon välein tapahtuvalla koekäytöllä. Pohjavettä pumpataan Messukylän, Mustalammen, Hyhkyn, Pinsiön ja Julkujärven pohjavesilaitoksilta.

Pintaveden puhdistuksessa raakaveden sisältämät epäpuhtaudet saostetaan ja poistetaan prosessista kalkin ja alumiinisulfaatin avulla. Hienojakoiset epäpuhtaudet ja makua sekä hajua aiheuttavat yhdisteet poistetaan lopuksi aktiivihiili-suodatuksella. Vesi desinfioidaan klooridioksidilla. Puhdistettu vesi suojataan bakteerikasvulta puhdistuksen jälkeen lievällä klooriannostuksella sekä veden happamuus säädetään putkille ja kiinteistöjen vesilaitteille sopivaksi. Putkistojen ja



laitteiden kannalta nostetaan myös veden alkaliniteettiä syöpymisen estämiseksi lisäämällä veteen hiilidioksidia ja kalkkiliuosta. Pohjavettä käsitellään säätämällä happamuutta ja veden laatu varmistetaan lievällä desinfioinnilla. Käsittely varmistaa veden jakelun hygieenisyyden ja vedenlaadun muuttumattomuuden vesijohtoverkostossa. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen jakaman veden laatu on hyvä ja täyttää terveydelliset sekä hyvälle talousvedelle asetetut laatutavoitteet. Veden puhdistukseen kuuluvat vaiheet ja toiminnot on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Veden puhdistuksen virtauskaavio.

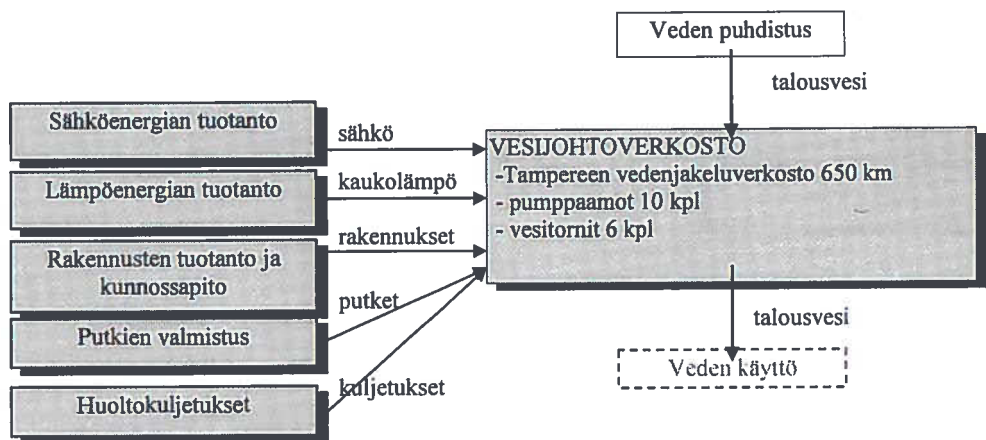
Veden puhdistuksen sähköenergiankulutus vuoden aikana saatiin vesi- ja viemäri-  
laitoksen vuosikertomuksesta. Kaukolämmönkulutus saatiin vesi- ja viemäri-  
laitokselta (H. Niemen henkilökohtainen tiedonanto 13.3.1998). Kemikaalien valmis-  
tusmäärät on otettu vuosikertomuksesta. Kemikaalien valmistuksen tietoja koot-  
tiin valmistajilta ja kirjallisuudesta. Vesi- ja viemäri-  
laitoksen käyttämien kemikaalien aiheuttama välillinen ympäristökuormitus saatiin kertomalla käytetyt kemi-  
kaalimäärät yhden kemikaalitonin valmistuksen ympäristökuormitusluvuilla.  
Kemikaalien kuljetustavat, -etäisyydet ja -kuormien koot saatiin vesi- ja viemäri-  
laitokselta sekä kemikaalien valmistajilta ja maahantuojilta. Veden puhdistuksen  
kuljetukset ovat lähinnä kemikaalien kuljetuksia pienpuhdistamoille. Kemikaalit  
tuodaan tehtailta Ruskon puhdistamolle, mistä ne tarpeen mukaan kuljetetaan  
kaupungin kuorma-autolla muille puhdistamoille. Vesi- ja viemäri-  
laitoksella arvi-  
oitiin tästä kertyvä vuosittainen kilometrimäärä (M. Vaahtera henkilökohtainen  
tiedonanto 30.4.1998), joka jaettiin eri puhdistamoille niillä käytettävien kemikaal-  
imäärien suhteessa. Vedenpuhdistamoiden rakennusten tilavuudet arvioitiin vesi-  
ja viemäri-  
laitoksella. Tilavuus kerrottiin rakennusten ekotaseiden laskentamallil-  
la (Kaivonen 1997) lasketulla ympäristökuormituksella yhtä rakennuskuutiometri-  
ä kohden ja jaettiin käyttöiällä 50 vuotta, jolloin saatiin karkea arvio rakentami-  
sen ympäristökuormituksesta kohdistettuna yhdelle vuodelle. Vesilaitosliete joh-  
detaan viemäriin ja edelleen jätevedenpuhdistamolle. Inventaariossa vesilaitos-  
lietettä ei erikseen huomioitu, sillä lietteen kuljetus otettiin huomioon viemäriver-  
kon pumppausenergiana ja lietteen käsittely osana jäteveden käsittelyä.

Kuljetusten ominaispäästökertoimet on esitetty liitteen 1 taulukoissa 3 - 5. Vedenpuhdistamoiden sähkö- ja lämpöenergian kulutus, veden puhdistuksen ja vedenpuhdistuskemikaalien kuljetukset sekä kemikaalien käyttö vedenkäsitte-

lyssä on esitetty liitteen 2 taulukoissa 5 -9. Liitteessä 3 on esitetty veden puhdistuksen eri osatekijöiden energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sekä päästöt ilmaan ja veteen.

### 2.2.3 Vesijohtoverkosto

Tampereen kaupungin asukkaista noin 96 % on liittynyt vesijohtoverkkoon. Vedenjakelujärjestelmässä on noin 650 km laitoksen rakentamia ja ylläpitämiä vesijohtoja. Verkostossa on 10 paineenkorotuspumppaamaa. Lisäksi Tampereella on 6 ylävesisäiliötä. Vesi- ja viemärlaitoksen jakeluverkosto käsittää vesijohtot käyttäjän tontin rajalle saakka. Tontilla olevat johdot ovat siten inventaarion rajauksen ulkopuolella. Vesijohtoverkoston kuuluu tonttisulkuventtiilien lisäksi noin 5000 venttiiliä ja yli 2000 palovedenottoon tarkoitettua postia. Näitä ei otettu mukaan inventaariioon. Kuvassa 4 on esitetty vesijohtoverkkoon kuuluvat vaiheet ja toiminnot.



Kuva 4. Vesijohtoverkoston virtauskaavio. Katkoviivalla merkitty ei ole mukana inventaariossa.

Pumppauksen sähköenergiankulutus vuoden aikana on otettu vesi- ja viemärlaitoksen toimintakertomuksessa. Kaukolämpöä kuluu Kaupin ylävesisäiliön lämmitykseen. Säiliötä lämmitetään, koska sen yhteydessä on putkivarasto. Kaukolämmönkulutus saatiin vesi- ja viemärlaitokselta. Putkien valmistuksen ympäristökuormituksen laskemiseksi arvioitiin vesijohtojen massat materiaaleittain, jotka kerrottiin kunkin materiaalin valmistuksen ympäristökuormitustiedoilla. Tarkkoja tietoja putkien materiaaleista, pituuksista ja halkaisijoista ei ollut käytettävissä, joten eri putkimateriaalien massojen laskemiseksi jouduttiin käyttämään osittain arvioita. Verkoston käyttö- ja huoltokuljetukset saatiin Tampereen kaupungin auto- ja konekeskuksesta. Kilometrikorvauksilla ajettavien henkilöautojen vuoden 1996 kilometrimäärä on tarkka luku. Muiden autojen vuosittaiset kilometrimäärät on arvioitu. Pumppaamoiden tilavuudet perustuvat vesi- ja viemärlaitoksen omaan arvioon. Kokonaistilavuus kerrottiin rakennusten ekotaseiden laskentamallilla (Kaivonen 1997) lasketulla ympäristökuormituksella yhtä rakennuskuutiometriä kohden ja jaettiin käyttöiällä 50 vuotta, jolloin saatiin karkea arvio rakentamisen ympäristökuormituksesta kohdistettuna yhdelle vuodelle.

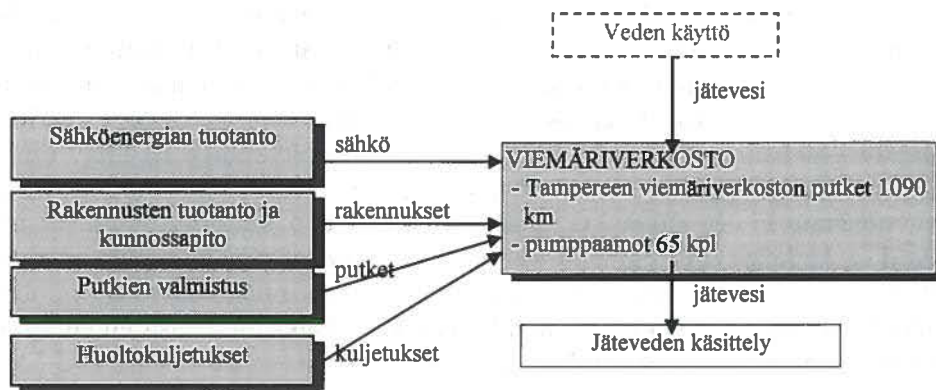
Vesijohtoverkoston sähkön ja kaukolämmön kulutus, vesijohtoverkoston liittyvät kuljetukset sekä vesijohtoverkoston putkien halkaisijat, pituudet ja mas-  
sat on esitetty liitteen 2 taulukoissa 10 - 13. Liitteessä 3 on esitetty vesijohtover-  
koston eri osatekijöiden energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonva-  
rojen käyttö sekä päästöt ilmaan ja veteen.

## 2.2.4 Viemäriverkosto

Tampereen kaupungin sekä Kangasalan, Ylöjärven ja Pirkkalan kuntien viemä-  
röidyiltä alueilta kerätyt jätevedet käsitellään Tampereen puhdistamoilla. Viemä-  
riin liitetyissä kiinteistöissä on yhteensä noin 218 000 asukasta Tampereella ja lähi-  
kunnissa. Viemäriverkkoon liittyneitä on Tampereella noin 96 % asukkaista, Kan-  
gasalla noin 80 %, Pirkkalassa noin 85 % ja Ylöjärvellä noin 68 %.

Tampereella on käytössä kaksi viemärointimenetelmää: keskusta-alueella on  
sekaviemärointi (45 km) ja muualla erillisviemärointi (630 km) (Juuti & Katko 1998).  
Sekaviemäroinnillä jäte-, sade- ja kuivatusvedet johdetaan samassa viemäri-  
ssä jätevedenpuhdistamolle. Erillisviemäri-llä vain jätevedet johdetaan puhdistamolle  
kun taas sade- ja kuivatusvedet johdetaan sopivaan maaston kohtaan maahan  
imeytyväksi tai suoraan vesistöön.

Viemäriverkoston kokonaispituus on yli 1000 kilometriä, kun sadevesiviemä-  
ritkin otetaan mukaan (Juuti & Katko 1998). Normaali viemäri toimii painovoi-  
maisena, mutta mikäli tämä ei ole mahdollista käytetään paineviemäri-  
osuuksia. Viemärointijärjestelmään kuuluu 65 jätevedenpumppaamaa. Kuvassa 5 on esitetty  
viemäriverkoston kuuluvat vaiheet ja toiminnot.



Kuva 5. Viemäriverkoston virtauskaavio. Katkoviivalla merkitty ei ole mukana inventaariossa.

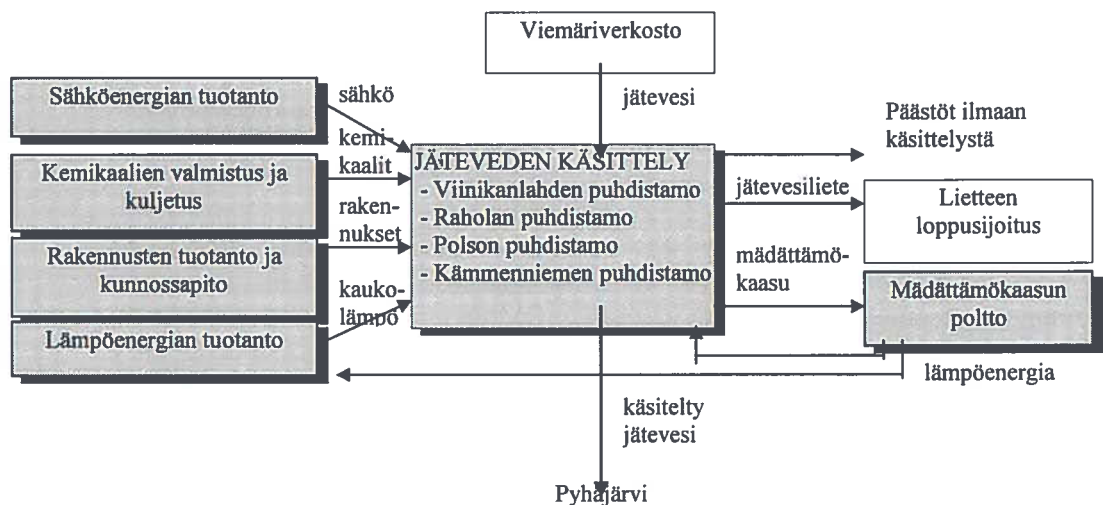
Viemäriverkostossa voi tapahtua jäteveden anaerobista hajoamista ja siten syntyä  
kaasupäästöjä. Tuuletus Tampereen viemäriverkostossa toimii hyvin, joten hapet-  
tomia olosuhteita ja mätänemistä ei pääse merkittävässä määrin syntymään. Ae-  
robistakaan hajoamista ei tapahdu paljon, sillä viipymä verkostossa ei ole pitkä.  
(Tampereen vesi- ja viemäri-  
laitos/M. Leinosen henkilökohtainen tiedonanto 17.2.1998) Näin ollen oletettiin, että metaani- ja hiilidioksidipäästöt viemäriver-  
kostossa ovat merkitykseltään niin vähäiset, ettei niitä otettu huomioon inventaa-  
riossa.

Pumppauksen sähköenergiankulutus vuoden aikana on otettu vesi- ja viemärlaitoksen toimintakertomuksesta. Putkien valmistuksen ympäristökuormituksen laskemiseksi arvioitiin vesijohtojen massat materiaaleittain. Massat kerrottiin kunkin materiaalin valmistuksen ympäristökuormitustiedoilla. Tarkkoja tietoja putkien materiaaleista, pituuksista ja halkaisijoista ei ollut käytettävissä, joten eri putkimateriaalien massojen laskemiseksi jouduttiin käyttämään osittain arvioita. Verkoston käyttö- ja huoltokuljetukset on arvioitu Tampereen kaupungin auto- ja konekeskuksessa. Kilometrikorvauksilla ajettavien henkilöautojen vuoden 1996 kilometrimäärä on tarkka luku. Muiden autojen vuosittaiset kilometrimäärät on arvioitu. Pumppaamoiden tilavuudet perustuvat vesi- ja viemärlaitoksen omaan arvioon. Kokonaistilavuus kerrottiin rakennusten ekotaseiden laskentamallilla (Kaivonen 1997) lasketulla ympäristökuormituksella yhtä rakennuskuutiometriä kohden ja jaettiin käyttöiällä 50 vuotta, jolloin saatiin karkea arvio rakentamisen ympäristökuormituksesta kohdistettuna yhdelle vuodelle. Viemärlaitoksen rakennusten tilavuudet, viemäriverkoston pumppaamoiden sähkön kulutus, viemäriverkoston liittyvät kuljetukset sekä viemäriverkoston putkien pituudet ja massat on esitetty liitteen 2 taulukoissa 15 - 18. Liitteessä 3 on esitetty viemäriverkoston eri osatekijöiden energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sekä päästöt ilmaan ja veteen.

## 2.2.5 Jäteveden käsittely

### Jäteveden käsittelyprosessi

Kantakaupunkialueella on kaksi jätevedenpuhdistamoa Viinikanlahdessa ja Raholassa. Molemmat puhdistamot ovat biologis-kemiallisia rinnakkaissaostuslaitoksia. Pääosa eli noin 80 % jätevedestä käsitellään Viinikanlahden puhdistamolla ja noin 19 % Raholan puhdistamolla. Lisäksi Polson ja Kämmenniemen taajamissa on omat pienpuhdistamot. (Jätevesien käsittelymäärät puhdistamoittain on esitetty liitteen 2 taulukossa 14.) Sekä Viinikanlahden että Raholan puhdistamoilla jäteveden ja lietteen käsittelyprosessi koostuu seuraavista vaiheista: esikäsitely (välppäys, hiekanerotus, esi-ilmastus, esiselkeytys), biologinen käsittely (ilmastus, jälkiselkeytys) ja lietteen käsittely (mädätys, kuivaus). Puhdistamoilla käsitellään vuosittain 25 - 30 miljoonaa kuutiometriä jätevettä. Laitosten puhdistusteho on korkea, kaikilla puhdistamoilla saavutettiin voimassa olevien lupien edellyttämät puhdistustulokset. Kesäisin Viinikanlahdessa myös hapetetaan ammoniumtyyppiä. Käsitellyt jätevedet lasketaan Pyhäjärveen. Jäteveden käsittelyyn kuuluvat vaiheet ja toiminnot on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Jäteveden käsittelyn virtauskaavio.

Jäteveden käsittelyn sähköenergiankulutus vuodessa on saatu vesi- ja viemärlaitoksen toimintakertomuksesta. Ostettua kaukolämpöä käytetään Viinikanlahden puhdistamolla rakennusten lämmitykseen sekä lämpötilan nostamiseen mädätyksessä. Kaukolämmönkulutus perustuu viemärlaitoksen omaan ilmoitukseen. Raholassa lämmitykseen käytetään mädättämökaasusta tuotettua energiaa. Kemikaalien valmistusmäärät on otettu toimintakertomuksesta. Kemikaalien valmistuksen tietoja koottiin valmistajilta ja kirjallisuudesta. Viemärlaitoksen käyttämien kemikaalien aiheuttama välillinen ympäristökuormitus saatiin kertomalla käytetyt kemikaalimäärät yhden kemikaalitonnin valmistuksen ympäristökuormitusluvuilla. Kemikaalien kuljetusmuodot, etäisyydet ja kuormien koot saatiin viemärlaitokselta sekä kemikaalien valmistajilta ja maahantuojilta. Puhdistamoiden rakennusten tilavuudet ovat vesi- ja viemärlaitoksen arvioimia. Kokonaistilavuus kerrottiin rakennusten ekotaseiden laskentamallilla (Kaivonen 1997) lasketulla ympäristökuormituksella yhtä rakennuskuutiometriä kohden ja jaettiin käyttöiällä 50 vuotta, jolloin saatiin karkea arvio rakentamisen ympäristökuormituksesta kohdistettuna yhdelle vuodelle. Viemärlaitoksen rakennustilavuudet on esitetty liitteen 2 taulukossa 15. Jäteveden käsittelyn sähkön ja lämmön kulutus, kemikaalien käyttö jäteveden käsittelyssä sekä jäteveden käsittelyn tarvitsemien kemikaalien kuljetukset on esitetty liitteen 2 taulukoissa 19, 20, 25 ja 26. Liitteessä 3 on esitetty jäteveden käsittelyn eri osatekijöiden energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sekä päästöt ilmaan ja veteen.

#### **Jätevesien käsittelyssä syntyvät päästöt ilmaan**

Jäteveden sisältämän orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa olosuhteissa muodostuu metaania. Sitä voi muodostua jäteveden käsittelyn eri vaiheissa. Kangas ym. (1986) määrittivät ilman metaanipitoisuuksia kunnallisilla jätevedenpuhdistamoilla ja pumppuasemilla. Metaanipitoisuudet vaihtelivat puhdistamoiden ilmassa 0,7-18 mg/m<sup>3</sup> ja pumppuasemien ilmassa 0,7-69 mg/m<sup>3</sup>. Luvut osoittavat, että metaania vapautuu jäteveden käsittelyn yhteydessä. Seuraavassa on esitetty kolme vaihtoehtoista tapaa arvioida jäteveden käsittelyn metaanipäästöt, joista luotettavimmaksi arvioitu laskentatapa on valittu.

Pipatin (1994) esittämässä laskentatavassa arvioidaan ensin puhdistamolla biologisesti hajoavan orgaanisen aineen määrä tulevan ja lähtevän jäteveden BOD<sub>7</sub>-arvojen sekä lietteen mukana poistuvan BOD<sub>7</sub>:n perusteella. Pipatti on arvioinut lietteen BOD<sub>7</sub>:ksi 35 g/asukas/vrk. Orgaanisen aineen hajoaminen jäteveden käsittelyssä on pääosin aerobista. Pipatti on oletanut, että noin 5 % hajoamisesta on anaerobista. Anaerobisesti hajoavasta aineksesta on arvioitu muodostuvan metaanipäästöjä 0,22 kg CH<sub>4</sub>/kg BOD<sub>7</sub> (mm. Thorneloe 1993). Metaanipäästöksi saadaan tällöin noin 29 tonnia vuodessa (liitteen 2 taulukko 21).

Jäteveden käsittelyssä syntyvien ilmapäästöjen arvioimiseksi on olemassa European Environmental Agency:n (McInnes 1996) julkaisemat päästökertoimet, jotka perustuvat hollantilaisiin tietoihin. Inventaariossa käytettiin EEA:n kerrointa typpioksiduulipäästöjen laskemiseksi (0,25 g/m<sup>3</sup>, liitteen 2 taulukko 22). EEA on antanut kertoimen myös puhdistamon metaanipäästöille (3,7 g/m<sup>3</sup>), jolla laskien metaanipäästöistä tuli yli kolminkertaiset Pipatin menetelmään verrattuna.

New Hampshirissa USA:ssa tehdyssä tutkimuksessa aktiivilietelaitoksen metaanipäästöiksi on saatu 39 g asukasta kohti vuodessa (Czepiel ym. 1993). Tutkittu puhdistamo käsitteli noin 12 500 asukkaan jätevedet, joiden lämpötila oli noin 10 - 20 C°. Puhdistamon BOD<sub>7</sub>-reduktio oli noin 95 %. Suomessa asukasta kohden muodostuu vähemmän orgaanista ainesta. Kun otetaan huomioon Tampereella muodostuva BOD<sub>7</sub> asukasta kohden, saadaan jäteveden käsittelyn metaanipäästöiksi 25 g asukasta kohti vuodessa (Laukkanen 2000). Czepielin tutkimuksen perusteella Tampereen jäteveden käsittelylaitoksen metaanipäästöt olisivat noin 5,5 tonnia eli alle neljäsosa Pipatin menetelmällä saatuun arvioon. Inventaariossa jä-

teveden käsittelyn metaanipäästöt laskettiin käyttäen Czepiel'n tutkimukseen perustuvaa arvoa 25 g/asukas/vuosi, koska se oli ainoa käytettävissä oleva mittauksiin perustuva arvio päästöistä.

Puhdistamolla syntyvät NMVOC-päästöt eivät ole inventaariossa mukana, koska niiden määrää ei ole pystytty arviomaan.

Puhdistamolta vesistöön johdettava jätevesi sisältää orgaanista ainesta. Piipatti (1994) on oletanut, että puolet jäteveden sisältämästä orgaanisesta aineksesta hajoaa vesistössä ja että hajoaminen on anaerobista, jolloin syntyy metaanipäästöjä ilmaan. Olosuhteet Pyhäjärvessä eivät ole kuitenkaan hapettomat. Sedimentissä mahdollisesti muodostuva metaani hapettuu jo sedimentin pinnalla, joten metaanipäästöjä ei muodostu.

### Mädättämökaasu

Mädätyksessä syntyy kaasua, jonka oletettiin sisältävän noin 60% metaania ja loput hiilidioksidia, vettä sekä pieniä määriä muita aineita, mm. rikkiyhdisteitä. Viinikanlahdessa kaasu poltetaan kaasukattilassa lämpöenergiaksi, joka toimitettiin kokonaisuudessaan yleiseen kaukolämpöverkkoon. Raholassa kaasua hyödynnetään ilmastusenergiana (kompressorien energianlähteenä) sekä puhdistamon lämmityksessä. Molemmilla laitoksilla ylimääräinen kaasu poltetaan ylijäämäkaasupolttimessa. Kaukolämpöverkkoon toimitetun lämmöntuotannon päästöjä mädättämöllä ei ole laskettu mukaan jäteveden käsittelystä aiheutuviin päästöihin.

Mädättämökaasun polton ominaispäästöinä käytettiin kirjallisuudesta saatuja arvoja. Lähteessä Bengtsson ym. (1997) mädättämökaasun polttamisen päästöt on arvioitu käyttämällä maakaasun päästölukuja hieman muunneltuna (Suomen ympäristökeskus, M. Ekqvist 23.2.1998) (liite 1, taulukko 6). Mädättämökaasun CO<sub>2</sub> ei ole fossiilista alkuperää vaan kyseessä on kierrossa oleva hiilidioksidi. Mädättämökaasun lämpöarvona käytettiin 5,34 kWh/m<sup>3</sup>. Lämpöarvo on laskettu poltetun mädättämökaasun määrän ja mädättämökaasusta tuotetun energian perusteella. Mädättämökaasusta tuotetun lämpöenergian hyötysuhteena käytettiin kaukolämmöntuotannon hyötysuhdetta 84,15 %. Koska ylimääräinen kaasu poltetaan, oletetaan, ettei mädätyksen yhteydessä synny metaanipäästöjä ilmaan. Liitteen 2 taulukoissa 23 ja 24 on esitetty laskelma mädättämökaasun muodostumisesta ja siitä saatavasta energiasta.

### Jäteveden käsittelyn tehostaminen

Jäteveden käsittelyn tehostamisvaihtoehtoa on tarkasteltu varsinaisten inventaariotulosten rinnalla. Puhdistamoiden lupaehtojen mukaisesti vesi- ja viemärilaitos teetti selvityksen ympärivuotisen nitrifikaation toteuttamisesta kohtuullisin kustannuksin (Suunnittelukeskus 1997). Selvityksessä tarkasteltiin myös mahdollisuuksia kokonaistypen nykyistä tehokkaampaan poistoon kohtuukustannuksin. Kokonaistypen poiston tehostaminen tarkoittaa käytännössä sitä, että lämpimämpänä kautena, jolloin nitrifikaatio voidaan toteuttaa pienemmässä tilavuudessa, jäljelle jäänyt tilavuus voidaan käyttää denitrifikaation toteuttamiseen.

Nitrifikaatiossa jäteveden ammoniumtyppi hapetetaan nitraatiksi. Nitrifikaation nopeus riippuu lämpötilasta. Ammoniumin hapettuminen on siten talvella huomattavasti hitaampaa kuin kesällä. Tätä voidaan osittain kompensoida nostamalla lietepitoisuutta ja samalla lieteikää. Denitrifikaatiossa nitraatti pelkistyy typpikaasuksi. Prosessi tapahtuu anoksisissa olosuhteissa, joissa happea ei ole, mutta nitraattia on. Tampereella Viinikanlahden ja Raholan puhdistamoilla BOD:n ja fosforin poisto on ollut tehokasta. Typenpoisto puolestaan on perustunut pääasiassa lietteeseen sitoutumiseen. Nitrifikaatio on ollut tehokasta kesäaikana.

Nitrifikaation toteuttaminen laitoksilla, tehdyn selvityksen mukaan, edellyttää seuraavia toimenpiteitä: lieteiän kasvattaminen, tulppavirtauksen tehostaminen (mm. ilmastuslohkojen erottaminen väliseinillä toisistaan), jälkiselkeytyksen tehostaminen (virtauksenohjaimet altaisiin), puhdistustuloksen varmistaminen jälkisuodatuksella ja prosessinohjauksen tarkentaminen.

Denitrifikaation toteuttaminen edellyttää sitä, että laitosten ilmastusaltaan alkuun rakennetaan anoksinen (vähähappinen) lohko, johon asennetaan hidaskierroksinen sekoitin. Lohkoja ajetaan denitrifikaatiovyöhykkeinä niin suuren osan vuodesta kuin mahdollista.

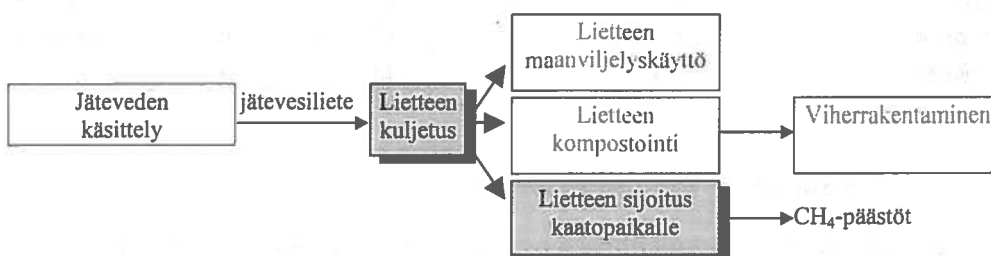
Ympäri vuotisessa nitrifikaatiossa joudutaan ylläpitämään suurempaa liete määrää, josta aiheutuu suurempi ilmastuksen energiankulutus. Kalkin suhteellinen annostus on pienempi kuin nykyisin, mutta käyttö on vastaavasti ympäri vuotista. Denitrifikaation avulla kalkin annostusta voidaan edelleen vähentää.

Inventaariotarkastelussa on mukana lisääntyneestä sähkön- ja lämmönkulutuksesta sekä lisääntyneestä kalkinkulutuksesta aiheutuva ympäristökuormitus. Jäteveden tehostamissuunnitelman lähtötiedot on esitetty liitteessä 4.

## 2.2.6 Lietteiden loppusijoitus

Jätevesiliete luokitellaan jätteeksi (Puolanne 1997). Jätelainsäädännön mukaan jätteen syntyä olisi pyrittävä ennaltaehkäisemään. Lietteiden osalta se ei kuitenkaan ole käytännössä juuri mahdollista, koska lietettä syntyy sitä enemmän, mitä tehokkaammin lika-aineet saadaan erotettua jätevesistä. Jätevesiliete sisältää arvokkaita ravinteita, kuten fosforia, typpeä ja orgaanista ainetta. Siksi sen hyödyntäminen maanparannusaineena olisi toivottavaa. Hyötykäytön haitallisina ympäristövaikutuksina ovat lietteeseen kertyvät haitta-aineet, erityisesti raskasmetallit. Lietteeseen kertyy myös erilaisia orgaanisia epäpuhtauksia. Lietteen levitysmääriä maataloudessa rajoittaa lietteen korkea fosforipitoisuus.

Jäteveden käsittelyssä syntyvä liete tiivistetään, mädätetään hapettomissa olosuhteissa noin kuukauden ajan ja kuivataan lingoilla. Inventaariovuonna 1996 Viinikanlahden puhdistamon lietteistä suurin osa sijoitettiin maanviljelyskäyttöön, osa kompostoitui ja loput ajettiin kaatopaikalle. Raholan puhdistamon lietteet kompostoitui. Pienpuhdistamoiden lietteet kuljetettiin käsiteltäväksi Viinikanlahteen. Jätevedenpuhdistamoilla syntyvä välppä- ja hiekkajäte laskettiin inventaariossa lietteeksi. Välppä- ja hiekkajätteen osuus lietteen kokonaismäärästä on noin 4 %. Lietteen kuljetusmatkat loppusijoitukseen perustuvat viemärilaitoksen omaan arvioon. Liitteen 2 taulukoissa 27 - 29 on esitetty jätevesilietteen määrä, loppusijoitus, kuljetukset sekä jätevesilietteen sisältämät ravinteet ja metallit. Lietteen loppusijoituksen virtauskaavio on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Lietteen loppusijoituksen virtauskaavio.

Lietteen loppusijoituksen aiheuttamista ympäristövaikutuksia inventaariossa on mukana kaatopaikalle sijoitetun lietteen aiheuttama ympäristökuormitus. Välppä- ja hiekkajäte viedään myös kaatopaikalle. Kaatopaikalle viety välppä- ja hiekkajäte on huonosti hajoavaa jätettä. Muu kaatopaikalle viety liete hajoaa pitkän ajan kuluessa anaerobisesti. Metaanipäästöt kaatopaikalle viedystä mädätetystä lietteestä arvioidaan mädättämössä muodostuneen kaasumäärän perusteella (2783731 m<sup>3</sup>). Lähtöoletus on, että biokaasu sisältää noin 60 % metaania. Viitasaa- ren ym. (1994) mukaan mädättämöissä tuotetaan 90 % teoreettisesti mahdollisesta biokaasumäärästä. Kaatopaikalla muodostuu siten enintään 10 % teoreettisesti mahdollisesta metaanipäästöstä. Vuonna 1996 kaatopaikalle vietiin 10,9 % mädät- tämölietteestä, joten kaatopaikalla muodostuvaksi metaanipäästök- si saadaan noin 14,5 tonnia. Liitteessä 3 on esitetty lietteen loppusijoituksen energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sekä päästöt ilmaan.

Lietteen loppukäytöstä aiheutuvat päästöt eivät ole mukana inventaariossa. Lietteen metallipitoisuudet eivät ylitä maanviljelyshyötykäytön raja-arvoja. Myös kemiallisista lannoitteista aiheutuu metallikuormitusta maaperään, joten lietteis- tä ei aiheutune tavanomaista suurempaa metallikuormitusta maanviljelyskäytössä. Taulukossa 1 on esitetty vuonna 1996 mitatut lietteiden metallipitoisuudet. Kom- postoinnin oletettiin toimivan hyvin, joten kompostoitu liete ei hajoa anaerobi- sesti eikä metaanipäästöjä synny. Lietteen maanviljelykäytöstä ja kompostoinnis- ta aiheutuu ammoniakkipäästöjä ilmaan. Mädätetyn lietteen ammoniakkipäästöt ovat kuitenkin hyvin vähäiset. Euroopan ympäristöviraston käsikirjan mukaan vain noin 5 % lietteen ammoniumtyyppistä vapautuu ilmaan lietteen levityksessä (McInnes 1996). Inventaariossa käytetyn rajauksen perusteella lietteen levityksen päästöt ilmaan eivät ole mukana inventaariossa.

Taulukko 1. Puhdistamolietteiden metallipitoisuuksien keskiarvot (mg/kg) vuonna 1996 sekä valtioneuvoston päätöksen (n:o 282) mukaiset maanviljelyssä käytettävän lietteen suurimmat sallitut metallipitoisuudet (raja-arvot).

Kuormitustekijä	Viinikanlahti	Rahola	Raja-arvo <sup>0</sup>
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Rauta	100 000	110 000	
Kalsium	39 000	27 000	
Sinkki	690	1100	1500
Kupari	250	610	600
Mangaani	730	510	
Lyijy	48	52	150
Kromi	72	170	300
Nikkeli	34	65	100
Koboltti	7,5	7,2	
Kadmium	1,4	1,1	3,0
Elohopea	1,7	0,8	2,0

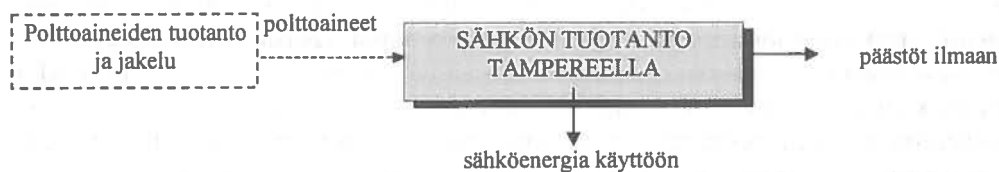
### 2.2.7 Ostosähkön ja -lämmöntuotanto

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen ostaman sähkön päästöjen arvioinnissa käytettiin Tampereen kaupungin sähkölaitoksen ominaispäästöjä. Tampereen kaupun- gin sähkölaitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Naistenlahden ja Lielahden voimalaitoksilla sekä sähköä Tammerkosken vesivoimalaitoksissa. Vuonna 1996 sähkön ja lämmön yhteistuotannon osuus oli 83 % sähkönhankinnasta. Sähkölai- toksen energiantuotantoon käytettyjen polttoaineiden osuus vuonna 1996 oli seu-



raava: maakaasu noin 64 % (Lielahdi), turve 33 % (Naistenlahti), öljy 2,5 % ja mädättämökaasu alle 0,5 %. Lisäksi sähköstä tuotettiin vesivoimalla noin 3 % ja ostettiin muilta tuottajilta noin 15 % (Tampereen kaupungin sähkölaitos 1998).

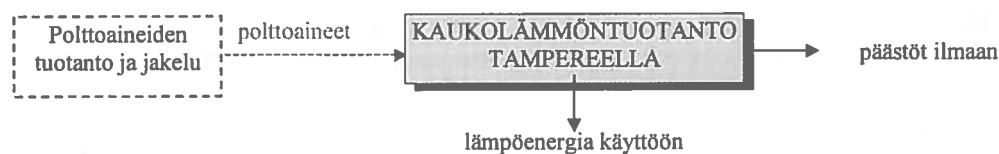
Naistenlahden voimalaitokset käyttävät pääpolttoaineenaan jyrshinturvetta. Turpeen polton ominaisrikkipäästöt ovat noin 25 % raskaan öljyn- ja kivihiilen polton ominaispäästöistä. Turpeen ominaistyyppipäästöt ovat noin puolet kivihiilen päästöistä ja hieman suuremmat kuin polttoöljyllä. Lielahden voimalaitoksen pääpolttoaineena käytetään maakaasua. Laitoksessa poltettava maakaasu on pääasiassa metaania. Se ei sisällä rikkiä tai muita epäpuhtauksia, joten rikkidioksidi- ja pölypäästöjä ei synny. Ostosähköntuotannon virtauskaavio on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Sähköntuotannon virtauskaavio. Katkoviivalla merkitty ei ole mukana inventaariossa.

Sähköntuotannon aiheuttamien ilmapäästöjen laskemiseksi inventaariossa on käytetty Suomen ympäristökeskuksessa laskettuja Tampereen sähköntuotannon ominaispäästöjä (J. Petäjä 28.10.1998). Ominaispäästöihin sisältyvät ainoastaan polttoaineiden polton aiheuttamat päästöt. Polttoaineiden tuotanto ja jakelu ei ole mukana. Sähköntuotannon ominaispäästöt on esitetty liitteen 1 taulukoissa 1. Sähköntuotannon ominaispäästölaskelmat on esitetty liitteessä 5. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen sähkön ja lämmön kulutus on esitetty primäärienergiana, joka tarkoittaa energialähteiden (polttoaineiden) varsinaista energiasisältöä sekä niiden jalostukseen ja kuljetukseen (siirtohäviöt) kuluva energia. Sähköenergiankulutus (kWh) muutettiin primäärienergiaksi (MJ) käyttäen Tampereen sähköntuotannon hyötysuhteena 79,1 % (liite 5).

Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen ostaman lämmöntuotannon päästöjen arvioinnissa käytettiin Tampereen kaupungin lämpölaitosten ominaispäästöjä. Noin 75 % Tampereen koko rakennustilavuudesta on liitetty kaukolämpöverkoon. Tampereella sähköntuotannossa syntyvä lämpö otetaan talteen ja käytetään lämmitykseen kaukolämpöverkon kautta. Kaukolämpö tuotetaan pääasiallisesti Lielahden (maakaasu) ja Naistenlahden (turve) voimalaitoksissa. Muutama prosentti kaukolämmöstä tuotetaan eri puolille kaupunkia sijoitetuissa lämpökeskuksissa (polttoöljy), jotka toimivat pääasiallisesti huippu- ja reservilaitoksina. Alle prosentti Tampereen kaukolämmöstä saadaan Viinikanlahden jätevedenpuhdistamon mädättämökaasusta. (Tampereen kaupungin sähkölaitos 1998) Ostolämmöntuotannon virtauskaavio on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Kaukolämmöntuotannon virtauskaavio. Katkoviivalla merkitty ei ole mukana inventaariossa.

Lämmöntuotannon päästöinä käytettiin Tampereen kaukolämmöntuotannon ominaispäästöjä (liitteen 1 taulukko 2). Luvut käsittävät polttoaineiden poltossa syntyvät päästöt. Polttoaineiden tuotannon ja jakelun välilliset vaikutukset eivät ole mukana. Kaukolämmön hyötysuhteena käytettiin 84,15 % (Suomen ympäristökeskus, J. Petäjä 28.10.1998). Kaukolämmöntuotannon ominaispäästölaskelmat on esitetty liitteessä 5.

### 2.2.8 Kemikaalien valmistus

Kemikaalien valmistuksen aiheuttamaa ympäristökuormitusta selvitettiin keräämällä tietoja kemikaalivalmistajilta. Tietoja oli vaikea selvittää yhtenevin rajauksin eri kemikaalien osalta. Joistakin kemikaaleista oli saatavilla yksityiskohtaiset tiedot ympäristövaikutuksista koko elinkaaren ajalta. Osasta kemikaaleja oli tiedossa ainoastaan esimerkiksi valmistusvaiheen energiankulutus. Monista etenkin tuontikemikaaleista tietojen saaminen oli vaikeaa. Kemikaalien valmistuksen tiedoista monet ovat luottamuksellisia, joten niitä ei esitetä raportissa. Kemikaalien valmistuksen ympäristökuormitustiedoista ovat mukana seuraavat:

#### Veden puhdistus

Alumiinisulfaatti:

Alumiinisulfaatin valmistuksen yksityiskohtainen elinkaarianalyysi Kemiran Harjavallan tehtaalla käsittää kaikki vaiheet raaka-aineiden valmistuksesta ja kuljetuksista alumiinisulfaatin valmistukseen. (Kemira Chemicals Oy 1998)

Hiilidioksidi:

Vesi- ja viemärlaitoksella käytettävän hiilidioksidin toimittaa AGA Oy. AGA ei Suomessa valmista hiilidioksidia, vaan sitä saadaan teollisuusprosessien sivutuotteena Nesteen Porvoon tehtaalta (vedyn valmistuksesta) sekä Alkon Koskenkorvan tehtaalta. Prosesseista talteen otettu hiilidioksidi puhdistetaan ennen käyttöä. AGA ilmoitti arvion hiilidioksidille kohdistettavasta sähköenergian kulutuksesta (T. Räisänen henkilökohtainen tiedonanto 28.4.1998).

Natriumhydroksidi ja kloori:

Vesi- ja viemärlaitokselle tuotava NaOH on pääosin tuontitavaraa. Inventaariossa kuitenkin käytettiin Finnish Chemicalsin Joutsenon tehtaalla valmistettavan NaOH:n elinkaarianalyysitietoja. NaOH:n valmistusprosessissa syntyy sivutuotteena klooria, jota Tampereen vesi- ja viemärlaitos käyttää. Kloorin valmistuksen päästöt erotettiin NaOH:n valmistuksesta tuotteiden valmistusmäärien massasuhteisiin perustuen. (Finnish Chemicals Oy, E. Sääksjärven henkilökohtainen tiedonanto 14.5.1998)

Sammutettu kalkki:

Elinkaarianalyysitiedot saatiin kirjallisuuslähteestä (Bengtsson ym. 1997). Tiedot ovat puutteelliset, koska niistä ei käy tarkemmin ilmi mitä lukuihin sisältyy.

Poltettu kalkki:

Poltetun kalkin kalkin tietoja ei ollut käytettävissä. Sammutetun kalkin valmistuksen tietoja (Bengtsson ym. 1997) käytettiin myös poltetun kalkin osalta.

Puuttuvat:

Vedenpuhdistuskemikaaleja, joista tietoja ei saatu ovat vesilasi, natriumkloriitti, natriumhypokloriitti, sooda ja Oulupac. Näiden osuus Tampereella käytettävistä vedenpuhdistuskemikaaleista on noin 2 painoprosenttia.

## Jäteveden käsittely

### Ferrosulfaatti:

Kahdenarvoisen rautasulfaatin valmistuksen sähköenergian ja lämmitysöljyn kulutus saatiin kirjallisuuslähteestä (Frohagen 1997).

### Polymeeri

Elinkaarialyysitiedot saatiin kirjallisuuslähteestä (Bengtsson 1997). Tiedot ovat puutteelliset, koska niistä ei käy tarkemmin ilmi mitä lukuihin sisältyy.

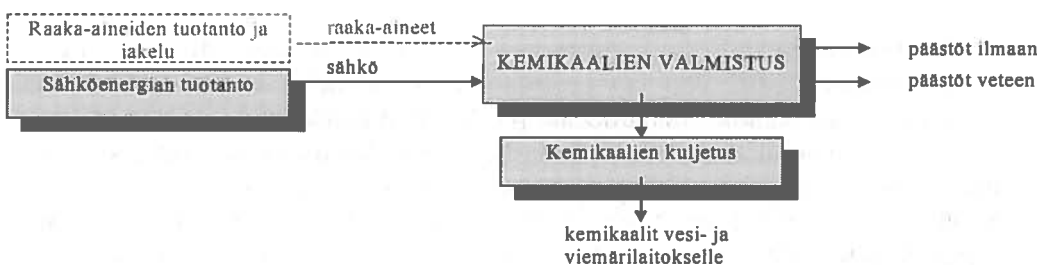
### Meesakalkki

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksella käytettävää meesakalkkia syntyy Äänekosken Metsä-Botnian massanvalmistusprosessin jätetuotteena. Meesakalkille kohdistettavasta ympäristökuormituksesta on inventaariossa mukana päästöt ilmaan (Oy Metsä-Botnia Ab, Äänekoski, A-R. Oinosen henkilökohtainen tiedonanto 2.9.1998).

### Ferrisulfaatti:

Myös ferrisulfaatti on teollisuuden jätetuote. Sen valmistuksen tietoja ei ollut käytettävissä. Sen sijaan käytettiin ferrosulfaatin valmistuksen tietoja. Hieman virhettä aiheuttaa se, että ferrisulfaatin valmistusprosessin energiankulutus on todellisuudessa suurempi kuin ferrosulfaatin (A. Jantusen henkilökohtainen tiedonanto 23.10.1998).

Kemikaalien kuljetusmuodot, etäisyydet ja kuormien koot saatiin vesi- ja viemärlaitokselta sekä kemikaalien valmistajilta ja maahantuojilta. Vesilasin kuljetus jätettiin ottamatta huomioon, koska sen kuljetustietoja ei pystytty arvioimaan. Vesilasia käytetään Kaupin laitoksella pieniä määriä ja kemikaalikuorma tuodaan harvoin. Kemikaalien käyttö ja kuljetukset vedenkäsittelyssä ja jätevedenkäsittelyssä on esitetty liitteen 2 taulukoissa 7, 8, 9, 25 ja 26. Liitteessä 3 on esitetty kemikaalien valmistuksen ja kuljetuksen energian, uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö sekä päästöt ilmaan ja veteen. Kemikaalien valmistuksen virtauskaavio on esitetty kuvassa 10.

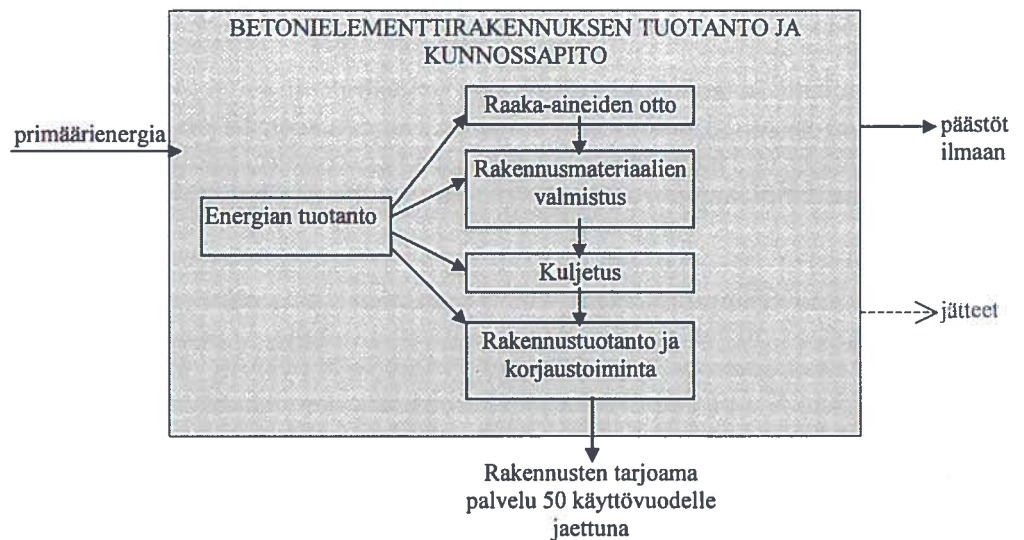


Kuva 10. Kemikaalien valmistuksen virtauskaavio. Katkoviivalla merkitty ei ole mukana inventaariossa.

## 2.2.9 Rakennusten ja putkien valmistus

Rakennusten ja putkien valmistuksen aiheuttama ympäristökuormitus selvitetiin laskemalla niiden valmistuksen suorat ja välilliset vaikutukset ja jakamalla saadut arvot kunkin kohteen käyttöiällä, jolloin saatiin yhdelle vuodelle kohdistuvat vaikutukset. Vesihuollon koneet, laitteet ja muu kalusto eivät ole mukana inventaariorissa. Niiden valmistuksen merkitys oletettiin vähäiseksi suhteessa rakennuksiin.

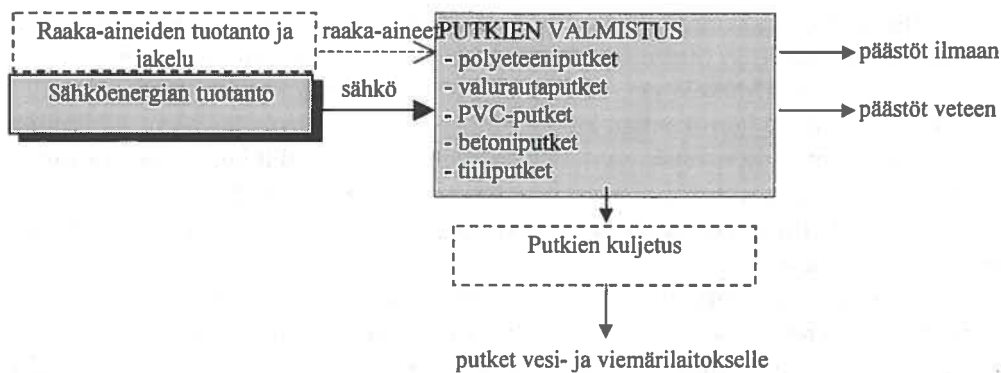
Rakennusten aiheuttamien välillisten vaikutusten karkeassa arvioissa hyödynnettiin Tampereen teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laitoksella kehitettyä rakennusten ekotaseiden laskentamallilla (Kaivonen 1997) tehtyä asuin-kerrostalon ympäristövaikutuslaskelmaa. Mukana ovat energia sekä kasvihuoneilmiötä ja happamoitumista aiheuttavat päästöt. Rakennusten tuotannon ja kunnossapidon virtauskaavio on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Rakennusten tuotannon ja kunnossapidon virtauskaavio.

Vesihuollon rakentamisessa kuluvat resurssit ja rakentamisesta aiheutuvat päästöt arvioitiin karkeasti. Vesi- ja viemärlaitokselta saatiin arvio vesi- ja viemärlaitoksen rakennuskannan tilavuudesta (H. Niemen henkilökohtainen tiedonanto 6.10.1998). Rakennusten ekotaseiden laskentamallilla on laskettu esimerkkilaskelma kerrostalon aiheuttamasta ympäristökuormituksesta (Kaivonen 1996 ja 1997). Mallista saatiin arvio kerrostalon ympäristökuormituksesta yhtä rakennuskuutiometriä kohden (liite 1, taulukko12). Tämä kerrottiin vesi- ja viemärlaitoksen rakennusten tilavuudella ja jaettiin käyttöiällä 50 vuotta, jolloin saatiin karkea arvio koko rakennuskannan rakentamisen ympäristökuormituksesta kohdistettuna yhdelle vuodelle. Rakennusten tilavuudet on esitetty liitteen 2 taulukoissa 2 ja 15.

Putkien valmistuksen ympäristökuormituksen laskemiseksi arvioitiin vesi-johto- ja viemäriverkoston putkien massat (kg) materiaaleittain, jotka kerrottiin kunkin materiaalin valmistuksen ympäristökuormitustiedoilla (kuormitus/kg). Putkien valmistuksen virtauskaavio on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Putkien valmistuksen virtauskaavio. Katkoviivalla merkitty ei ole mukana inventaariossa.

Vesijohtoverkoston putket ovat pääosin muovia (inventaariossa käsitelty HDPE:nä) tai valurautaa. Vähäinen osuus putkista on asbestisementtiä, joka on inventaariossa käsitelty valurautana. Tarkkoja tietoja putkien materiaaleista, pituuksista ja halkaisijoista ei ollut käytettävissä, joten eri putkimateriaalien massojen laskemiseksi jouduttiin käyttämään osittain arvioita. Putkien valmistuksen ympäristökuormitustiedot saatiin kirjallisuudesta. HDPE-putken valmistuksen ekotase on peräisin Bousteadin (1997) raportista, joka sisältää putken valmistuksen kaikki vaiheet aina muovin raaka-aineiden hankinnasta alkaen. Valuraudan valmistuksen tiedot saatiin Tillmanin ym. (1996) tutkimuksesta.

Viemäriverkoston putket ovat muovia (inventaariossa käsitelty PVC:nä), betonia tai lasitettua tiiliputkea. Lisäksi on vähän lasikuitu- ja valurautaputkia, jotka tässä on käsitelty tiiliputkina. Myös viemäriverkoston eri putkimateriaalien massojen laskemisessa jouduttiin käyttämään arvioita. Keskimääräiseksi putkihalkaisijaksi arvioitiin muoviputkilla noin 250 mm ja betoniputkilla noin 400 mm (Tampereen vesi- ja viemärlaitos, E. Haumeen henkilökohtainen tiedonanto 16.10.1998), mistä laskettiin eri putkimateriaalien massat. PVC-putken valmistuksen tiedot on otettu Bousteadin (1997) raportista.

Betonin valmistuksen aiheuttama ympäristökuormitus saatiin rakennusten ekotasemallista (Kaivonen 1997). Kyseessä ovat elementtibetonin valmistuksen tiedot. Tiiliputkien valmistuksen tietona käytettiin poltetun tiilen valmistuksen ympäristökuormitustietoja (Häkkinen ym. 1997). Saatu kuormitus jaettiin putkistojen käyttöiällä. Käyttöiän oletettiin vaihtelevan materiaalista riippuen ollen valuraudalla, betonilla ja tiilellä 100 vuotta ja muoviputkilla 50 vuotta. Muoviputkien todellisesta käyttöiästä ei ole vielä kokemusperäistä tietoa. Liitteen 1 taulukoissa 7 - 12 on esitetty muoviputkien, valuraudan, betonin ja tiilen valmistuksen sekä rakennusten tuotannon ja kunnossapidon ominaispäästökertoimia. Johtojen pituudet on esitetty liitteen 2 taulukoissa 4 ja 15.

## 2.2.10 Kuljetukset

Ajoneuvokuljetusten aiheuttamat päästöt saatiin LIISA-mallin kertoimien avulla. LIISA on VTT Yhdyskuntatekniikassa kehitetty laskentajärjestelmä Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskemiseksi. Inventaariossa käytettiin versiota LIISA 96, jossa laskennan perusvuotena on 1996 (liitteen 1 taulukko 3). Eri ajoneuvotyyppien keskimääräiset päästökertoimet on saatu jakamalla LIISA 96:n laskemat

kokonaispäästömäärät liikennesuoritteen (ajoneuvokilometriä vuodessa) määrällä. Kertoimet ottavat siten huomioon kylmäkäynnistyksistä ja joutokäynnistä aiheutuvan lisäpäästön. (Mäkelä ym. 1997 ja VTT Yhdyskuntatekniikka 1998)

Inventaariossa kemikaalien kuljetusmatkaksi on otettu edestakaiset kilometrit. Kemikaalien kuljetuksista saattavat huolehtia kuljetusliikkeet, jotka optimoivat kuljetukset niin, ettei autoa tarvitse ajaa tyhjänä takaisin. LIISA-kertoimet on kuitenkin laskettu keskimääräisillä kuormilla, joten tässä on perusteltua käyttää edestakaisia kilometrejä.

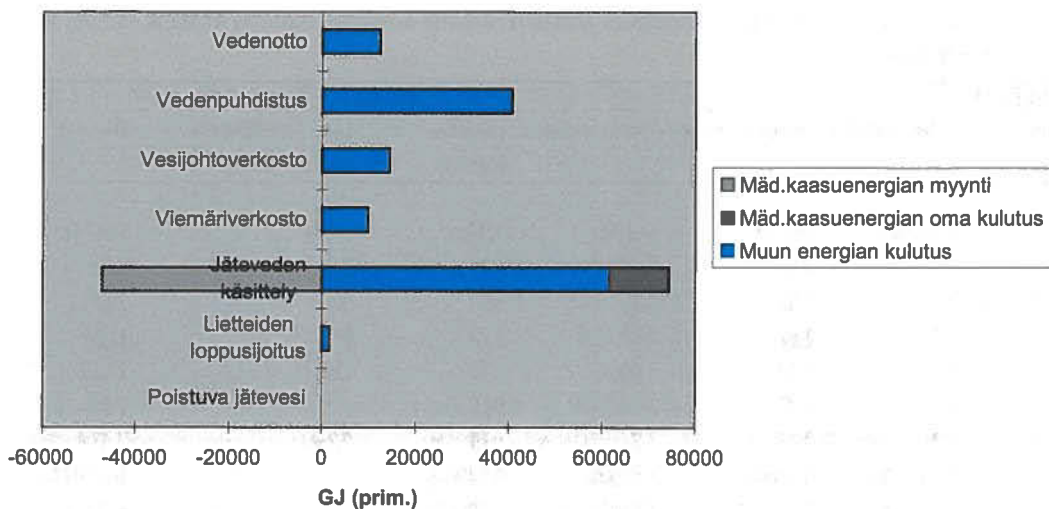
Laivaliikenteen aiheuttamina päästöinä käytettiin ruotsalaistutkimuksesta peräisin olevia tonnikilometriä kohti laskettuja ominaispäästöjä (liitteen 1 taulukko 4, Energi- och emissionsuppger för godtransporter i Sverige 1997). Rautatieliikenteen energiankulutus ja päästöt perustuvat vuoden 1996 suomalaisiin keskiarvoisiin päästöihin. Rautatiekuljetukset oletettiin hoidetun dieselvetoisilla veturijunilla. Polttoaineen (kevyen polttoöljyn) kulutus tavaraliikenteessä muodostuu vetureissa kuluvan polttoöljyn lisäksi käyttövalmiusajasta, vaihtotöistä sekä valmistus- ja lopetusajasta (liitteen 1 taulukko 5, Pussinen 1997). Liikennepolttoaineeksi oletettiin kaikkien ajoneuvojen osalta dieselöljy, jonka tehollinen lämpöarvo on 42,5 MJ/kg

## 2.3 Tulokset

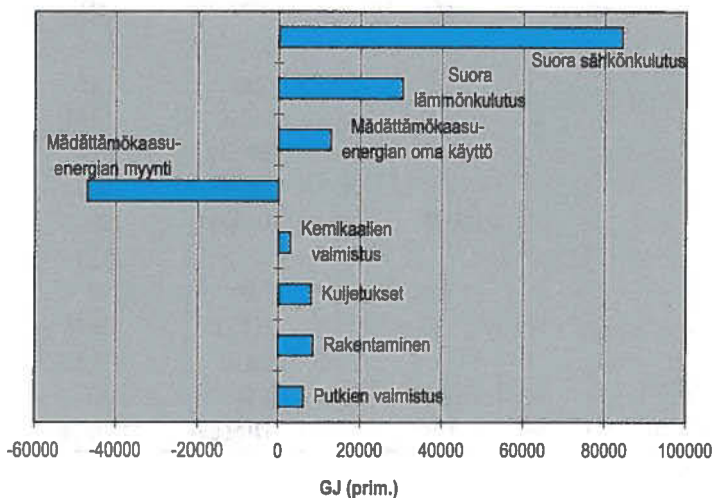
### 2.3.1 Vesi- ja viemärlaitoksen syötteet

- Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen syötteet vuonna 1996 olivat
- energiaa uusiutuvista energianlähteistä 17703 GJ (primäärienergiana), josta vesilaitoksen osuus oli 2563 GJ ja viemärlaitoksen osuus oli 15140 GJ,
  - energiaa uusiutumattomista energianlähteistä 135117 GJ (primäärienergiana), josta vesilaitoksen osuus oli 64588 GJ ja viemärlaitoksen osuus oli 70529 GJ,
  - käytetyt kemikaalit 5926 tonnia, josta vesilaitoksessa käytettiin 1240 tonnia ja viemärlaitoksessa 4686 tonnia,
  - raakavettä noin 19,4 miljoonaa m<sup>3</sup> vedenottamoille,
  - jätevettä noin 26,5 miljoonaa m<sup>3</sup> jätevedenpuhdistamoille ja
  - raakaveden mukana tulevat epäpuhtaudet ja jäteveden sisältämät ainekset.

Kuvassa 13 on esitetty vesi- ja viemärlaitoksen primäärienergiankulutus eri yksikköprosesseissa. Veden puhdistus ja jäteveden käsittely ovat suurimmat energiankäyttäjät. Tässä tutkimuksessa järjestelmään syötettyä biomassaa ei ole käsitelty kulutettuna primäärienergianlähteenä. Kuvassa 14 on esitetty energiankulutus jaoteltuina toiminnoittain.



Kuva 13. Primäärienergian kulutus ja tuotanto Tampereen vesi- ja viemärlaitoksella 1996.



Kuva 14. Primäärienergian käytön jakautuminen toiminnoittain Tampereen vesi- ja viemärlaitoksella 1996.

### 2.3.2 Vesi- ja viemärlaitoksen tuotokset

Vesi- ja viemärlaitosprosessissa syntyviä tuotoksia vuonna 1996 olivat

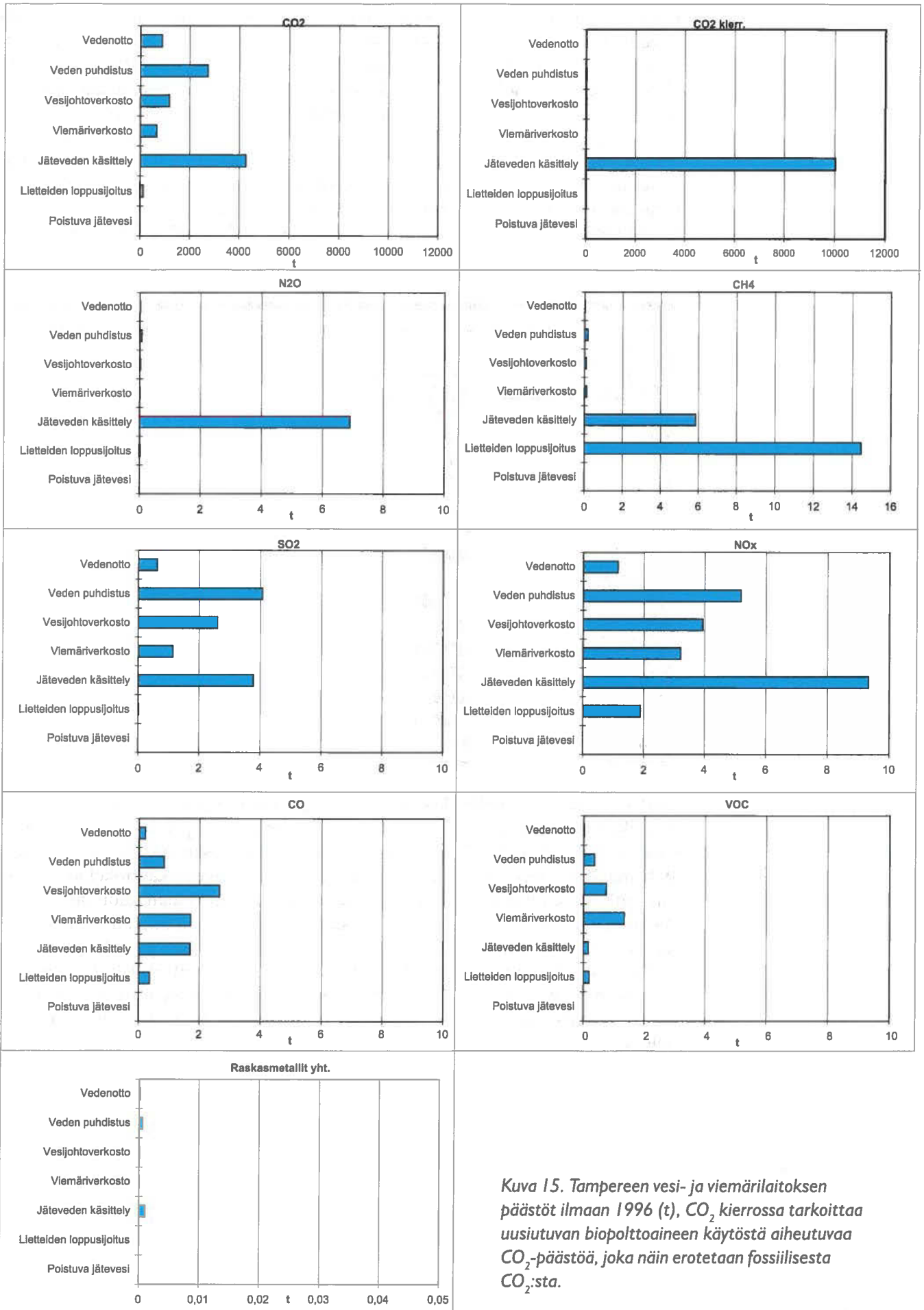
- puhdas talousvesi 18,3 miljoonaa m<sup>3</sup>,
- käsitelty jätevesi 26,5 miljoonaa m<sup>3</sup>,
- määdättämökaasusta saatu energia 59880 GJ,
- päästöt ilmaan (taulukko 2),
- päästöt vesistöön (taulukko 2) ja
- liete 34 100 m<sup>3</sup>.

Taulukko 2. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen suoraan ja välillisesti aiheuttama kuormitus ilmaan ja vesistöön vuonna 1996 (tonnia).

Päästöt (t/a)								
	Vedenotto	Veden puhdistus	Vesijohtoverkosto	Viemäriverkosto	Jäteveden käsittely	Liete	Puhdistettu jätevesi	Yhteensä
<b>Ilmaan</b>								
CO <sub>2</sub>	885,23	2728,80	1181,57	664,93	4263,42	119,71		9843,66
N <sub>2</sub> O	0,02	0,06	0,03	0,01	6,90	0,01		7,03
CH <sub>4</sub>	0,03	0,17	0,09	0,12	5,84	14,47		20,73
SO <sub>2</sub>	0,62	4,07	2,61	1,14	3,78	0,02		12,24
NO <sub>x</sub>	1,13	5,18	3,94	3,20	9,34	1,89		24,69
NM VOC	0,02	0,35	0,75	1,34	0,16	0,19		2,81
CO	0,21	0,84	2,65	1,71	1,70	0,35		7,47
As	0,000013	0,000038	0,000007	0,000004	0,000066			0,000128
Cr	0,000018	0,000056	0,000010	0,000007	0,000096			0,000187
Ni	0,000018	0,000055	0,000009	0,000006	0,000094			0,000182
Pb	0,000009	0,000027	0,000005	0,000003	0,000047			0,000091
Cd	0,000000	0,000001	0,000000	0,000000	0,000002			0,000005
Hg	0,000001	0,000003	0,000000	0,000000	0,000005			0,000009
Zn	0,000033	0,000100	0,000017	0,000012	0,000171			0,000333
Mn	0,000104	0,000316	0,000054	0,000037	0,000538			0,001048
<b>Veteen</b>								
P							11,63	11,63
N							850,93	850,93
NH <sub>4</sub> -N	0,000010		0,000076				344,61	344,61
BOD <sub>7</sub>							218,40	218,40
COD	0,000218	0,001410	0,001670		0,000187		1380,85	1380,85
Rauta							45,37	45,37
Rauta, liuennut							2,19	2,19
Kalium							650,73	650,73
Magnesium							194,82	194,82
Mangaani							6,84	6,84
Natrium							1710,00	1710,00

CO<sub>2</sub>- ja SO<sub>2</sub>- päästöt ilmaan aiheutuvat pääasiassa sähkön- ja kaukolämmönkulutuksesta. NO<sub>x</sub>-päästöjä syntyy energiantuotannon lisäksi kuljetuksissa sekä mädättämökaasun poltossa. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O ja CH<sub>4</sub> syntyvät pääosin jäteveden käsittelyprosessin suorina päästöinä ilmaan. CO-päästöjä syntyy eniten kuljetuksissa. Vesihuollossa syntyvät VOC- ja raskasmetallipäästöt ovat pienet. Vedenotosta, veden puhdistuksesta, vesijohtoverkostosta ja jäteveden käsittelystä aiheutuva vähäinen vesistökuormitus syntyy välillisesti kemikaalien ja putkien valmistuksessa.





Kuva 15. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen päästöt ilmaan 1996 (t), CO<sub>2</sub> kierrossa tarkoittaa uusiutuvan biopolttoaineen käytöstä aiheutuvaa CO<sub>2</sub>-päästöä, joka näin erotetaan fossiilisesta CO<sub>2</sub>:sta.

Kaukolämpöverkkoon toimitetun lämmöntuotannon päästöjä mädättämöllä ei ole laskettu mukaan jäteveden käsittelystä aiheutuviin päästöihin. Vaihtoehdoisen allokoinnin mukaan mädättämökaasusta tuotetulla jäteveden käsittelyn kannalta ylimääräisellä lämmöllä korvataan fossiilisesti tuotettua Tampereen kaukolämpöenergiaa. Jäteveden käsittelyä siis hyvitetään niillä kaukolämmöntuotannon päästöillä, jotka syntyisivät jos mädättämöstä saatava ylijäämälämpö tuotettaisiin Tampereen kaukolämpölaitoksilla. Tällöin kaikki mädättämön päästöt lasketaan kokonaisuudessaan jäteveden käsittelyn päästöihin. Tätä allokointia on käytetty tutkittaessa lietteiden hyödyntämisen merkitystä (luku 3.2.3). Taulukossa 3 on esitetty vaihtoehdoisella allokointitavalla jäteveden käsittelyn päästöihin tuleva muutos.

Taulukko 3. Jäteveden käsittelyn päästöihin tuleva muutos, kun mädättämökaasusta tuotettua ylijäämälämpöä vastaava energia tuotetaan Tampereen kaukolämmöllä ja näin muodostuvat päästöt vähennetään jäteveden käsittelyn päästöistä.

Vältettyä kaukolämmön tuotannosta aiheutuva muutos	
Kuormitustekijä	tonnia/v
CO <sub>2</sub>	-3598,23
N <sub>2</sub> O	0,50
CH <sub>4</sub>	0,22
SO <sub>2</sub>	-3,37
NO <sub>x</sub>	3,02
CO	1,22
As	-0,000070
Cr	-0,000102
Ni	-0,000100
Pb	-0,000050
Cd	-0,000002
Hg	-0,000005
Zn	-0,000182
Mn	-0,000574
NM VOC	0,31

Lietteen käyttö maanviljelyksessä korvaa väkilannoitteiden käyttöä. Taulukossa 4 on laskettu vaikutusarvioinnin kannalta merkittävimmät päästöt, jotka aiheutuisivat lietteellä korvatusen lannoitteen valmistuksesta. Laskelma perustuu vuonna 1996 maanviljelykseen käytetyssä lietteessä olevaan kasvelle käyttökelpoisen fosforin määrään. Lietteen fosforimäärä edellyttäisi 2,8 miljoonan kilon lannoitusta Pellon Y5 -lannoitteella, jossa on 5 % fosforia. Pellon Y5-lannoitteen ominaispäästöt on saatu Kemiralta. Laskelma on teoreettinen ja saatu tulos pyrkii vain havainnollistamaan lietteiden sisältämien ravinteiden arvoa. Lietteen käyttö ei korvaa kokonaan väkilannoitteita, vaan lietteellä lannoitettuihin peltoihin on lisäksi käytettävä typpilannoitusta. Valittu lannoite (Pellon Y5) ei myöskään sovellu kaikille pelloille.

Taulukko 4. Lietteellä korvatu lannoitteen valmistuksesta aiheutuvat merkittävimmät päästöt (tonnia).

Lietteellä korvatu lannoitteen valmistuksen päästöt	
Kuormitustekijä	tonnia/v
CO <sub>2</sub>	1119,96
N <sub>2</sub> O	2,98297
CH <sub>4</sub>	0,18743
SO <sub>2</sub>	1,80783
NO <sub>x</sub>	0,49655
NH <sub>3</sub>	0,05705
CO	0,64873
As	0,00000
Cr	0,00002
Pb	0,00002
Cd	0,00000
Mn	0,00001
NM VOC	0,01162
NH <sub>4</sub> (w)	0,00003
N(w)	0,07721
COD(w)	0,06425
BOD(w)	0,00832

### 2.3.3 Jäteveden käsittelyn tehostaminen

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen suunnitelmia jäteveden käsittelyn tehostamiseksi ovat ympärivuotisen nitrifikaation toteuttaminen sekä kokonaistypen nykyistä tehokkaampi poisto Viinikanlahden ja Raholan puhdistamoilla. Käsittelyn tehostamisen aiheuttama muutos ympäristökuormitukseen arvioitiin Suunnitelukeskuksen (1997) tekemän nitrifikaatioselvityksen perusteella. Tarkastelussa on mukana nitrifikaation ja denitrifikaation aiheuttama

- sähkönkulutus ja sähköntuotannon päästöt ilmaan,
- kaukolämmönkulutus ja kaukolämmöntuotannon päästöt ilmaan,
- kalkinkulutus (kalkin määrä, kalkin valmistuksen aiheuttama kuormitus ja kalkin kuljetuksen päästöt ilmaan) ja
- vesistökuormitus.

Jälkisuodatuslaitosten rakentamisen aiheuttama ympäristökuormitus ei ole mukana laskuissa. Myöskään nitrifikaation/denitrifikaation aiheuttamia vaikutuksia mädätysprosessiin ei ole tarkasteltu (esimerkiksi mahdollinen lietteen määrän väheneminen). Toteutettavilla toimenpiteillä pystyttäisiin täyttämään tiukentuvat lupaehtot. Suunnitelmien mukaan päästään taulukon 5 mukaiseen puhdistustulokseen.

Taulukko 5. Jäteveden käsittelyn tehostamiselle asetetut puhdistustulostavoitteet (mg/l). Suluissa on vuoden 1996 puhdistustulos.

Kuormitustekijä	Jätevedenpuhdistamo			
	Viinikanlahti		Rahola	
	mg/l		mg/l	
BOD <sub>5</sub> (ATU)	8	( 7,9)	10	(9,7)
fosfori	0,4	( 0,41)	0,4	(0,46)
ammoniumtyppi	4	(12)	4	(22)
typpi	20	(30)	25	(40)

Viemärlaitoksen arvion mukaan puhdistustulos typenpoistotoimenpiteiden jälkeen tulee olemaan hyvin lähellä raja-arvoja (R. Vesolan henkilökohtainen tiedonanto 4.11.1998). Näin ollen tässä tarkastelussa laskettaessa vesistökuormitusta käytettiin ammoniumtypen osalta raja-arvoa 4 mg/l ja BOD<sub>7</sub>:n ja fosforin osalta vuoden 1996 toteutuneita pitoisuuksia, jotka ovat hyvin lähellä uusia raja-arvoja. Taulukossa 6 on esitetty ympäristökuormituksen muuttuminen vuoden 1996 tiedoista, jos nitrifikaatio/denitrifikaatio toteutettaisiin Viinikanlahden ja Raholan puhdistamoilla.

Taulukko 6. Nitrifikaation ja denitrifikaation toteuttamisesta Tampereen jätevedenkäsittelyssä aiheutuva muutos ympäristökuormitukseen vuoden 1996 kuormitukseen verrattuna.

	Nitrifikaatio	Denitrifikaatio
<b>Energia (GJ prim.)</b>	5980,14	3934,24
<b>Päästöt ilmaan (t)</b>		
CO <sub>2</sub>	414,24	276,59
N <sub>2</sub> O	0,01	0,01
CH <sub>4</sub>	0,02	0,01
SO <sub>2</sub>	0,31	0,22
NO <sub>x</sub>	0,58	0,37
CO	0,11	0,06
VOC	0,01	0,00
As	0,000006	0,000005
Cr	0,000009	0,000007
Ni	0,000009	0,000006
Pb	0,000005	0,000003
Cd	0,000000	0,000000
Hg	0,000000	0,000000
Zn	0,000017	0,000012
Mn	0,000053	0,000037
Hiukkaset	0,05	0,03
<b>Päästöt veteen (t)</b>		
BOD	0,00	0,00
P	-1,05	-1,05
NH <sub>4</sub> -N	-237,63	-237,63
N (kok.)		-188,56
<b>Kalkin määrä (t)</b>	507,00	33,00

### 2.3.4 Inventaarion luotettavuuden arviointi

Vesihuollon ympäristökuormituksen kannalta merkittävimmät vaiheet on selvitetty inventaariossa. Yksikköprosesseista talousveden puhdistus ja jäteveden käsittely ovat merkittävimpiä energiankulutuksen ja sitä kautta myös päästöjen ilmaan kannalta. Käsitellyn jäteveden aiheuttama vesistökuormitus on keskeinen ympäristökuormittaja. Jätevesilietteen mädätyksen merkitys Tampereen vesihuollon energiankulutuksessa on suuri. Energiaa hukattaisiin, jos mädätystä ei olisi ja liete ohjattaisiin esimerkiksi suoraan kompostoitavaksi.

Inventaariotutkimuksessa Tampereen vesihuollon aiheuttama ympäristökuormitus on saatu suurimmalta osaltaan selvitettyä kokonaisarvioinnin kannalta riittävällä tarkkuudella ja luotettavuudella. Pääosa tiedoista perustuu Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen vuosikertomuksen mitattuihin ja luotettaviin tietoihin. Suurin epävarmuus inventaariossa oli kemikaalien ja putkien valmistuksen aiheuttama välillinen ympäristökuormitus. Tämä johtui puutteellisista lähtötiedoista kemikaalien valmistuksen sekä putkimateriaalien massojen osalta.

## Vaikutusarviointi

### 3.1 Vaikutusarvioinnin toteutus

Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena on valottaa vesihuollon ja erityisesti jätevesien käsittelyn ympäristörasittavuutta suhteessa käsitellyn jäteveden vaikutuksiin. Pelkän inventaarion avulla ei voida tehdä arviota esimerkiksi ilmaan ja veteen joutuvien päästöjen välisestä merkittävyydestä. Inventaariotietojen tulkintaa varten elinkaariarvioinnissa on kehitetty vaikutusarviointimenettelyä, jossa arvioidaan inventaariossa selvitettyjen päästöjen ja mahdollisten muiden ympäristökuormitustekijöiden potentiaalisia vaikutuksia ympäristöön. Potentiaalisilla ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan tuloksia, jotka indikoivat ympäristövaikutuseroja erilaisten tarkasteltavien systeemien välillä. Ne eivät siis kuvaa todellisia vaikutuksia.

Elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnissa pyritään ottamaan huomioon nykyinen tietämys ympäristökuormitustekijöiden vaikutuksista. Päästöjen ja maankäyttöön liittyvien kuormitustekijöiden vaikutuksia ympäristössä ei tunneta kuitenkaan kaikilta osin riittävästi. Lisäksi erilaisten vaikutusten samanaikaiseen käsittelyyn liittyy metodologisia vaikeuksia, minkä takia yleisesti hyväksytyjä menetelmiä, joilla inventaariotietoja voidaan arvioida johdonmukaisesti ja tarkasti ympäristövaikutusten näkökulmasta, ei vielä ole.

Kansainvälisessä elinkaariarvioinnin standardisoinnissa (ISO 2000) vaikutusarvioinnin kehitystyön pohjaksi on otettu seuraavaksi esitettävä menettelytapa. Vaikutusarvioinnin ensimmäisenä vaiheena on *luokittelu*, jossa inventaariossa kerätyt kuormitustekijät jaotellaan erikseen määriteltyihin vaikutusluokkiin tiedossa olevien syyseuraussuhteiden perusteella. *Luonnehinnassa* eli *karakterisoinnissa* luokitellut tiedot lasketaan yhteen kussakin vaikutusluokassa, jolloin tulokseksi saadaan kunkin vaikutusluokan vaikutuksia kuvaava vaikutusluokkaindikaattoriluku. Näiden lukuarvojen perusteella voidaan jo tehdä johtopäätöksiä erilaisten systeemien ja vaihtoehtojen merkityksestä ko. vaikutusluokkien seurausten aiheuttajana. Tulosten tulkinnan helpottamiseksi voidaan edelleen tehdä *normalisointi*, jossa karakterisoinnissa lasketut vaikutusluokkaindikaattoriarvot jaetaan jonkin tietyn alueen vastaavilla vaikutusluokkaindikaattoriarvoilla. Normalisoinnin perusteella nähdään, mihin vaikutusluokkiin tarkasteltavalla systeemillä on suurin vaikutus. Erilaisten vertailujen helpottamiseksi saattaa olla aiheellista tehdä *painotus*, jossa eri vaikutusluokkien tiedot on yhdistetty kokonaishaittapisteeksi.

Vaikutusluokkien valintaan, karakterisointiin ja normalisointiin sisältyy runsaasti valintoja ja epävarmuustekijöitä. Vaikutusarvioinnin kiistelyin vaihe on kuitenkin tietojen yhdistäminen kokonaisarvioksi. Vaikutusluokkien painojen määrittäminen eli *arvottaminen*, joka on edellytys kokonaisarvioinnin tekemiselle, perustuu käytännössä subjektiiviseen näkemykseen eri vaikutusluokkien keskinäisestä merkityksestä. Yleisesti voidaankin sanoa, että vaikutusarvioinnin tulos on sitä herkempi kritiikille, mitä lähempänä se on kokonaisarviota. Usein vaikutusarviointi rajoitetaankin vain karakterisointivaiheeseen. Toisaalta tulosten tul-

kinta ja lopullisten johtopäätösten teko edellyttää tavalla tai toisella eri vaikutusluokkatietojen yhdistämistä. Kokonaisarviointin lopputuloksen luotettavuutta voidaan selvittää ja ymmärrettävyyttä parantaa herkkyysanalyysien avulla.

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen vaikutuksia ympäristöön arvioidaan päätösanalyysiin perustuvalla vaikutusarviointimallilla (DAIA=Decision Analysis Impact Assessment) (Seppälä 1997, Seppälä 1999a) ja elinkaariohjelmistoissa yleisesti käytetyllä hollantilaisella Ekoindikaattori 95-mallilla (Goedkoop 1995). Kumpikin menetelmä noudattaa edellä esitettyjä vaikutusarviointin vaiheita ja lopputulokseksi voidaan laskea kokonaisarvioita kuvaavat haittapisteet. Ekoindikaattori 95-mallilla tarkasteltavan systeemin  $a$  kokonaishaittapisteet ( $V(a)$ ) lasketaan seuraavasti:

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{I_i(a)}{N_i} = \sum_{i=1}^n w_i \frac{\sum_{j=1}^m k_{i,j} * x_{i,j}(a)}{\sum_{j=1}^m k_{i,j} * x_{i,j}^N}$$

missä

$w_i$  = vaikutusluokan  $i$  (esim. rehevöityminen) paino,

$n$  = vaikutusluokkien lukumäärä,

$I_i(a)$  = systeemin  $a$  aiheuttama indikaattoriarvo vaikutusluokassa  $i$  (esim. rehevöitymisessä),

$N_i$  = vaikutusluokan  $i$  normalisointitekijä (esim. Suomen rehevöittävät päätöt),

$k_{i,j}$  = vaikutusluokan  $i$  kuormitustekijän  $j$  (esim. fosfori) karakterisointikerroin,

$m$  = kuormitustekijöiden  $j$  lukumäärä,

$x_{i,j}(a)$  = systeemin  $a$  aiheuttama vaikutusluokan  $i$  kuormitustekijän  $j$  arvo (esim. fosforipäästön määrä),

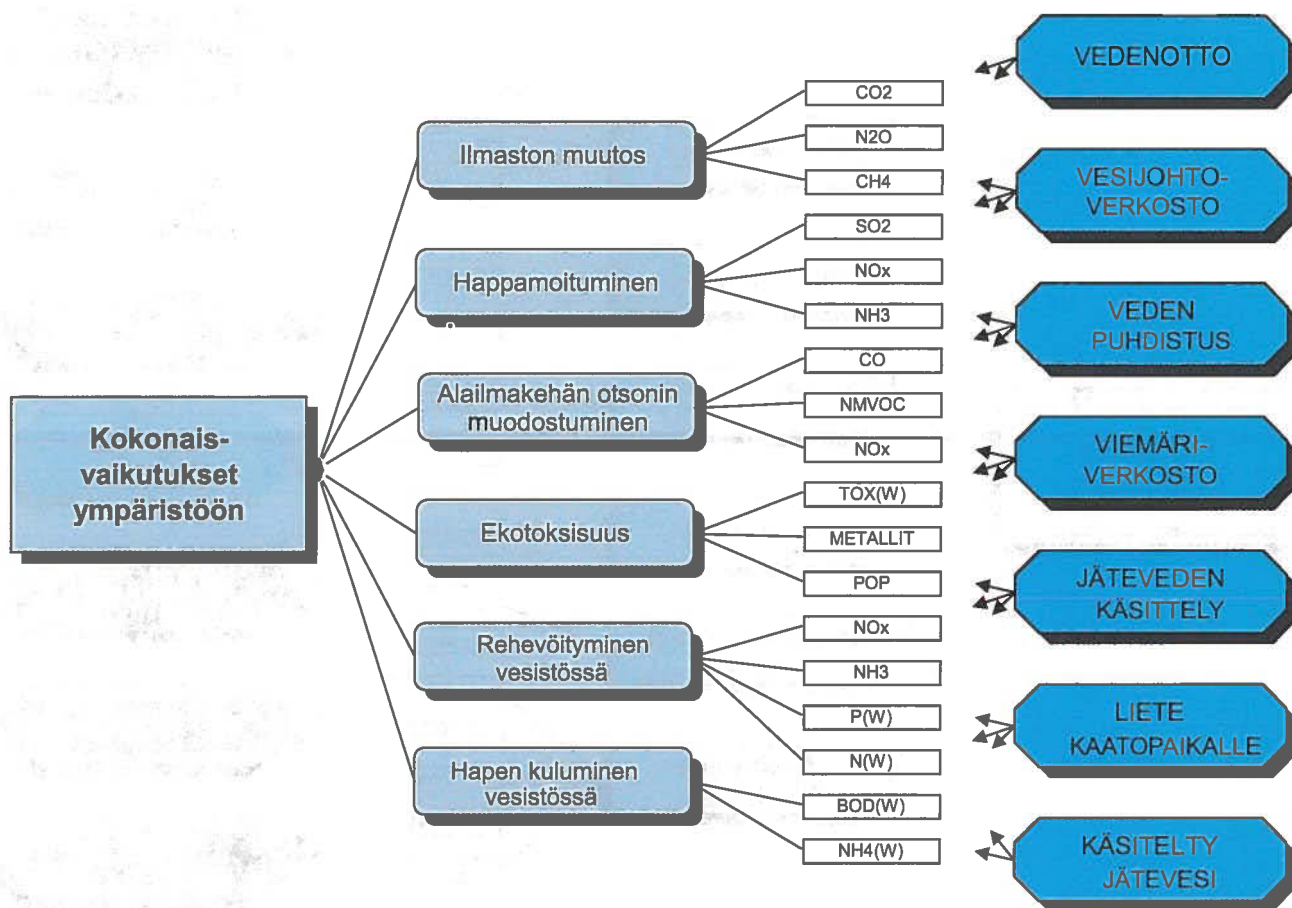
$x_{i,j}^N$  = vaikutusluokan  $i$  kuormitustekijän  $j$  normalisoinnissa käytetty kokonaismäärä (esim. Suomen fosforipäästön määrä).

DAIA-mallissa käytetään samaa edellä esitettyä yhtälöä kokonaisvaikutusten arviointiin. Karakterisointitermi eroaa kuitenkin yhtälöstä siten, että DAIA-mallissa se riippuu myös tietyllä tavalla päästölähteestä eli merkinnän  $k_{i,j}$  sijasta siinä käytetään merkintään  $k_{i,j}(a)$ . Vastaavasti normalisointitekijän laskennassa käytetty karakterisointikerroin vaihtelee kulloisenkin kokonaispäästön maantieteellisen rajauksen mukaan. Asiaa selitetään yksityiskohtaisemmin kohdissa 3.1.2. ja 3.1.3

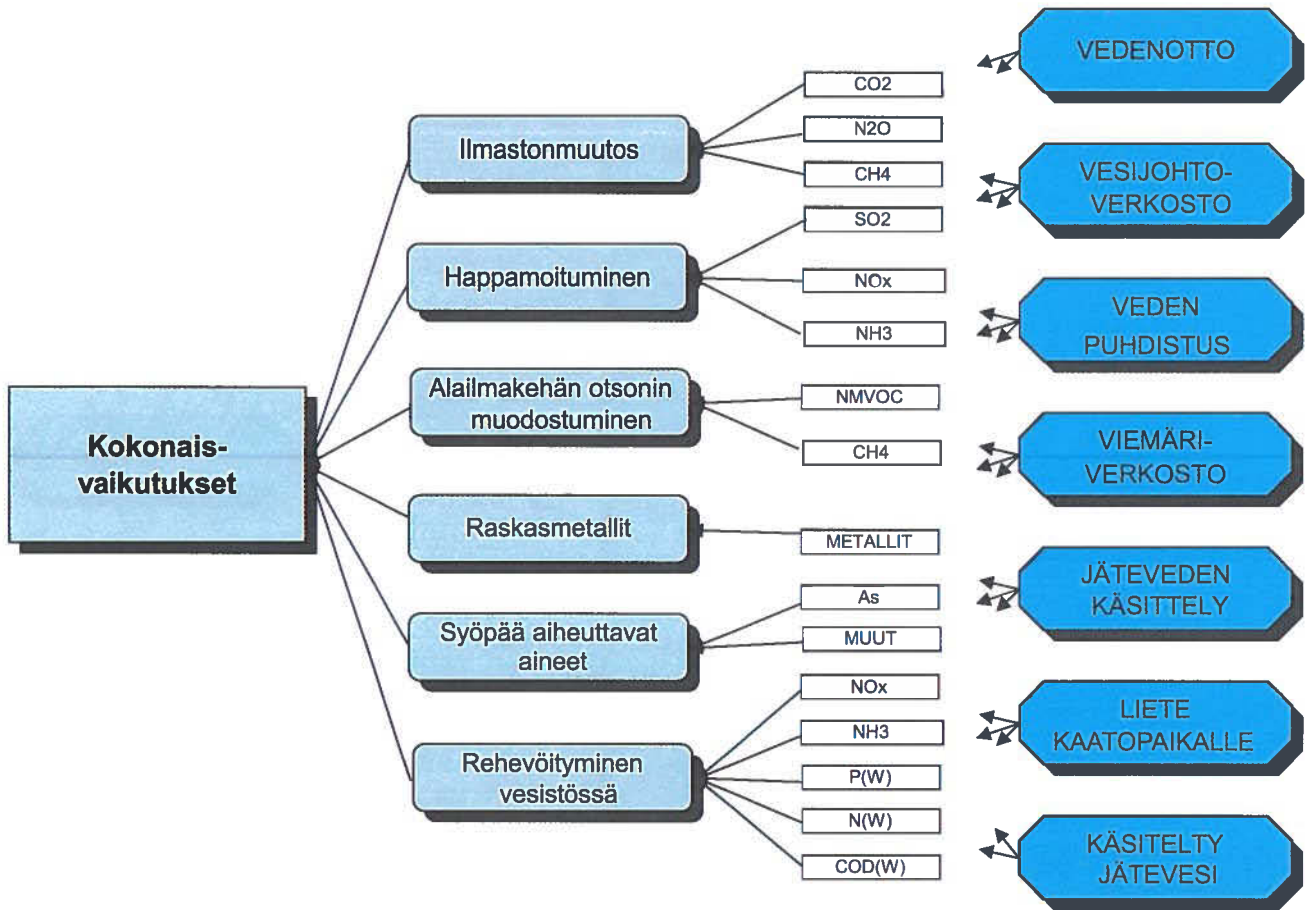
### 3.1.1 Luokittelu

Tampereen vesi- ja viemärlaitostoiminnan aiheuttamat päästöt jaotellaan vaikutusluokkiin sen mukaan, miten niiden tiedetään aiheuttavan vaikutuksia ympäristöön ja miten vaikutusluokat on määritelty. Sekä DAIA että Ekoindikaattori-95 pitävät sisällään oletusvaikutusluokat, jotka ovat olleet myös lähtökohtana Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen aiheuttamien ympäristövaikutusten selvittämisessä.

Seuraavassa luokittelua lähestytään arvopuun avulla, jossa vaikutusarviointiongelma kuvataan hierarkiana (kuvat 16 ja 17). Käsiteltävä ongelma jaetaan hierarkiatasoille, joissa alemmalla tasolla olevat tekijät selittävät ylemmän tason tekijöitä. Eri hierarkian tason tekijöitä määrättäessä on pyrittävä siihen, että osatekijät todella selittävät ylemmän tason merkitystä ja kattavat kaikki ylemmän tekijän ominaisuudet, jotka ovat päätöksen kannalta relevantteja. Hierarkian samalla tasolla olevat tekijät määritellään siten, että ne eivät ole sisällöltään päällekkäisiä ja ne ovat myös toisistaan riippumattomia.



Kuva 16. Vesi- ja viemärlaitoksen ekologisten vaikutusten hierarkia DAIA-mallissa. Kuormitustekijöistä on käytetty seuraavia lyhenteitä: CO<sub>2</sub> = hiilidioksidi (fossiilinen), N<sub>2</sub>O = typioksiidi, CH<sub>4</sub> = metaani, SO<sub>2</sub> = rikkidioksidi, NO<sub>x</sub> = typen oksidit, NH<sub>3</sub> = ammoniakki, CO = hiilimonoksidi, NM<sub>1</sub>VOC = haihtuvat orgaaniset yhdisteet (ilman metaania), TOX(W) = myrkyllisyyttä aiheuttavat päästöt veteen (mm. klooriyhdisteet, fenolit, hartsihapot, raskasmetallit), METALLIT = As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn ilmaan, POP = pysyvät orgaaniset yhdisteet ilmaan (mm. PAH, pentakloorifenolit, dioksiinit), P(W) = kokonaisfosfori veteen, N(W) = kokonaistyyppi veteen, BOD(W) = biologinen hapenkulutus, NH<sub>4</sub>(W) = ammoniumtyppi veteen.



Kuva 17. Vesi- ja viemärilaitoksen ympäristövaikutusten hierarkia Ekoindikaattori -95 -mallissa. (As = arseeni, MUUT = mm. bentseeni, PAH, Cr, Ni, terva, bentsopyreeni, fluranteeni, COD(W) = kemiallinen hapen kulutus, muut lyhenteet samat kuin kuvassa 16)

Tampereen vesi- ja viemärilaitos on jaettu toiminnallisiin perustein viiteen vaiheeseen, joista kustakin aiheutuu päästöjä ympäristöön. Lisäksi jätevesilietteen kaatopaikkasijoitus ja käsitelty jätevesi muodostavat oman päästöjä ympäristöön aiheuttavan vaiheensa. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen ympäristöä muuttavat ja kuormittavat vaiheet muodostavat hierarkian alimman tason. Ympäristövaikutusluokkia selittävät tekijät, Tampereen vesi- ja viemärilaitostoininnan eri vaiheissa syntyvät päästöt, kytkeytyvät DAIA:ssa kuvan 16 mukaisesti vaikutusluokkiin, joista seuraavassa lyhyet kuvaukset (muunneltu Seppälä 1997) :

### Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos tarkoittaa ns. kasvihuonekaasujen aiheuttamaa ilmakehän lämpenemistä. Kasvihuonekaasujen määrän lisääntyminen ilmakehässä aiheuttaa maan lämpösäteilyn absorboitumisen lisääntymistä ilmakehään, mistä on seurauksena ilmaston lämpeneminen maapallolla. Tarkasteluun otetaan mukaan vain ns. suorat kasvihuonekaasut (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CFC -yhdisteet). Ilmaston lämpeneminen on keskeisimpiä globaaleja ympäristöongelmia. Ilmaston lämpenemisen vaikutuksia on mahdoton ennustaa tarkasti, mutta on selvää, että ilmaston lämpeneminen saa aikaan merkittäviä muutoksia eri ekosysteemeissä. Suomen osuus maailman antropogeenisten kasvihuonekaasujen päästöistä on noin 0,2 %.



## Happamoituminen

Typen ja rikin oksidit ilmakehässä aiheuttavat happamoittavaa laskeumaa, joka voi muuttaa maaperän ja vesistöjen happamuutta ja edelleen vaikuttaa kasvillisuuteen ja eläimistöön. Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Kullakin alueella on alueelle ominainen kyky vastustaa happamoittavaa laskeumaa (ts. neutraloida vetyioneja). Tätä ominaisuutta kutsutaan puskurikyvyksi. Puskurikyky vaihtelee muun muassa alueen geologisten olojen mukaan. Suomi ja muut Pohjoismaat ovat herkkiä happamalle laskeumalle. Happamoittavien päästöjen vaikutusten laajuus on sekä alueellinen että mantereellinen.

Happamoituminen vaikuttaa muun muassa metsäkasvuun ja pienten vesiekosysteemien pH-tasoon. Erityisen uhanalaisia ovat latvapurojen eliölajit, metsäjärvet ja karujen metsien kasvillisuus. Kriittiset kuormitukset ylittyvät vielä usealla paikalla Suomessa. Kriittisellä kuormituksella tarkoitetaan suurinta mahdollista laskeumaa, joka ei pitkälläkään aikavälillä aiheuta haitallisia muutoksia ekosysteemin oleellisissa ominaisuuksissa.

## Otsonin muodostuminen alailmakehässä

UV-valon vaikutuksesta typen oksidit reagoivat VOC-yhdisteiden kanssa muodostaen terveydelle haitallisia foto-oksidantteja. Foto-oksidantteina käsitellään tässä yhteydessä vain alailmakehän otsonia, mikä vastaa yleistä käytäntöä. Muiden oksidanttien osalta tiedot ovat liian puutteellisia. Otsonin muodostuminen johtuu meteorologisista olosuhteista ja lähinnä alailmakehän CO-, NO<sub>x</sub>- ja VOC-pitoisuustasosta. Suomessa ja laajoilla alueilla Euroopassa NO<sub>x</sub>-pitoisuuksilla on suurempi merkitys kuin VOC-pitoisuuksilla otsonin muodostumisen kannalta.

Suomessa havaittavat otsonipitoisuudet ovat keskimäärin korkeita (30-50 g/m<sup>3</sup>) Keski-Eurooppaan verrattuna. Sen sijaan meillä ei ole esiintynyt eteläisempien maiden suurkaupungeille tyypillisiä lyhytaikaisia, erittäin korkeita otsonipitoisuuksia (300-500 g/m<sup>3</sup>). Myös Suomen tiheään asuttujen alueiden päästöistä voi suotuisissa olosuhteissa kesällä muodostua otsonia, mutta eniten maasamme havaittuihin korkeisiin otsonipitoisuuksiin vaikuttaa kaukokulkeutuminen. Otsonin muodostumista voidaan tarkastella paikallisena ja alueellisena ongelmana.

Otsoni heikentää metsän kasvua ja aiheuttaa viljelyksillä satotappioita. Samoin hengitysilmassa esiintyy usein otsonipitoisuuksia, joilla terveyshaitat ovat mahdollisia. Vaikutusten kvantifiointi ja ylipäättänsä foto-oksidantteihin liittyvä tutkimuskenttä on kuitenkin vielä voimakkaassa kehitysvaiheessa.

## Ekotoksisuus

Ekotoksisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä myrkyllisyysvaikutuksia eliöille, joita ympäristölle vaarallisten kemikaalit aiheuttavat ekosysteemeissä. Eliöille myrkyllisyysvaikutukset voivat olla joko akuutteja tai kroonisia. Akuutilla myrkyllisyydellä tarkoitetaan huomattavia haittavaikutuksia, jotka aiheutuvat eliöille lyhytaikaisessa altistuksessa. Kroonisella tarkoitetaan myrkyävaikutusta, joka on a) seurausta altistuksesta, joka kestää eliön keskimääräisestä elinajasta suuren osan tai sen kokonaan, b) ilmenee vasta pitkän ajan kuluttua altistuksen jälkeen.

Ekotoksisuus on jaettu kolmeen ryhmään: 1) terrestrinen, krooninen, 2) akvaattinen, krooninen, 3) akvaattinen, akuutti. Koska onnettomuustilanteet rajataan tarkastelun ulkopuolelle, ei akuuttia terrestristä vaikutusluokkaa ole mukana. Lähtökohtana on siis oletus, että jatkuvat päästöt ilmaan eivät sisällä myrkyllisiä aineita sellaisissa pitoisuuksissa, että ne aiheuttaisivat akuutteja myrkyllisyysvaikutuksia. Akuutti myrkyllisyys vesiekosysteemeissä on luonteeltaan paikallista. Akvaattinen kroonista myrkyllisyyttä voi esiintyä paikallisella tai alueellisella tasolla. Kroo-

ninen terrestrinen myrkyllisyys voi olla paikallinen, alueellinen ja jopa mantereellinen ympäristöongelma tarkasteltavasta aineesta riippuen. Akuuttia akvaattista myrkyllisyyttä lukuun ottamatta ekotoksisuuteen liittyvä ongelma on vaikeasti kvantifioitavissa. Monimutkaiset syy- ja seuraussuhteet aiheuttavat erittäin suuria epävarmuuksia vaikutusarvioissa.

### Rehevöityminen

Ravinteiden (typpi ja fosfori) johtaminen vesistöihin tai maahan lisää biomassan tuotantoa. Vesistöissä se johtaa happikatoon, joka vaikuttaa korkeimpiin eliöihin kuten kaloihin. Sekä maalla että vesissä rehevöityminen aiheuttaa ei-toivottuja muutoksia ekosysteemin monimuotoisuuteen. Rehevöitymistä tarkastellaan vain vesiekosysteemin kannalta. Terrestrisessä ympäristössä tapahtuvaa rehevöitymistä ei oteta huomioon, koska sen oletetaan olevan Suomessa ongelmana vähäinen.

Veden rehevöitymisellä tarkoitetaan vesiekosysteemin häiriintymisestä johtuvaa veden eliöstön lisääntynyttä kasvunopeutta. Peruskriteerinä pidetään kasviplanktonin ja korkeampien vesikasvien lisääntynyttä tuotantoa (mitattuna tavallisimmin veden a-klorofyllipitoisuutena). Vesiekosysteemin lisääntyvän tuotannon seurauksena kuolleitten eliöiden hajoamiseen kuluu yhä enemmän happea. Vesiekosysteemin tuotannosta aiheutuva hapen kuluminen on rehevöitymisongelmassa mukana. Rehevöitymistä voidaan pitää paikallisena ja alueellisena ongelmana. Voimakkaita vaikutuksia esiintyy sisävesillä ja rannikkovesialueilla.

### Hapen kuluminen

Vesistöön tuleva orgaanisen aines aiheuttaa välitöntä hapen kulumista vesistöissä. Orgaanisen aineen kuormitusta kuvataan joko kemiallisesti hajoavan happea kuluttavan aineen (COD) tai biologisesti hajoavan happea kuluttavan aineen (BOD) kuormitustiedoilla. Ravinnekuormituksen aiheuttama sekundäärinen hapen kuluminen ei ole mukana tässä vaikutusluokassa vaan se kuuluu vaikutusluokkaan "Rehevöityminen".

Globaalia vaikutusluokkaa "Otsonikato" ei ole mukana arvioinnissa, koska vesi- ja viemärlaitostoiminnan ei tiedetä aiheuttavan otsonia tuhoavia aineita (esim. CFC-, ja HCFC-yhdisteet, halonit, metyylibromidi, hiilitetrakloridi ja 1,1,1-trikloorietaani).

Alkuperäisessä DAIA-mallissa esiintyvää vaikutusluokkaa "Monimuotoisuuden väheneminen" ei olla myöskään sisällytetty arviointiin. Tällä vaikutusarviointiluokalla on tarkoitettu monimuotoisuusvaikutuksia, jotka syntyvät suorien fyysisten toimenpiteiden (esim. rakentaminen, vedenkorkeuden muuttaminen, metsän raivaus) seurauksena. Luonnon monimuotoisuus eli biodiversiteetti tarkoittaa kaikkea elollisen luonnon eri tasoilla esiintyvää vaihtelua. Käsite jaetaan kolmeen osaan: lajin sisäiseen geneettiseen vaihteluun, lajirunsauteen ja ekosysteemien moninaisuuteen. Monimuotoisuuden muutoksia aiheuttavat tekijät ovat vaikeasti kvantifioitavissa. Tässä työssä on lähdetty oletuksesta, että Tampereen vesi- ja viemärlaitostoiminnan maankäyttöön ja pohjaveden ottoon liittyvät monimuotoisuutta vähentävät toimenpiteet ovat merkityksettömiä. Sen sijaan rehevöitymistä tai ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen välilliset monimuotoisuusvaikutukset on sisällytetty luokkiin "Rehevöityminen" ja "Ilmastonmuutos".

Luonnonvarojen käyttö muodostuu sekä uusiutuvien että uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen luonnonvarojen käyttöä on selvitetty, mutta vaikutustarkasteluun niitä ei ole kuitenkaan otettu mukaan. Myös laitoksen vaikutukset ihmisten terveyteen, viihtyvyyteen ja luonnon monikäyttöön (esimerkiksi marjastus, kalastus ja ulkoilu) sekä päästöjen terveysvaikutukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle DAIA-mallista. Viihtyvyystekijöistä kuten haju ja melu ei ole Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen osalta käytettävissä riittäviä havaintoja ja mittauksia. Luonnon monikäyttövaikutukset taas

ovat erittäin vähäisiä. Yhteenvetona DAIA-mallista voidaan sanoa, että tässä tutkimuksessa sillä käsitellään vain Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen ekologisia vaikutuksia.

Ekoindikaattori 95 -mallin mukainen arvopuu on esitetty kuvassa 17. Päästöt on luokiteltu 6 vaikutusluokkaan, joista 3 on määritelty samoiksi kuin DAIA:ssa (ilmastonmuutos, happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostuminen). Ekoindikaattorissa 95 -mallissa ei ole ekotoksisuudelle vaikutusluokkaa. Raskasmetallit on Ekoindikaattori 95:ssä käsitelty omana luokkana, jonka määrittely pohjautuu terveysvaikutuksiin (ks. kohta 3.1.2). Syöpää aiheuttavat aineet muodostavat myös oman terveysperusteisen vaikutusluokkansa. Vaikutusluokan "rehevöityminen" käsittely eroaa DAIA:n vastaavasta siten, että orgaaninen vesistökuormitus on sisällytetty rehevöitymisluokkaan. Erillistä luokkaa hapen kulumiselle vesistöissä ei siis Ekoindikaattori 95:ssä ole.

Ekoindikaattori 95 -mallin oletusvaikutusluokista "Otsonikato" ja "Pestisitit" on jätetty pois, koska ko. vaikutuksia aiheuttavia päästöjä ei aiheudu vesi- ja viemärlaitostoiminnasta. Alkuperäisessä Ekoindikaattori 95:ssä on myös vaikutusluokka "Talvisumu", joka on jätetty Tampereen vesi- ja viemärlaitossovelluksesta pois. Poisjättämistä puoltaa se, ettei ko. ympäristöongelmaa esiinny Pohjois-Euroopassa eikä Suomesta peräisin olevat rikkidioksidi- ja nokipäästöt pääse talvisumua aiheuttavassa muodossa Keski-Eurooppaan.

### 3.1.2 Karakterisointi

Vaikutusluokkien mukaiset päästöt yhdistetään vaikutusluokkaindikaattoriarvoiksi karakterisointikerrointen avulla. Päästöt kerrotaan karakterisointikertoimilla ja lasketaan yhteen jokaisessa mukana olevassa vaikutusluokassa (ks. kohdan 3.1 yhtälö). DAIA-mallin perusajatuksena on, että karakterisointikertoimien määrittelyssä otetaan huomioon karkealla tavalla päästöjen kulkeutumiseen ja vaikuttavuuteen ympäristössä liittyviä alueellisia ja paikallisia tekijöitä. Koska Tampereen sovelluksen päästöt tapahtuvat Suomessa, päästöjen karakterisointikertoimet on sidottu Suomesta tapahtuvien päästöjen vaikutuksiin. Ekoindikaattori 95-mallissa karakterisointikertoimet ovat yleiseurooppalaisia. Sillä, missä ympäristöä kuormittava tekijä tapahtuu, ei ole merkitystä Ekoindikaattori 95:ssä.

Karakterisointikertoimien avulla ei käytännössä mallinneta loppuvaikutuksia, vaan niiden taustalla on jokin vaikutusluokan vaikutusmekanismiin liittyvä kohta, luokkaindikaattori, jonka suhteen vaikutusluokan tulokset esitetään. Taulukossa 7 on esitetty DAIA- ja Ekoindikaattori 95 -malleissa käytetyt karakterisointikertoimet. Seuraavassa on käsitelty karakterisointikertoimien määrittelyperusteita vaikutusluokittain.

Taulukko 7. DAIA- ja Ekoindikaattori 95 -malleissa käytetyt päästömuuttujat ja karakterisointikerroimet Tampereen vesi- ja viemärlaitossovelluksessa käytettyjen vaikutusluokkien osalta (muuneltu Seppälä 1999b).

Vaikutusluokka (vaikutusluokkaindikaattorin yksikkö)	Kuormitustekijä	Karakterisointikerroin	
		DAIA	Ekoindikaattori 95
Ilmastonmuutos (CO <sub>2</sub> ekv)	CO <sub>2</sub>	1	1
	CH <sub>4</sub>	21	11
	N <sub>2</sub> O	310	270
	Muut	ks. IPCC 1996	ks. IPCC 1992
Happamoituminen (Eko 95: SO <sub>2</sub> ekv) (DAIA: H <sup>+</sup> ekv)	SO <sub>x</sub> (SO <sub>2</sub> :na)	0,01635 <sup>(1)</sup>	1
	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> :na)	0,00639 <sup>(1)</sup>	0,7
	NH <sub>3</sub>	0,02646 <sup>(1)</sup>	1,88
	HF	-	1,6
	HCl	-	0,88
Otsonin muodostuminen <sup>(2)</sup> (Eko 95: eteeni ekv) (DAIA: POCP <sup>(2)</sup> )	NM VOC	0,209 <sup>(1)</sup>	0,416
	NO <sub>x</sub>	0,727 <sup>(1)</sup>	-
	CO	0,064 <sup>(1)</sup>	-
	CH <sub>4</sub>	-	0,007
Rehevöityminen (Eko 95: PO <sub>4</sub> ekv) (DAIA: NP <sup>(3)</sup> )	NO <sub>x</sub> (NO <sub>2</sub> :na)	0,008 <sup>(1)</sup>	0,13
	NH <sub>3</sub>	0,023 <sup>(1)</sup>	0,33
	P-tot (D) <sup>(4)</sup>	1,53	-
	N-tot (W)	0 - 0,42 <sup>(5)</sup>	0,42
	P-tot (W)	0 - 3,06 <sup>(5)</sup>	3,06
Hapen kuluminen (DAIA : O <sub>2</sub> ekv)	COD(W)	-	0,0022
	COD(W)/BOD(W)	0 - 1 <sup>(5)</sup>	-
Ekotoksisuus (DAIA: %)	TOX(W)	0,563 <sup>(6)</sup>	-
	POP(A)	0,672 <sup>(6)</sup>	-
	R-met(A)	0,456 <sup>(6)</sup>	-
Raskasmetallit (Eko 95: Pb ekv)	Cd(A)	-	50
	Hg(A)	-	1
	Mn(A)	-	1
	Pb(A)	-	1
	Mn(W)	-	0,02
	Muut <sup>(7)</sup>	-	ks. Goedkoop 1995
	Syöpää aiheuttavat aineet (Eko 95: PAH ekv)	As(A)	-
Muut <sup>(8)</sup>	-	ks. Goedkoop 1995	

**Huomautukset:**

<sup>1)</sup> Voidaan käyttää vain Suomen päästöille.

<sup>2)</sup> Tässä POCP (Photochemical ozone creation potential) -yksikkö on mallikohtainen. Sen avulla ilmaistut lukuarvot eivät ole vertailukelpoisia kirjallisuudessa yleisesti eteeniekvivalenttina esitettyihin POCP-lukuihin nähden.

<sup>3)</sup> DAIA:n NP (Nitrification potential) -yksikkö on myös PO<sub>4</sub>-ekvivalenttina, mutta rehevöitymisen vaikutusluokkaindikaattorilukuja ei voida verrata Ekoindikaattori 95:n vastaaviin kulkeutumis- ja vaikutuskertoimien muutosvaikutusten takia.

<sup>4)</sup> Suora fosforilaskema vesiin. Oletus: puolet laskeumafosforista on biologisesti käyttökelpoisessa muodossa (= DAIA:ssa vaikutuskerroin fosforilaskemalle vesiin on 0,5).

<sup>5)</sup> Kulkeutumis- ja vaikutuskertoimien käytön takia karakterisointikerroimen suuruus vaihtelee DAIA:ssa päästölähteittäin. Oletus: puhdistamovesien vaikutuskerroin on 0,4 (ks. Seppälä ym. 1999).

<sup>6)</sup> Karakterisointikerroimilla ei kerrota päästömääriä (esim. kg/a) vaan tarkasteltavan systeemin aineryhmän päästösuuksia koko Suomen päästömääristä

<sup>7)</sup> Normalisoinnissa käytetyt muut päästömuuttujat veteen: B, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb.

<sup>8)</sup> Normalisoinnissa käytetyt muut päästömuuttujat ilmaan: bentseeni, benzo(a)pyreeni, Cr(6<sup>+</sup>), CxHy aromaattinen, etyylibentseeni, fluoranteeni, Ni, PAH, ja terva

### Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen luokkaindikaattorina on säteilypakotteen muutos ilmakehässä. Kummassakin mallissa käytetään kasvihuonekaasupäästöjen karakterisointikertoimina kansainvälisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) määrittämiä ns. GWP (Global Warming Potential)- eli hiilidioksidiekvivalenttikertoimia, jotka kuvaavat kasvihuonekaasujen 100 vuoden ajanjaksona aiheuttamaa säteilypakotetta. Menetelmien väliset erot karakterisointikertoimissa johtuvat siitä, että DAIA:ssa on käytetty IPCC-paneelin uusimpia kertoimia (IPCC 1996) kun taas Ekoindikaattori 95:ssä (IPCC 1992) on muutamaa vuotta vanhemmat kerroinarviot.

### Happamoituminen

Happamoitumisen vaikutusindikaattorina on vetyionien vapautuminen maaympäristössä. Ekoindikaattori 95-mallissa happamoittavien päästöjen, kuten rikkidioksidin ( $\text{SO}_2$ ), typen oksidien ( $\text{NO}_x$ ) ja ammoniakkin ( $\text{NH}_3$ ), karakterisointikertoimina on käytetty teoreettisia ekvivalenttikertoimia, jotka kuvaavat eri aineiden kykyä vapauttaa vetyioneja maaympäristössä. DAIA-mallissa karakterisointikertoimet perustuvat samoihin lukuihin, mutta sen lisäksi kertoimia on korjattu vastaamaan paremmin todellisuutta. Kustakin Suomesta lähtöisin olevasta päästöstä on poistettu kulkeutumis- ja leviämismallilaskelmien tulosten avulla se osuus päästöstä, joka päättyy meriympäristöön (joka ei siis voi aiheuttaa happamoitumista). Lisäksi typpipäästöjen teoreettista happamoittavaa määrää on vähennetty sen tiedon perusteella, että suurin osa Suomen päästöistä päättyy Pohjois-Euroopan alueille, jossa tyyppiä varastoituu maaperään ilman suorannaista vaikutusta happamoitumisilmiöihin (ks. esim. Grennfelt ym. 1994).

### Alailmakehän otsonin muodostuminen

Alailmakehän otsonin muodostumisen luokkaindikaattorina on otsonipitoisuus alailmakehässä. Ekoindikaattori 95:ssä otsonia muodostavien aineiden karakterisointikertoimet vastaavat tietyissä olosuhteissa (ks. Heijungs 1992) määritellyjä ns. POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)-kertoimia, joidenka tuloksena aineiden päästöt saadaan esitettyä eteeni-ekvivalentteina. DAIA-mallissa karakterisointikertoimet vastaavat Suomen päästöjen kykyä muodostaa otsonia alailmakehässä ja ne on määritelty Ilmatieteen laitoksen otsonin muodostumista ja -kulkeutumista kuvaavan ilmakemiallisten mallien tulosten avulla (Lindfors V. ym. 1995).

### Ekotoksisuus

Ekotoksisten päästöjen karakterisointikerrointen määrittäminen DAIA-mallissa perustuu asiantuntijoiden arvioon siitä, miten ekotoksiset päästöt vaikuttavat ympäristöön Suomessa. Ekotoksisuuden "muodollisena vaikutusindikaattorina" on krooninen, terrestinen toksisuus ja krooninen, akvaattinen toksisuus sekä akuutti, akvaattinen toksisuus eliöille. Asiantuntijat ovat arvioineet näiden kolmen ekotoksisuuden alavaikutusluokan merkitystä suhteessa toisiinsa ja sen, millä osuudella kolme erilaista aineryhmää vaikuttavat ko. alavaikutusluokkien vaikutuksiin (ks. Seppälä 1997, 1999a). Tarkasteltavat aineryhmät ovat pysyvät orgaaniset yhdisteet ilmaan, metallipäästöt ilmaan ja veteen menevät myrkylliset päästöt. Ekotoksisuuden karakterisointikerrointen erilaisista määrittelyperusteista johtuen ekotoksisuudessa karakterisointikertoimilla ei kerrota päästömääriä (esim. kg/a) vaan tarkasteltavan systeemin aineryhmän päästösuuksia koko Suomen päästömäristä.

Tampereen käsitellyt yhdyskuntajätevedet eivät tiettävästi ole akuutisti eivätkä myöskään kroonisesti toksisia. Toksiset vesipäästöt (TOX(W)) ja pysyvät orgaaniset yhdisteet ilmaan (POP(A)) on oletettu Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen osalta nolliksi. Mallissa on lisäksi oletettu, että vesi- ja viemärlaitos-

toiminnan käyttämän energian tuottamisesta aiheutuvat raskasmetallipäästöt ovat enintään 0,01 % Suomen raskasmetallipäästöistä ilmaan, jotka aiheuttavat ekotoksisia vaikutuksia.

### **Rehevöityminen**

Rehevöitymisen vaikutusindikaattorina on vesistön biomassan tuotannon kasvu, joka aiheutuu ravinnepäästöistä. Typen ja fosforin karakterisointikertoimien suhteet perustuvat keskimääräiseen kasviplanktonin hiili:typpi:fosfori -suhteeseen luonnonvesissä. DAIA-mallissa samoin kuin Ekoindikaattori 95 -mallissakin käytetään keskimääräisenä C:N:P-suhteena vesistö tutkimuksessa yleisesti käytettyä Redfield ym. (1963) esittämää suhdetta 106:16:1. Jos 1 mooli typpeä pääsee vesistöön, aiheutuu siitä 6,6 moolin hiilen tuotanto vesistössä ja vastaavasti, jos 1 mooli fosforia pääsee vesistöön aiheutuu siitä 106 moolin hiilen tuotanto. Ekoindikaattori 95:ssä edellä mainittua suhdelukua käytetään myös kemiallisen hapenkulutuspäästöjen (COD) yhteismitallistamisen perustana.

DAIA-mallissa ravinteiden peruskarakterisointikertoimia on edelleen korjailtu lähemmäksi todellisuutta. Kokonaisravinnepäästöjen erilainen biologinen käyttökelpoisuus leville otetaan DAIA-mallissa huomioon eri päästölähteille määritettyjen vaikutuskertoimien avulla. Tämän kertoimen arvo vaihtelee nollan ja ykkösen välillä riippuen siitä, mikä osuus ravinnepäästöstä on biologisesti käyttökelpoisessa muodossa. Levien kasvua vesistöissä rajoittava minimitekijä vaihtelee vesialueittain, mikä otetaan myös huomioon DAIA-mallissa päästön kulkeutumiskertoimen avulla. Jos esimerkiksi typpipäästö joutuu vesialueelle, jossa fosfori on vain minimitekijä rehevöitymisen kannalta, typpipäästön kulkeutumiskerroin on nolla. Lopullinen ravinteiden karakterisointikerroin DAIA-mallissa saadaan, kun peruskarakterisointikerroin kerrotaan päästölähdekohtaisilla vaikutus- ja kulkeutumiskertoimilla. DAIA-mallissa rehevöitymisen normalisointitekijässä kaikki Suomen sisävedet on oletettu fosforirajoitteisiksi ja merialueet Pohjanlahtea lukuun ottamatta on oletettu typpirajoitteisiksi alueiksi. Merialueilla myös fosforin on oletettu lisäävän biomassan tuotantoa. DAIA-mallissa typen laskeutumasta ainoastaan merialueelle joutuva ainemäärä otetaan huomioon, kun taas Ekoindikaattori 95:ssä kaikki typpipäästöt ilmaan otetaan rehevöittäväksi huomioon laskelmissa. Edellä esitetyistä syistä DAIA:ssa karakterisointikertoimet vaihtelevat päästölähteittäin. Sen sijaan Ekoindikaattori 95:ssä karakterisointikertoimet ovat samat kaikille päästölähteille. Lisäksi Ekoindikaattori 95:ssä eroja aiheuttaa COD:n mukanaolo rehevöitymisluokassa.

### **Hapen kuluminen**

Hapen kulumisen luokkaindikaattorina on kulunut happimäärä vesistössä. Ainoastaan DAIA-mallissa tämä vaikutusluokka on otettu omana omana vaikutusluokkana ja tässä esitettävä karakterisointitapa on kehitetty tämän työn yhteydessä. Ekoindikaattori 95-mallissa jätevesien kemiallinen hapenkulutus yhteismitallistetaan ravinteiden kanssa rehevöitymisvaikutusluokassa. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen sovelluksessa hapen kulutuksessa otetaan huomioon vesistöön tuleva happea kuluttava orgaaninen ( $BOD_7$ ) ja ammonium ( $NH_4$ ) kuormitus.  $BOD_7$ :n ekvivalenttikerroin on yksi. Ammoniumtypen vaikutus otetaan kuitenkin huomioon lisäämällä  $NH_4$  toiseksi hapen kulumista aiheuttavaksi kuormitustekijäksi DAIA-malliin. Yhden ammoniumtyppigramman hapettumiseen kuluu 4,57 g happea. Ammoniumtypen ekvivalenttikerroin on siten 4,57. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen orgaanisen aineksen ja ammoniumtypen kuormituksen vaikuttavuutta Pyhäjärven tilaan on otettu huomioon käyttämällä asiantuntija-arvioon perustuvaa vaikutuskerrointa 0,02 (Kokemäenjoen vesiensuojeluyhdistys, R.Oravainen 29.4.1999). Koska typpi- ja fosforipäästöjen sekä  $NO_x$ - ja  $NH_3$ -ilmapäästöjen ai-

heuttama sekundäärinen hapenkulutus on seurausta rehevöitymisestä, on näiden päästöjen karakterisointi DAIA-mallissa toteutettu vaikutusluokassa "rehevöityminen".

### **Raskasmetallit**

Ekoindeksi 95 -mallissa raskasmetallien luokkaindeksinä on ilmassa olevien metallipitoisuuksien pitkäaikaisaltistuksen terveysvaikutukset. Ilmaan joutuvista metalleista mallissa on mukana vain kadmiun (Cd), lyijy (Pb), mangaani (Mn) ja elohopea (Hg). Näiden metallipäästöjen karakterisointikertoimet vastaavat suoraan AQQ:n määrittämien metallien pitoisuusrajojen käänteislukuja (ks. Goedkoop 1995). Vastaavasti veteen joutuvien raskasmetallipäästöjen yhteismittailminen perustuu WHO:n juomavesipitoisuusrajojen käänteislukuihin.

### **Syöpää aiheuttavat aineet**

Syöpää aiheuttavien aineiden vaikutusindeksinä on sairastuminen syöpään. Ekoindeksi 95 -mallissa karakterisointikertoimet perustuvat syöpään sairastuvien ihmisten lukumääräarvioon kun eri aineiden pitkäaikaispitoisuus on 1 ug/m<sup>3</sup> (ks. Goedkoop 1995).

## **3.1.3 Normalisointi**

Karakterisoinnin jälkeen ennen lopullista tietojen yhdistämistä tehdään normalisointi eli inventaariotiedoista lasketut vaikutusluokkaindeksiarvot suhteutetaan tietyn alueen vastaaviin tietoihin. Normalisoinnissa tutkittavan systeemin vaikutusluokkaindeksitiedot siis jaetaan tietyn alueen vaikutusluokkaindeksitiedoilla, ns. normalisointitekijöillä. Todettakoon, että teoreettisesti tämä merkitsee sitä, että laskentamallissa oletetaan päästöjen ja vaikutusten riippuvan lineaarisesti toisistaan (ks. Seppälä 1997).

Normalisointi on välttämätön vaihe pyrittäessä laskemaan kokonaishaittapisteitä. Normalisoituja lukuja voidaan käyttää myös sellaisenaan helpottamaan tulosten tulkintaa. Normalisoinnin jälkeen selviää, missä vaikutusluokassa tarkasteltavalla systeemillä on suurin suhteellinen vaikutus.

DAIA-mallin normalisointitekijä (taulukko 8) on laskettu käyttämällä Suomen vuoden 1997 päästötietoja ja luvussa 3.1.2 esitettyjä DAIA-mallin karakterisointikertoimia. Rehevöitymisen normalisointitekijän määrittämisessä on käytetty sektorikohtaisia (viljanviljely, yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot jne.) ravinnepäästöjen karakterisointikertoimia (ks. Seppälä ym. 1999). Ekoindeksi 95 -mallissa on normalisointitekijöitä laskettaessa käytetty koko Euroopan päästötietoja ja luvussa 3.1.2 esitettyjä Ekoindeksi 95 -mallin karakterisointikertoimia (taulukko 8).

Taulukko 8. DAIA- ja Ekoindeksi 95 -malleissa käytetyt normalisointitekijät.

Vaikutusluokka	Normalisointitekijä	
	DAIA	Ekoindeksi 95
Ilmastonmuutos	66 902 kt CO <sub>2</sub> ekv	6 500 000 kt CO <sub>2</sub> ekv
Happamoituminen	4 154 t H <sup>+</sup> ekv	56 000 kt SO <sub>2</sub> ekv
Otsonin muodostuminen	254 kt POCP*	8 900 kt etyleeni ekv
Ekotoksisuus	100 %	-
Rehevöityminen	17,818 t NP*	19 000 t PO <sub>4</sub> ekv
Hapen kuluminen	336 kt O <sub>2</sub> COD <sub>C</sub> :na	-
Raskasmetallit	-	2 70 000 t Pb ekv
Syöpää aiheuttavat aineet	-	5 400 t PAH ekv

### 3.1.4 Painotus

Vaikutusarvioinnin viimeinen vaihe on tietojen yhdistäminen. Karakterisoinnilla eri vaikutusluokkiin vaikuttavat päästöt pystyttiin yhdistämään vaikutusluokkaindikaattoriksi. Tutkittavan kohteen ympäristövaikutusten kokonaisarviointi edellyttää eri vaikutusluokkiin kuuluvan tiedon yhteismitallistamista. Arvottamalla vaikutusluokat toistensa suhteen eri vaikutusluokkiin kuuluva tieto voidaan yhdistää kokonaisuhahtapisteiksi. Vaikutusluokkien painojen määrittämiseksi kehitettyjä metodeja on olemassa useita. Objektivistista, yleisesti hyväksyttävää arvottamismenetelmää, jolla vaikutusluokkien painot voitaisiin määrittää, ei ole olemassa.

Tässä työssä on käytetty DAIA:n ja Ekoindikaattori 95:n oletuspainokertoimia, eikä erillistä arvotusta olla tehty. DAIA-mallissa vaikutusluokkien painot on määritetty eri tahojen edustavien asiantuntijoiden preferenssien pohjalta. Asiantuntijat ovat arvottaneet vaikutusluokat Suomessa havaittavien ympäristövaikutusten perusteella. Painojen määrittämisen lähtökohtana on ollut seuraava kysymyksenasettelu: Kuinka paljon tärkeämpänä pidät Suomen happamoittavien päästöjen rajoittamista kuin rehevöittävien päästöjen (tai päinvastoin)? Painojen määrittämisessä käytettiin apuna päätösanalyysin piiriin kuuluvaa painotustekniikkaa. Painovektori on ryhmän eri asiantuntijoiden antamien painokertoimien keskiarvo (taulukko 9).

Ekoindikaattori 95:ssä vaikutusluokkien painot heijastavat koko Euroopan mittakaavaa. Ekoindikaattori 95:ssä vaikutusluokkien painot on arvioitu ns. "etäisyys tavoitteeseen"-periaatteella. Kunkin vaikutusluokan nykykuormituksen ja tavoitetason kuormituksen välinen ero ratkaisee ympäristöongelmapainon suuruuden. Tavoitetason määrittämisen lähtökohtana ovat seuraavat samansuuruisiksi kiinnitetyt seuraukset: a) yksi ylimääräinen kuolema miljoonaa asukasta kohti vuodessa, b) terveysvaikutukset sumuperiodien tuloksena ja c) viiden prosentin ekosysteemin heikennys pitkällä tähtäyksellä. Menetelmässä on siis arvioitu kuinka suuri päästövähennys tarvitaan, jotta mainitun kaltainen tavoitetila saavutetaan. Näennäisestä objektivisuudesta huolimatta ekoindikaattorin painokerroin on subjektiivinen; kenellä on tieto kuormitustasoista, jolla kyseiset tavoitetasot saavutetaan.

Kun normalisoidut vaikutusluokkaindikaattoriarvot kerrotaan vastaavilla painokertoimilla ja summataan kaikki tällaiset tulot yhteen saadaan kokonaisuhahtapisteet, joiden suuruus indikoi tarkasteltavan systeemin aiheuttamaa haittaa ympäristölle. Mitä suurempi haittapistemäärä, sen vahingollisempi ympäristölle. Malleilla pystytään myös matemaattisten laskentasaäntöjen avulla laskemaan kullekin päästömuuttujalle haittapisteet, jolloin eri päästöjen haitallisuutta voidaan vertailla keskenään.

Mallin lähtötiedoista (t/a) ja laskentaperiaatteista johtuen Tampereen vesi- ja viemärlaitostoiminnan haittapisteet tulostuvat erittäin pieninä lukuina. Tulosten helpomman käsittelyn takia DAIA-mallin tulokset on kerottu vielä 1 000 000:lla. Ekoindikaattori 95:ssä lopulliset haittapisteet on saatu puolestaan kertomalla tulokset 100:lla ja Euroopan asukasluvulla (497 milj.).



Taulukko 9. DAIA-mallissa ja Ekoindikaattori 95 -mallissa käytetyt vaikutusluokkapainot. DAIA-mallin painot perustuvat Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), alueellisten ympäristökeskusten (AK), teollisuuden keskusjärjestöjen ja Pöyryn (TK) sekä ilmatieteen laitoksen (IL) asiantuntijoiden preferensseihin.

Vaikutusluokka	Vaikutusluokan painot					
	DAIA (Seppälä 1997)				EKOINDIKAATTORI 95	
	SYKE (n=32)	AK (n=7)	TK (n=14)	IL (n=5)	KAIKKI (n=58)	
Ilmastonmuutos	0.20	0.20	0.19	0.25	0.21	2,5
Happamoituminen	0.17	0.14	0.22	0.13	0.18	10
Otsonin muodostuminen	0.07	0.07	0.11	0.13	0.08	2.5
Ekotoksisuus	0.13	0.11	0.11	0.20	0.13	-
Rehevöityminen	0.17	0.17	0.19	0.15	0.17	5
Hapen kuluminen	0.03	0.04	0.07	0.05	0.04	-
Raskasmetallit	-	-	-	-	-	5
Syöpää aiheuttavat aineet	-	-	-	-	-	10

## 3.2 Ympäristövaikutusten kokonaisarvioinnin tulokset

### 3.2.1 Vesi- ja viemärlaitoksen ympäristövaikutukset

Vaikutustarkastelussa mielenkiinto kohdistuu ensisijaisesti vesistöön menevän suoran kuormituksen vaikutuksiin suhteessa vesi- ja viemärlaitoksen muun toiminnan suorien ja välillisten päästöjen vaikutuksiin ympäristössä.

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen kokonaisarvion kannalta on ratkaisevaa, miten vesistöön tuleva kuormitus vaikuttaa purkuvesistössä. Vaikutustarkastelun lähtöoletuksena on, että kaikki Suomen sisävedet ovat fosforirajoitteisia. Tässä tutkimuksessa DAIA-vaikutustarkastelumallista on tehty kaksi versiota, joista toisessa fosfori on minimitekijä ja toisessa sekä fosfori että typpi rajoittavat perustuotantoa. Laskelmat on tehty DAIA-mallilla olettaen, että Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä fosfori on perustuotannon minimitekijä, mikäli toisin ei ole ilmoitettu.

Selvästi suurin ympäristöhaitta Tampereen vesihuollosta aiheutuu käsitellyn jäteveden fosforista (kuva 18). Käsitellyn jäteveden sisältämällä orgaanisella aineksella on Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä tällä hetkellä vain hyvin vähäinen merkitys. Jos orgaanista ainesta ei jätevedestä poistettaisi tehokkaasti, olisi BOD-kuormituksella huomattava vaikutus vesistön tilaan. Nykyisin Pyhäjärven happitilanne on jo siinä määrin hyvä, että orgaanisen kuormituksen vähentämisen vaikutus vesistössä ei juurikaan näy vesistön tilan paranemisena (Oravainen 1997a ja b). Fosforin jälkeen muita selvästi merkittävämpi kuormitustekijä on hiilidioksidi (kuva 18).

Tarkasteltaessa Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen toimintoja voidaan havaita, että niistä yhteensäkin aiheutuva ympäristövaikutus on vähäinen verrattuna käsitellyn jäteveden suoriin vaikutuksiin (kuva 19). Käsitellyn jäteveden vaikutusten jälkeen suurin haitta aiheutuu jätevesien käsittelystä. Seuraavaksi tulee veden puhdistus (kuva 19). Lietteen merkitystä arvioitaessa on muistettava, että vuonna 1996 kaatopaikalle vietiin lietettä noin 11 % ja ainoastaan sen vaikutukset ympäristöön näkyvät kuvassa 19.

Vesistön rehevöityminen on selvästi suurin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen päästöjen aiheuttama haitallinen vaikutus ympäristössä. Ilmaston muutosta ja happamoitumista aiheuttavilla päästöillä on myös merkitystä (kuva 20).

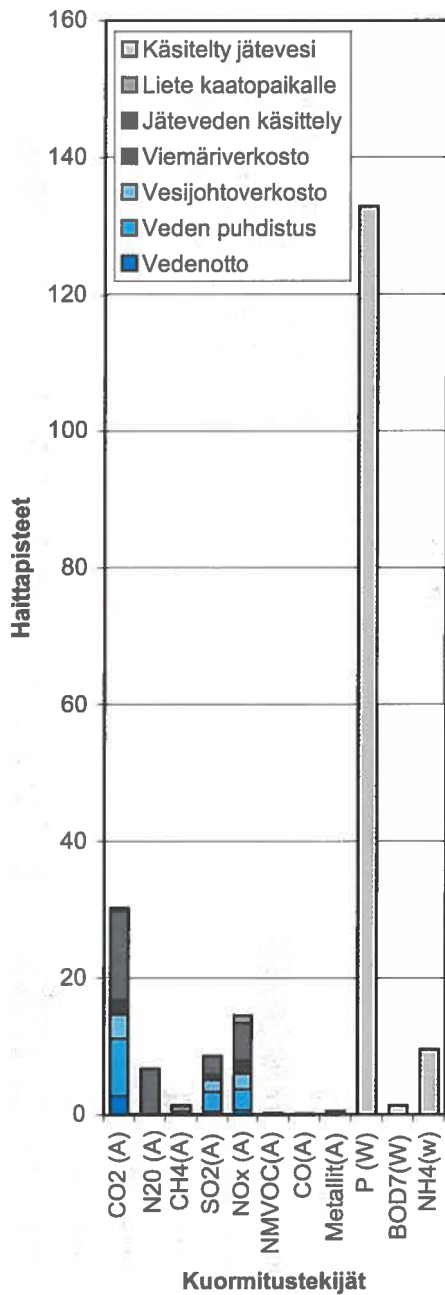
Tampereen vesi- ja viemärlaitoksella kulutetun energiantuotannosta peräisin olevat CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- ja SO<sub>2</sub>- päästöt ilmaan, tässä järjestyksessä, aiheuttavat fosforikuormituksen jälkeen seuraavaksi suurimman ympäristöhaitan. Myös jätevesien käsittelyssä syntyvillä N<sub>2</sub>O- päästöillä ja kuljetusten NO<sub>x</sub>-päästöillä on jonkin verran merkitystä (kuva 21). Ilmaan joutuvien päästöjen osalta suurimmat ympäristöhaitat käytetyn energiantuotannon jälkeen aiheutuvat rakennuksien ja putkien valmistamisesta. Nämä haitat kaksinkertaistuisivat, jos rakenteiden käyttöikä oletettaisiin 50 vuoden sijasta 25 vuodeksi.

Kemikaalien valmistuksen vaikutukset ovat varsin vähäiset (kuva 21). Toisaalta kemikaalien valmistuksen päästötietojen epävarmuus on suurempi kuin muissa toiminnoissa.

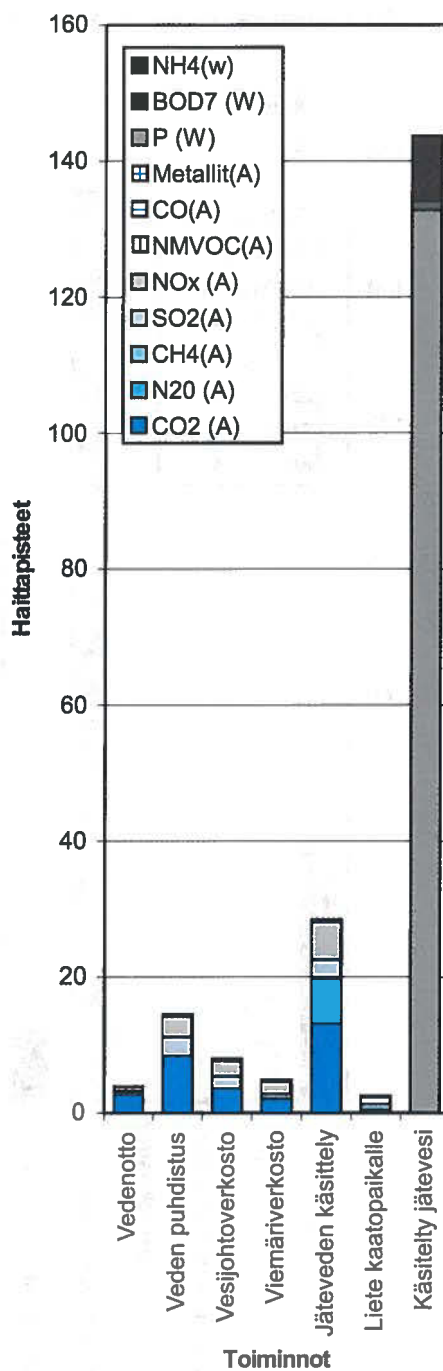
Monet vesienkäsittelyssä käytettävät kemikaalit ovat teollisuuden sivutuotteita tai samassa prosessissa syntyviä useita kemikaaleja. Päästöjen allokoinnissa on tässä tutkimuksessa käytetty massaperusteista jakoa. Muitakin hyväksyttäviä allokointitapoja voidaan käyttää. Lisäksi kirjallisuudessa saatetaan antaa toisistaan poikkeavia ominaispäästötietoja, jotka voivat olla ristiriidassa myös tehtaan ilmoittamien lukujen kanssa. Kun allokointitapaa muutettiin ja käytettiin viitteessä International Iron and Steel Institute (1998) annettuja ominaispäästöjä kalkin valmistukselle, saatiin kemikaalien valmistuksen päästöjen aiheuttamaksi haitaksi noin 5,6 haittapistettä enemmän kuin kuvassa 21 on esitetty. Tällöin kemikaalien valmistuksesta aiheutuva haitta olisi samalla tasolla kuin rakennusten ja putkien valmistuksesta aiheutuva haitta.

Jos vaikutustarkastelussa oletetaan, että typpi ja fosfori molemmat rajoittavat perustuotantoa (DAIA-N -malli), aiheutuu suurin ympäristöhaitta käsitellyn jäteveden sisältämästä typestä (kuva 22). Muiden kuormitustekijöiden vaikutukset ovat tällöin erittäin pienet verrattuna typestä aiheutuvaan vaikutukseen. DAIA-N -mallilla laskettaessa muiden paitsi fosforin ja NO<sub>x</sub>:n haittapistemäärät pysyvät samana kuin vaikutustarkastelussa, jossa fosfori oli vesistön minimiravinne. Fosforin ja NO<sub>x</sub>:n haittapistemäärät ovat pienempiä, koska DAIA-N -mallissa rehevöittävien päästöjen normalisointitekijään lasketaan mukaan myös Suomen sisävesiin tuleva typpikuormitus (noin 10 000 t/a).

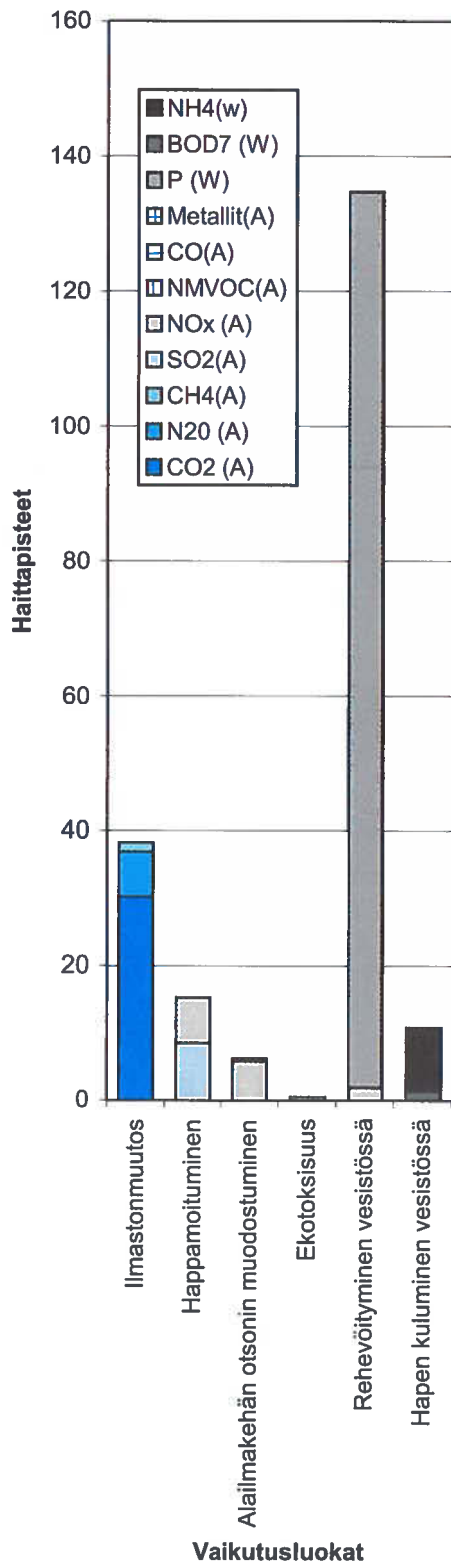
Vaikka vaikutustarkastelu antaa vain karkean arvion Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen kokonaisvaikutuksista ympäristöön, voidaan perustellusti sanoa, että vesistöön johdettavien käsiteltyjen jätevesien vaikutukset ympäristöön ovat selvästi suuremmat kuin laitoksen toiminnasta ilmaan joutuvien päästöjen vaikutukset.



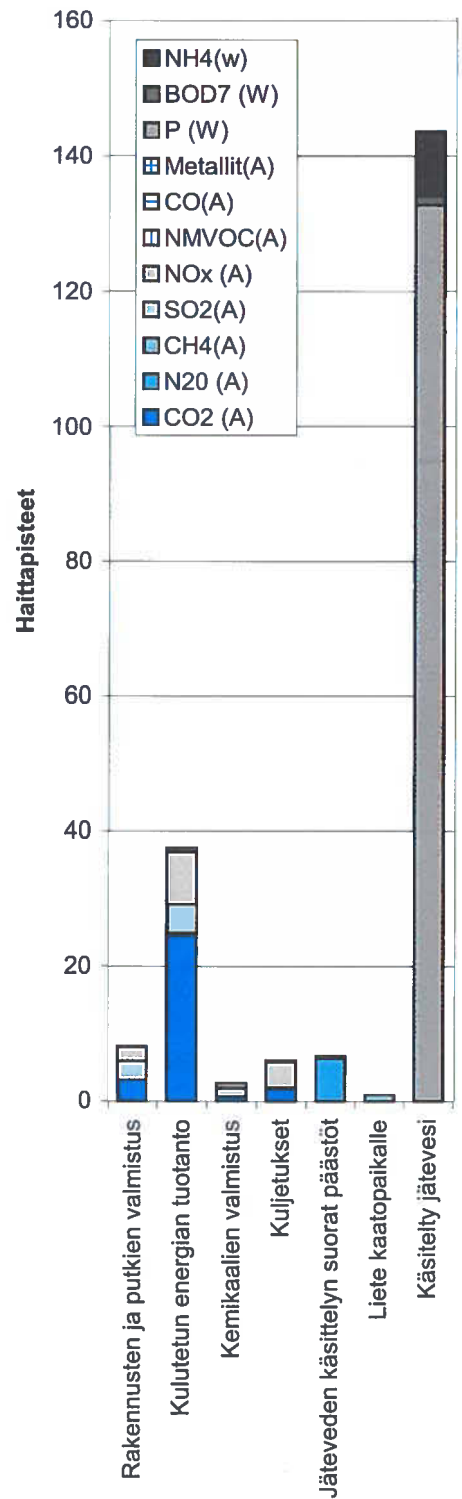
Kuva 18. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen päästöjen aiheuttamat haittapisteet, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori. Merkintöjen selitys: CO<sub>2</sub> = hiilidioksidi, N<sub>2</sub>O = typpioksiduuli, CH<sub>4</sub> = metaani, SO<sub>2</sub> = rikkidioksidi, NO<sub>x</sub> = typhen oksidit, NMVOC = haihtuvat orgaaniset yhdisteet, CO = hiilimonoksidi, Metallit = As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, P = fosfori, BOD<sub>7</sub> = biologinen hapenkulutus, NH<sub>4</sub> = ammoniumtyppi, (A) = ilmaan, (W) = veteen.



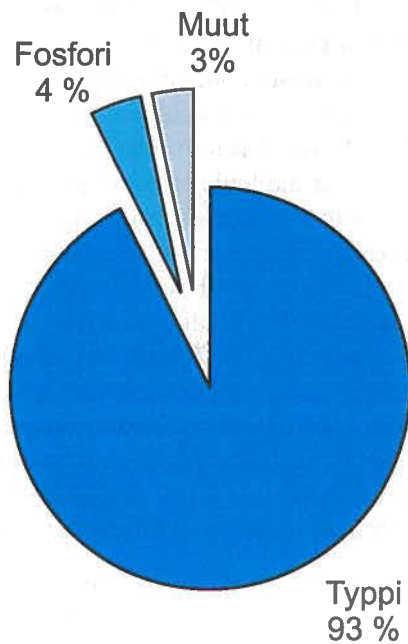
Kuva 19. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen toimintojen aiheuttamat haittapisteet, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori.



Kuva 20. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen aiheuttamat haittapisteet vaikutusluokittain, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvesä on oletettu fosfori.



Kuva 21. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen aiheuttamat haittapisteet, kun toiminnot ryhmitellään seuraaviin luokkiin: rakennusten ja putkien valmistus, kulutetun energiantuotanto, kemikaalien valmistus, kuljetukset, jätevesien käsittelyn suorat päästöt, lietteen loppusijoitus kaatopaikalle ja käsitelty jätevesi. Levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvesä on oletettu fosfori.



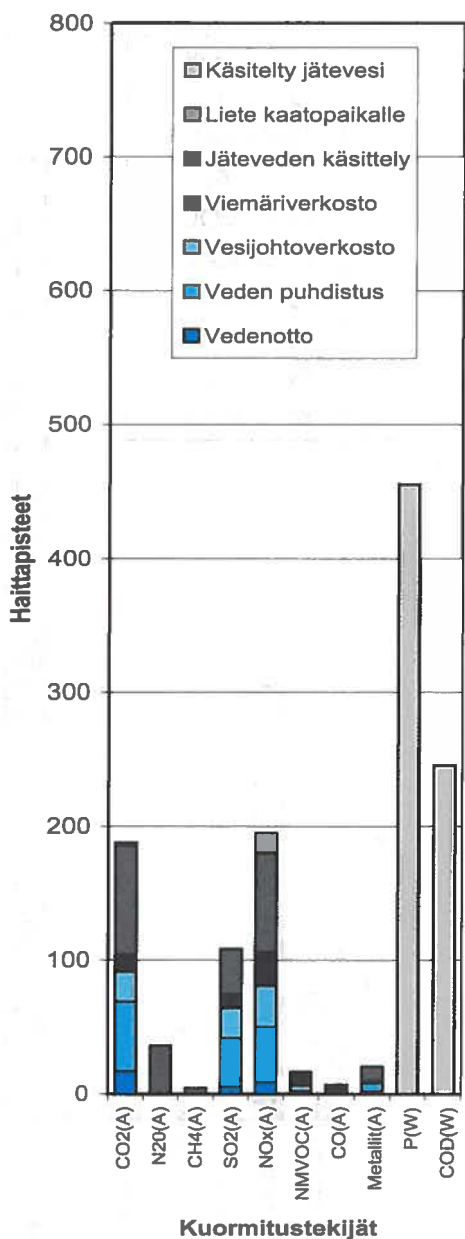
Kuva 22. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen päästöjen aiheuttamien haittapisteiden jakauma, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu sekä fosfori että typpi. (Muut =  $CO_2(A)$ ,  $N_2O(A)$ ,  $CH_4(A)$ ,  $SO_2(A)$ ,  $NO_x(A)$ ,  $NMVOC(A)$ ,  $CO(A)$ , Metallit(A),  $BOD_7(W)$ ,  $NH_4(W)$ ).

Tampereen vesihuollon ympäristövaikutusten arvioinnin tulosten luotettavuuden parantamiseksi ja niille vertailukohtaan saamiseksi vaikutusarviointi tehtiin myös Ekoindikaattori 95 -mallilla. Tällöin Ekoindikaattori 95 -malliin tehtiin joitakin muutoksia. Samoin kuin DAIA-mallia Ekoindikaattori 95 -mallia muutettiin siten, että typpipäästöillä ei ole merkitystä vesistöä rehevöittäväksi tekijänä. Toinen merkittävä muutos, joka tehtiin Ekoindikaattori 95 -malliin, koski jätevesien mukana vesistöön tulevaa mangaania. Ekoindikaattori-mallissa mangaani on mukana sen ihmisen terveydelle mahdollisesti aiheuttamien vaikutusten perusteella. Koska vesistöön joutuvan mangaanin kokonaismäärä oli melko suuri, noin 7 tonnia, antoi Ekoindikaattori 95 -malli sille jotakuinkin yhtä suuren haitan kuin kaikille muille kuormitustekijöille yhteensä. Todellisuudessa tilanne on se, että vesistöön johdettavien jätevesien keskimääräinen mangaanipitoisuus (noin 0,2 - 0,3 mg/l) on alle Ekoindikaattori 95 -mallissa käytetyn WHO:n juomavesiraja-arvon 0,5 mg/l. Mangaanipitoisuus on myös alle kymmenesosa eliöille akuutisti myrkyllisistä pitoisuuksista. Koska jäteveden mangaanipitoisuus ei ylittänyt juomavesinormia ja lisäksi mangaanilla ei tiedetä olevan toksisia vaikutuksia vesistöissä kyseessä olevilla pitoisuuksilla, jätettiin mangaani pois mallista. Todettakoon, että edellä mainitut muutokset ovat teoriassa Ekoindikaattori 95 -mallin käyttöperiaatteiden vastaisia, sillä mallin normalisointitekijät pitävät kaikki päästöt sisällään.

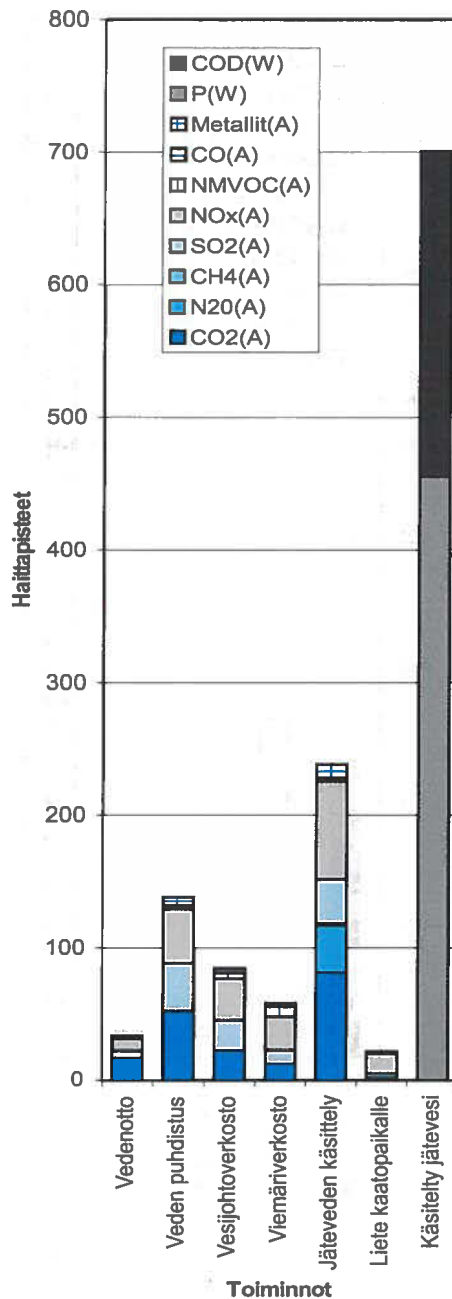
Ekoindikaattori 95 -mallin vaikutusluokka "Syöpää aiheuttavat aineet", jätettiin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen vaikutustarkastelusta pois, koska syöpää aiheuttavien aineiden (esimerkiksi arseeni) pitoisuudet Tampereella eivät kohtaa Ekoindikaattori 95 -mallissa karakterisoinnin perusteena oleviin pitoisuuksiin.

Ekoindikaattori 95 -mallilla saadut tulokset ovat hyvin yhteneväiset DAIA-mallilla saatuihin tuloksiin verrattuna (kuvat 23 -26). Suurin ero on orgaanisen kuormituksen (BOD/COD) vesistövaikutuksissa. DAIA-mallissa orgaanisen kuormituksen vaikutukset vesistön happikatoon sovitettiin asiantuntijakertoimilla todellisia olosuhteita paremmin vastaaviksi. Ekoindikaattori 95 -mallissa COD -kuormitus on vaikutusluokassa "rehevöityminen" eikä muutoksia COD:n vaikutusten laskentaan mallissa tehty.

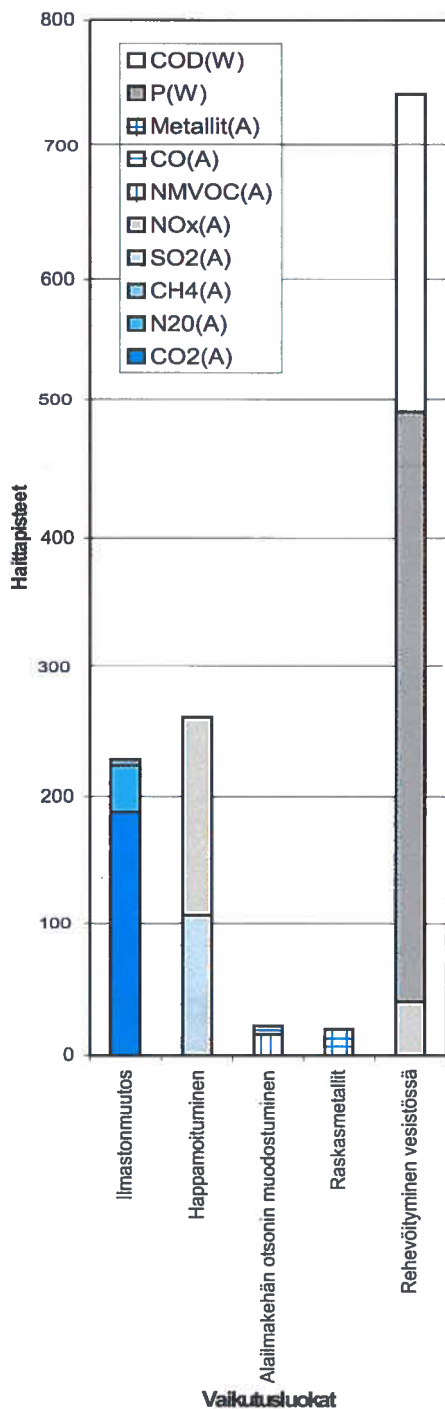
DAIA-mallilla ja Ekoindikaattori 95 -mallilla lasketut haittapisteet eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään. Malleilla laskettujen haittapisteiden suhteellisia osuuksia voidaan kuitenkin verrata toisiinsa. Käsitelty jätevesi aiheuttaa Ekoindikaattori 95 -mallilla noin 55 % ja DAIA-mallilla noin 70 % haitasta (kuvat 19 ja 24). Muidenkin toimintojen osalta suhteelliset osuudet ovat lähellä toisiaan. Molemmilla malleilla suurin haitta aiheutuu fosforista ja CO<sub>2</sub>:n osuus on noin 15 % molemmissa malleissa (kuvat 18 ja 23). Muidenkin kuormitustekijöiden tärkeysjärjestys on samantapainen lukuun ottamatta orgaanisen kuormituksen vaikutusta. Energian käyttö on molemmissa malleissa käsiteltyjen jätevesien vaikutusten jälkeen tärkein haitan aiheuttaja. Ekoindikaattori 95 -mallissa noin 26 % ja DAIA-mallissa noin 18 % haitoista aiheutuu energian käytöstä (kuvat 21 ja 26). Rakennusten ja kuljetusten osuus on Ekoindikaattori 95 -mallissa on hiukan suurempi kuin DAIA-mallissa. Ekoindikaattori 95 -malli arvioi happamoittavista päästöistä aiheutuvat haitat hivenen ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen haittoja suuremmiksi (kuva 25). DAIA-mallissa happamoittavien päästöjen haitat ovat selvästi ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen haittoja pienemmät (kuva 20).



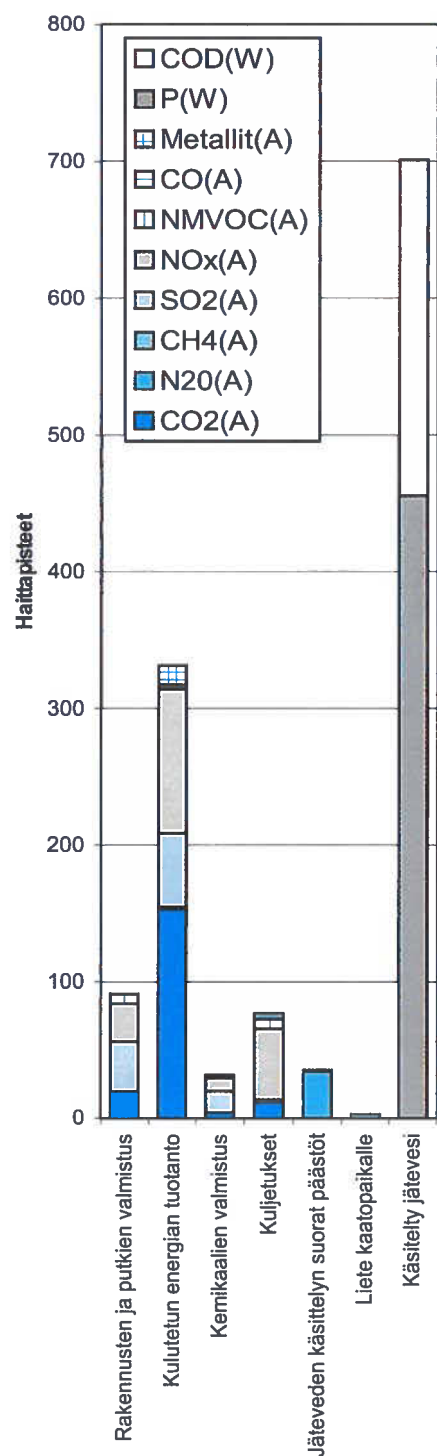
Kuva 23. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen päästöjen aiheuttamat haittapisteet tulosten vertailuun käytetyllä Ekoindikaattori 95-mallilla laskettuna, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori



Kuva 24. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen toimintojen aiheuttamat haittapisteet tulosten vertailuun käytetyllä Ekoindikaattori 95 -mallilla laskettuna, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori.



Kuva 25. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen aiheuttamat haittapisteet vaikutusluokittain tulosten vertailuun käytetyllä Ekoindikaattori 95 -mallilla laskettuna, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori.



Kuva 26. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen aiheuttamat haittapisteet tulosten vertailuun käytetyllä Ekoindikaattori 95 -mallilla laskettuna, kun toiminnot ryhmittellään seuraaviin luokkiin: rakennusten ja putkien valmistus, kulutetun energiantuotanto, kemikaalien valmistus, kuljetukset, jätevesien käsittelyn suorat päästöt, liete kaatopaikalle ja käsitelty jätevesi. Levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori.



### 3.2.2 Jätevesien käsittelyn ympäristöhyöty

Käsittelyllä jätevesillä on merkittävä vaikutus purkuvesistön tilaan. Vaikutuksen suuruutta suhteessa vesihuollon muihin ympäristövaikutuksiin on arvioitu edellisessä luvussa. Tarkasteltaessa jätevesien käsittelyn tehoa huomio kohdistuu käsiteltyjen jätevesien ympäristövaikutusten sijasta aikaan saatuun puhdistustulokseen. Jätevesien käsittelyn ekologista kannattavuutta arvioidaan vertaamalla käsittelystä syntyvää ekologista haittaa puhdistustulokseen eli siihen, miten paljon jätevesien käsittelyllä on pystytty vähentämään ympäristöön kohdistuvaa haittaa.

Vuonna 1996 fosforin reduktio oli keskimäärin noin 93 % ja BOD<sub>7</sub>-reduktio oli noin 96 % Tampereen jätevesien käsittelylaitoksilla. Ammoniumtypestä poistettiin vuonna 1996 noin 53 %. Taulukossa 10 on esitetty jätevesien käsittelyyn tuleva kuormitus, käsitellyn jälkeen vesistöön menevä kuormitus ja käsittelyllä poistettu kuormitus. Käsittelemättömän jäteveden vesistössä aiheuttama laskennallinen haitta DAIA-mallilla on esitetty taulukossa 11. Mallilaskelmien perusteella jätevesien käsittelystä (viemäröinti, jätevesien käsittely, lietteiden kaatopaikkakäsittely) aiheutuva ympäristöhaitta on ollut Tampereella vuonna 1996 alle sadasosa käsittelyllä saatuun hyötyyn verrattuna (taulukko 11). Laskelmissa on oletettu, että tyyppi ei ole levien kasvua rajoittava tekijä. Vesistön happitilanne heikkenee rajusti, jos jätevedet johdetaan käsittelemättöminä vesistöön. Tästä johtuen orgaanisen aineksen ja ammoniumtyypen aiheuttaman hapen kulumisen vaikutukset vesistössä on arvioitu suuremmiksi kuin käsiteltyjen jätevesien vaikutuksia arviotaessa. Asiantuntija-arvioiden perusteella orgaanisen aineksen ja ammoniumtyypen haitalliset vaikutukset vesistössä on karakterisoitu 50-kertaisiksi verrattuna nykytilanteeseen, jossa käsitellyt jätevedet johdetaan vesistöön. Laskelmissa on oletettu lisäksi, että käsittelemättömien jätevesien kaikki orgaaninen aines hajoaa anaerobisesti, jolloin muodostuu metaania (ks. luku 2.2.6).

Jätevesien käsittelyn ekologisten vaikutusten ja siten myös ympäristön kannalta saatavan hyödyn arviointi mallilaskelmilla sisältää runsaasti epävarmuutta aiheuttavia tekijöitä. Päästöjen ja ympäristön tilan todellista riippuvuutta ei riittävästi tunneta. Myös ympäristöongelmaluokkien painot ovat subjektiivisia. Muutamalla vaikutusarviointimallin karakterisointikertoimia ja ympäristöongelmien arvotusta voidaan lopputulokseen vaikuttaa. Vaikutusarvioinnissa pyritään todellisuutta parhaiten kuvaavaan ratkaisuun, joten tehdyt karakterisointikerroinvalinnat ovat perusteltuja. Jätevesien käsittelyn ympäristöhyöty pystytään tehtyjen mallilaskelmien perusteella arviomaan vähintäänkin monikymmenkertaiseksi käsittelystä aiheutuviin haittoihin nähden.

Taulukko 10. Jätevesien käsittelyyn tuleva kuormitus, käsitellyn jälkeen vesistöön menevä kuormitus ja käsittelyllä poistettu kuormitus vuonna 1996 Tampereella.

Kuormitustekijä	Päästöt (t/a)		
	Käsittelemätön jätevesi	Käsitelty jätevesi	Käsittelyllä poistettu
GH4 (A)	1326	0	1326
P (W)	176	12	165
BOD7(W)	5460	218	5242
NH4(W)	740	345	395

Taulukko 11. Käsittelemättömän jäteveden laskennallisesti aiheuttama ympäristöhaitta, käsitellyistä jätevesistä aiheutunut ympäristöhaitta sekä käsitellyllä poistettu ja käsittelystä aiheutuva ympäristöhaitta haittapisteinä vuonna 1996 Tampereella.

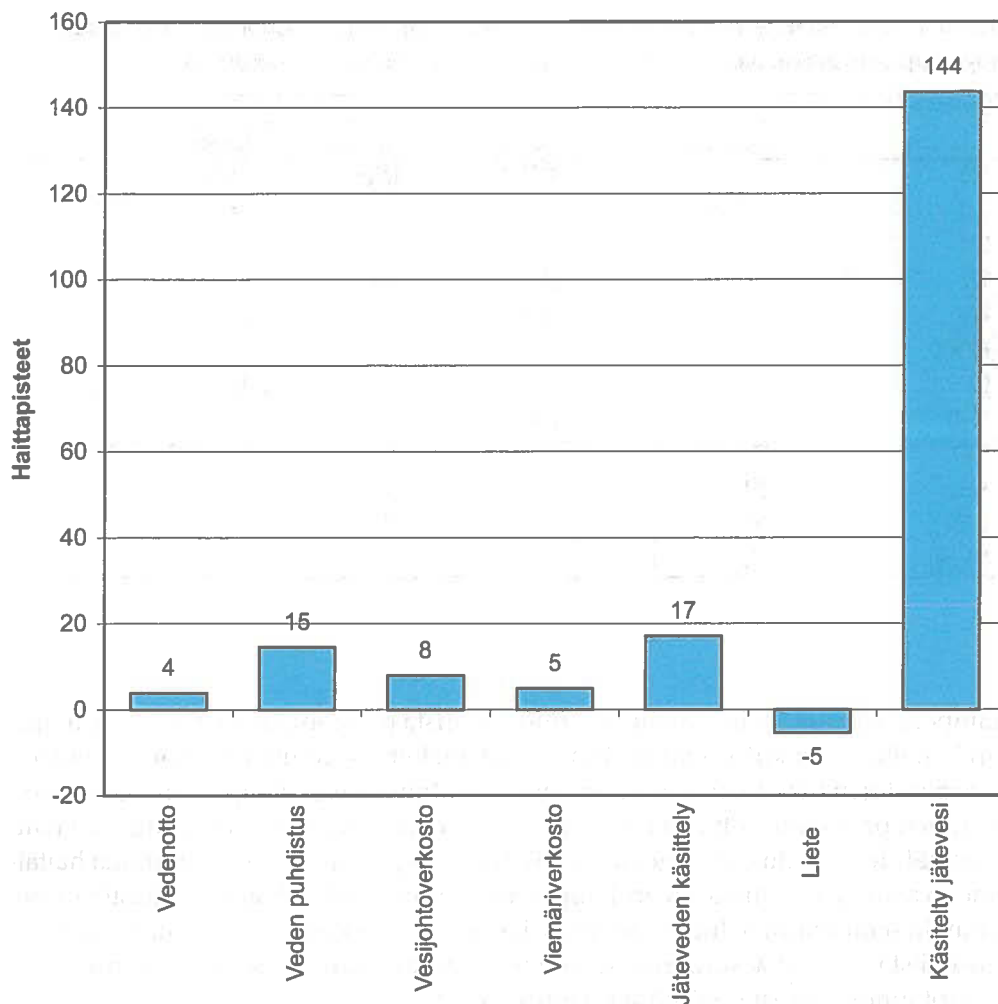
Kuormitustekijä	Haittapisteet		
	Käsittelemätön jätevesi	Käsitelty jätevesi	Käsitellyllä poistettu
CH <sub>4</sub> (A)	85	0	85
P (W)	2059	133	1926
BOD <sub>5</sub> (W)	1649	1	1647
NH <sub>4</sub> (W)	1020	10	1011
Päästöt ilmaan			
<b>Yhteensä</b>	<b>4813</b>	<b>144</b>	<b>4669</b>
			<b>36</b>
			<b>36</b>

### 3.2.3 Lietteestä tuotettu energia ja lietteen lannoitekäyttö

Mädättämöiden biokaasulla tuotetun lämpöenergian ympäristövaikutukset ovat vaikutusarviointimallilla laskettuna noin kolmasosa vastaavan lämpömäärän tuottamisen ympäristövaikutuksista Tampereen kaukolämpölaitoksilla. Ero selittyy hiilidioksidipäästöillä. Mädättämöissä syntyvä biokaasu on uusiutuva polttoaine, jonka polttamisessa muodostuva CO<sub>2</sub> on luonnon CO<sub>2</sub>-kierrossa mukana olevaa hiilidioksidia eikä sillä ole vaikutusta ilmaston muutokseen.

Jäteveden käsittelyn tarvitsema lämpöenergia tuotetaan lietettä mädättämällä saadusta kaasusta. Mädättämöstä saatava ylimääräinen lämpö toimitetaan Tampereen kaukolämpöverkkoon. Tällä lämpömäärällä korvataan Tampereen omaa kaukolämmöntuotantoa. Jäteveden käsittelyn päästöistä voidaan elinkaariarvioinneissa hyväksytyjen allokointisääntöjen mukaan hyvittää kaukolämmöntuotannon päästöillä, jotka muodostuisivat kyseisen lämpömäärän tuottamisesta (taulukko 3). Jäteveden käsittelyn haittapisteet pienenevät tällöin 28,4 haittapisteestä 17,1 haittapisteeseen eli noin 40 prosentilla. (kuva 27).

Lietteen käyttö maanviljelyksessä korvaa väkilannoitteiden käyttöä. Lietteen käytöstä saatava hyöty voidaan arvioida niiden päästöjen avulla, jotka aiheutuisivat lietteellä korvatusen lannoitteen valmistuksesta (taulukko 4). Lietteillä korvatusen lannoitemäärän valmistamisesta aiheutuisi 7,9 haittapisteen suuruinen haitta. Tämä määrä voidaan vähentää lietteiden aiheuttamasta haitasta kaatopaikalla, jolloin lietteen haittapisteet pienenevät 2,5 haittapisteestä -5,4 haittapisteeseen eli lietteistä aiheutui vuonna 1996 enemmän hyötyä kuin haittaa (kuva 27). Lietteen käyttöön liittyy myös muita kuin lannoitehyötyjä. Lietteen orgaaninen aines parantaa maan rakennetta. Näitä hyötyjä ei tässä tarkastelussa ole kuitenkaan otettu huomioon. Toisaalta on muistettava, että lietteet sisältävät runsaasti muita kuin tässä tutkimuksessa mukana olevia aineita ja yhdisteitä, jotka saattavat olla ympäristölle ja ihmisen terveydelle haitallisia.



Kuva 27. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen toimintojen aiheuttamat haittapisteet, kun lietteestä tuotetun kaukolämmön ja lietteiden lannoitekäytön aiheuttamat päästöjen vähenykset otetaan huomioon. Levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori. (vrt. kuva 19)

### 3.2.4 Käsiteltyjen jätevesien suhteellinen merkitys Tampereella

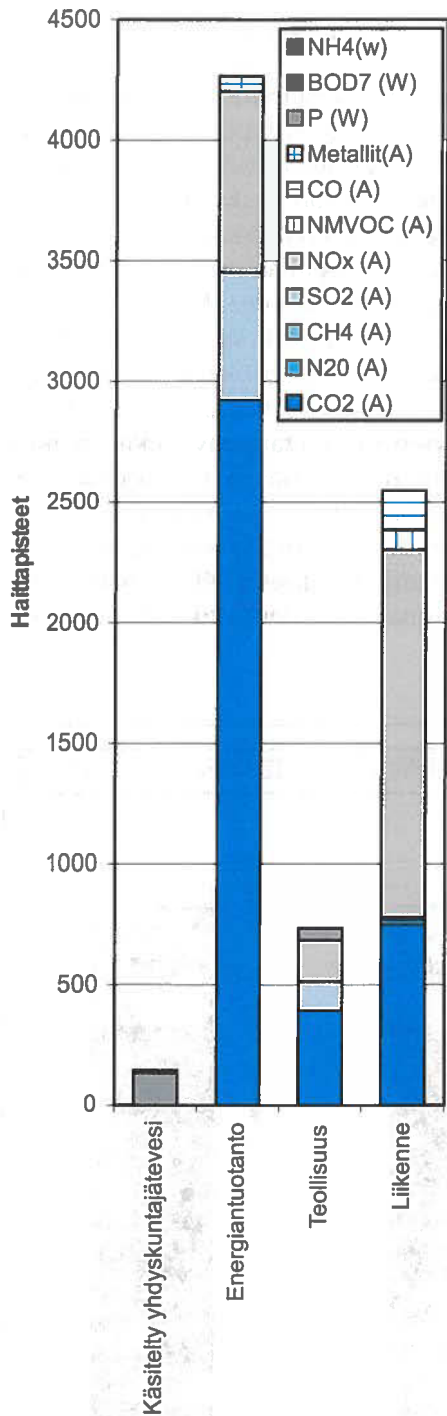
Käsiteltyjen jätevesien aiheuttaman ympäristövaikutuksen suuruusluokan selville saamiseksi selvitettiin myös Tampereen joidenkin muiden sektoreiden päästöjen vaikutukset ympäristöön DAIA-mallilla. Jätevesien vesistövaikutukset laskettiin olettaen, että fosfori on tuotannon minimitekijä. Energiantuotannon, liikenteen ja teollisuuden päästöissä on mukana vain suorat päästöt (taulukko 12). Raaka-aineiden tuotannosta ja hankinnasta aiheutuvia päästöjä ei otettu mukaan. Teollisuuden ja energiantuotannon päästöt ovat ympäristöhallinnon VAHTI-tietojärjestelmästä. Ne on esitetty muun muassa Tampereen ympäristöviraston raporteissa (Elsilä 1997 ja 1998). Liikenteen päästöt ovat VTT:n LIISA-mallilla laskettuja arvoja (Mäkelä ym. 1998).

Taulukko 12. Tampereen kaupungin eri sektoreiden päästöt (tonnia/vuosi). Energiantuotannon (peruslaitokset) päästöt ja yhdyskuntajätevesikuormitus ovat vuodelta 1996, liikenteen ja teollisuuden päästöt ovat vuodelta 1997.

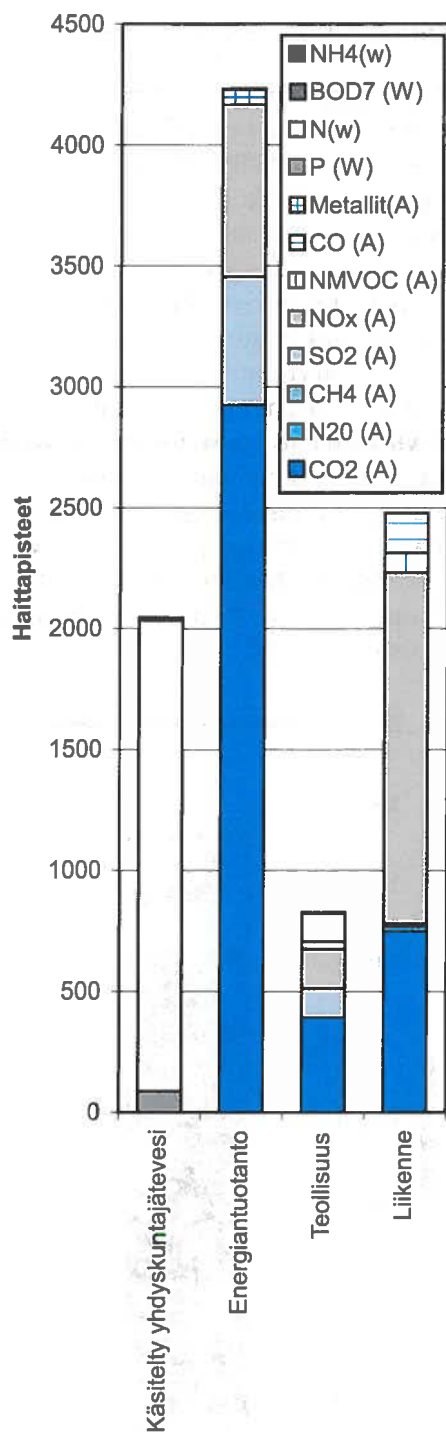
Kuormitustekijä	Päästöt (t/a)			
	Yhdyskuntajätevesi	Energia	Teollisuus	Liikenne
CO2		954253	128069	244261
N2O				22
CH4				65
SO2		761	174	9
NOx		1274	291	2591
NMVOG				1206
CO				7816
As(A)		0,02		
P(w)	12		4	
N(w)	851		50	
DOD7	218		557	
NH4(w)	345			

Tampereen lämmön- ja sähköntuotannon suorista päästöistä aiheutuu selvästi suurin haitallinen vaikutus ympäristöön DAIA-mallilla laskettuna. Samoin liikenteen ilmapäästöjen haittavaikutus on erittäin merkittävä. Myös Tampereen alueen teollisuuden päästöjen haitta ympäristölle on yhdyskuntajätevesistä aiheutuvaan haittaan nähden moninkertainen (kuva 28). Käsiteltyjen jätevesien aiheuttama haitallinen vaikutus ympäristöön on Tampereen muihin merkittävimpiin päästöjä aiheuttaviin sektoreihin nähden vähäinen. Jos jätevesiä ei käsiteltäisi ollenkaan, aiheutuisi niistä noin 10 % suuremmat haittavaikutukset kuin Tampereen perusenergiantuotannon suorista päästöistä (taulukko 11).

Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä levien kasvua rajoittaa fosfori. Suomen rannikkokaupungeissa tilanne on kokonaan toinen. Kuvassa 29 on esitetty tilanne, jos sekä typpi että fosfori säätelisivät levien kasvua Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä.



Kuva 28. Tampereen perusenergiantuotannon, teollisuuden ja liikenteen päästöjen sekä käsiteltyjen yhdyskuntajätevesien aiheuttamat haittapisteet. Levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori.

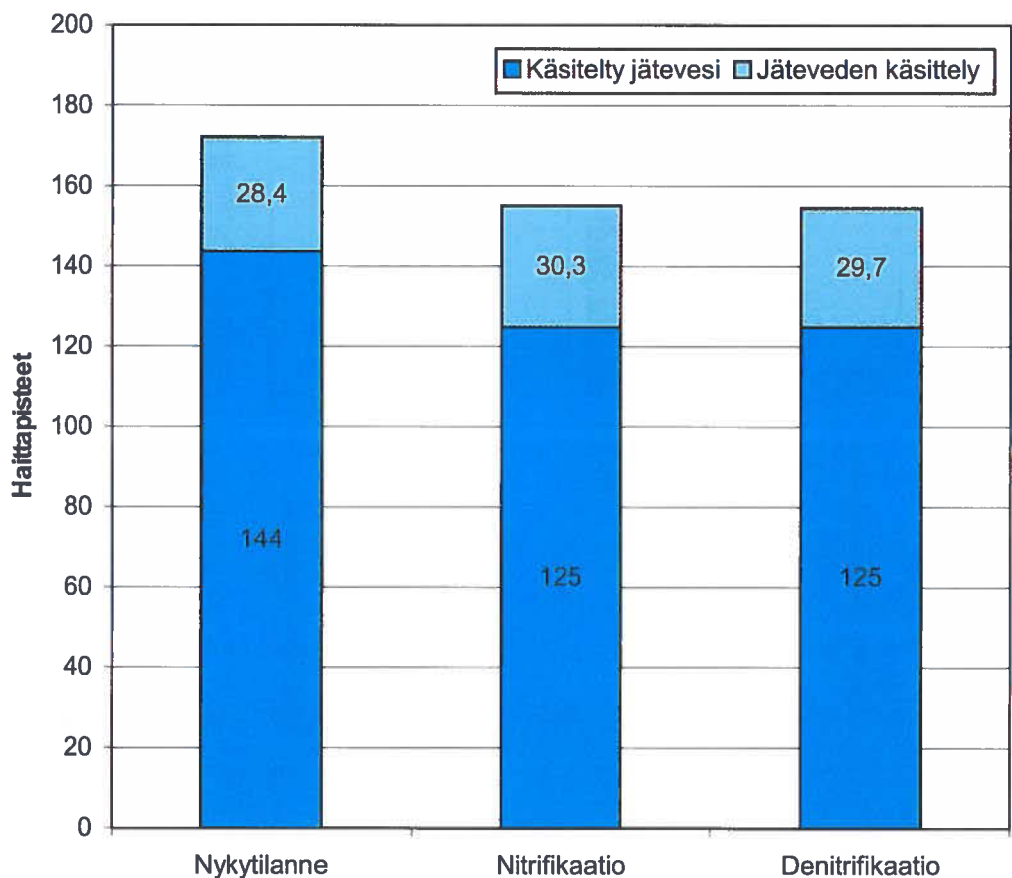


Kuva 29. Tampereen perusenergiantuotannon, teollisuuden ja liikenteen päästöjen sekä käsiteltyjen yhdyskuntajätevesien aiheuttamat haittapisteet, kun levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu sekä fosfori että typpi.

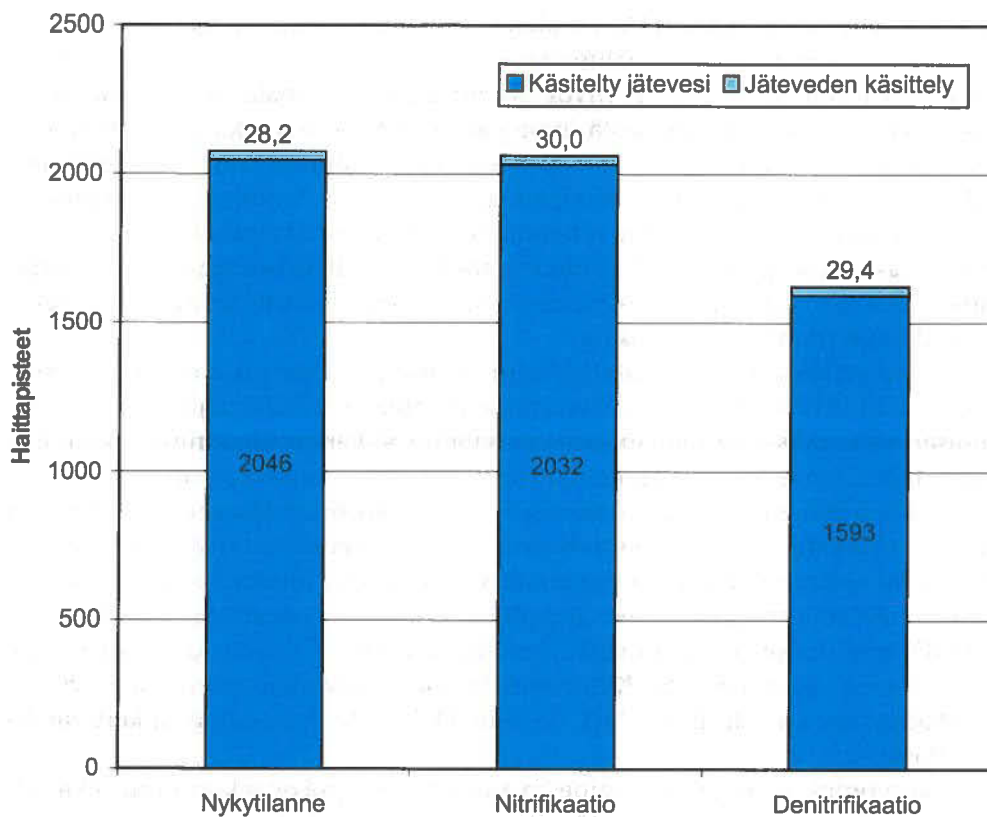
### 3.2.5 Jäteveden käsittelyn tehostamisen ympäristövaikutukset

Jäteveden käsittelyn tehostamiseksi Tampereen vesi- ja viemärilaitos suunnittelee ympärivuotisen nitrifikaation toteuttamista sekä kokonaistypen tehokkaampaa poistoa (denitrifikaatio) Viinikanlahden ja Raholan puhdistamoilla. Suunnitelluilla toimenpiteillä on vaikutusta vesistöön menevän kuormituksen vähenemisen lisäksi myös käsittelyprosessista aiheutuviin päästöihin (taulukot 5 ja 6).

Jäteveden käsittelyn tehostamisen vaikutukset ympäristöön on arvioitu olettaen, että fosfori on Pyhäjärvässä levien kasvua rajoittava tekijä (kuva 30). Lisäksi on arvioitu tilanne, jos levien kasvua rajoittavat sekä fosfori että typpi (kuva 31). Vaikutusarviointilaskelmien (DAIA-malli) perusteella denitrifikaatio ei tuo merkittävästi lisähyötyä pelkään nitrifikaatioon nähden, jos oletus fosforista minimiravinteena on oikea. Jos taas myös typpi on levien kasvua rajoittava tekijä, pelkkä nitrifiointi ei ole mallilaskelmien perusteella kovin kannattavaa. Jos luotetaan siihen, että typpellä ei ole Pyhäjärven rehevöitymisen kannalta merkitystä, voidaan päätyä ratkaisuun, jossa toteutetaan ainoastaan nitrifikaatio. Tällöin säästettäisiin rakennuskustannuksissa ja vuotuisesta energiankulutuksesta aiheutuvat haitat ympäristölle olisivat vain aavistuksen suuremmat kuin denitrifikaatiovaihtoehdossa (kuva 30).



Kuva 30. Jäteveden käsittelyn ja käsitellyn jäteveden aiheuttamat haittapisteet, jos vuoden 1996 jäteveden käsittelyä (nykytilanne) olisi tehostettu nitrifioimalla ja denitrifioimalla. Levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu fosfori.



Kuva 31. Jäteveden käsittelyn ja käsitellyn jäteveden aiheuttamat haittapisteet, jos vuoden 1996 jäteveden käsittelyä (nykytilanne) olisi tehostettu nitrifioimalla ja denitrifioimalla. Levien kasvua rajoittavaksi tekijäksi Tampereen alapuolisessa Pyhäjärvässä on oletettu sekä fosfori että typpi.

### 3.3 Kokonaisarvioinnin herkkyys

#### 3.3.1 Lähtöoletukset

Vaikutusarvioinnissa joudutaan tekemään lukuisia valintoja, jotka perustuvat asiantuntijoiden arvioihin ja oletuksiin. Usein saman alan asiantuntijoillakin on eri näkemys tutkittavasta ilmiöstä. Seuraavassa tarkastellaan joidenkin keskeisten tekijöiden vaikutusta arvioinnin lopputulokseen. Tarkastelu kohdistuu käsiteltyjen jätevesien vesistövaikutuksiin, joilla on ratkaiseva merkitys kokonaisarvioinnin kannalta.

Nykyisen tietämyksen mukaan sisävesissä levien kasvun minimiravinne on joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta fosfori (esimerkiksi Salonen ym. 1992 ja Mäkelä ym. 1995). Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys toteaa raportissaan Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen typen poiston tarpeellisuudesta (Oravainen 1997a), että vesistö tarkastelujen perusteella kokonaistypen poistolla ei saavutettaisi merkittäviä hyötyjä Tampereen alapuolisessa vesistössä. Typen poiston vaikutukset saattaisivat olla pikemminkin haitallisia kuin edullisia vesistön käyttöä ajatellen.

Vaikutusarviointimalleilla ei voida tuoda lisätietoa kysymykseen, mikä ravinne on tuotannon minimitekijästä vesistössä. Malleilla voidaan ainoastaan arvioida eri päästöjen aiheuttaman vaikutuksen suuruutta suhteessa toisiinsa mallissa

tehtyjen oletusten pohjalta. DAIA-mallilla typpi muodostuu selvästi suurimmaksi vaikutusten aiheuttajaksi, jos lähtöoletuksena on että, myös typpi on tuotannon minimitekijä (kuvat 22, 29 ja 31). Myös Ekoindikaattori 95 -malli antaa saman suuntaisen arvion typen merkityksestä. Typen aiheuttaman haitan korostuminen malleissa, johtuu vesistöön pääsevän typen suuresta määrästä. Jäteveden käsittelyn reduktio typen suhteen on varsin alhainen. Jos typpi on tuotannon minimitekijä, aiheutuu noin 93 % vesihuollon aiheuttamista ekologista haitoista tyyppistä DAIA-mallilla laskettuna ja noin 78 % Ekoindikaattori 95 -mallilla laskettuna. Typen ottaminen mukaan malleihin lisää käsitellystä jätevedestä aiheutuvaa haittaa suhteessa muihin vesihuollon vaikutuksiin.

DAIA-mallissa happea kuluttavan orgaanisen aineksen ja ammoniumtypen vaikutukset suhteutettiin Pyhäjärven happitilanteeseen. BOD<sub>7</sub>:n ja NH<sub>4</sub>:n vähentämisen vaikutukset happitilanteeseen arvioitiin 50-kertaa pienemmiksi kuin fosforin eli BOD<sub>7</sub>:n ja NH<sub>4</sub>:n karakterisointikertoimet kerrottiin vaikutuskertoimella 0,02. Tehty muutos perustuu R.Oravaisen (29.4.1999) esittämään arvion siitä, miten paljon nykytilanteessa orgaanisen kuormituksen vähentäminen tämän hetkisestä yhdyskuntajätevesikuormasta parantaisi vesistön happitilannetta suhteessa fosforin vähentämisen vaikutukseen happitilanteeseen. Jos muutosta ei tehtäisi, NH<sub>4</sub> ja BOD<sub>7</sub> aiheuttaisivat DAIA-mallilla laskettuna noin 8 % sijasta (kuva 18) noin 80 % jätevesien vesistöhaitasta. Käsittelemättömien jätevesien aiheuttamaa ympäristöhaittaa on arvioitu ilman NH<sub>4</sub>:lle ja BOD<sub>7</sub>:lle tehtyä muunnosta kertoimella 0,02 (taulukko 11).

Sekä typpi että orgaanisen aines ja ammoniumtyppi ovat kuormitustekijöitä, joilla on voimakas vaikutus vesistövaikutusten arvioinnin tulokseen. Ne ratkaisevat vesistövaikutusten luonteen. Tampereen vesistövaikutusten kokonaisarvioon niillä on vähäisempi vaikutus. Käsiteltyjen jätevesien merkitys selvästi suurimpana ympäristöhaitan aiheuttajana suhteessa muihin Tampereen vesihuollon toimintoihin säilyy.

### 3.3.2 Vaikutusluokkien painotus

Kokonaisarvioinnin lopputulos on aina viimekädessä ratkaistavissa vaikutusluokkien arvottamisella. Vaikutus- eli ympäristöongelma luokat voidaan painottaa perustellusti hyvin monella eri tavalla, vaikka painoja antavat asiantuntijat noudattaisivatkin päätösanalyysin edellyttämää logiikkaa. Eri alojen asiantuntijat antavat herkästi omaan tutkimusalaan liittyvälle ympäristöongelmalle suuremman painon kuin muille ympäristöongelmille.

Vaikutusluokkien arvottaminen voi myös riippua arvottajan tai asiantuntijan "sijaintiin" liittyvästä näkökulmasta. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen päästöjen vaikutuksia voidaan tarkastella esimerkiksi paikallisesta tai globaalista näkökulmasta. Paikallisessa tarkastelussa ympäristövaikutukset, jotka näkyvät ja tuntuvat konkreettisesti, arvotetaan yleensä merkittävimiksi. Mitä kauemmaksi tutkittavasta kohteesta etäännyttään, sitä merkityksettömimmiltä vain paikallisia ympäristöhaittoja aiheuttavat päästöt tuntuvat.

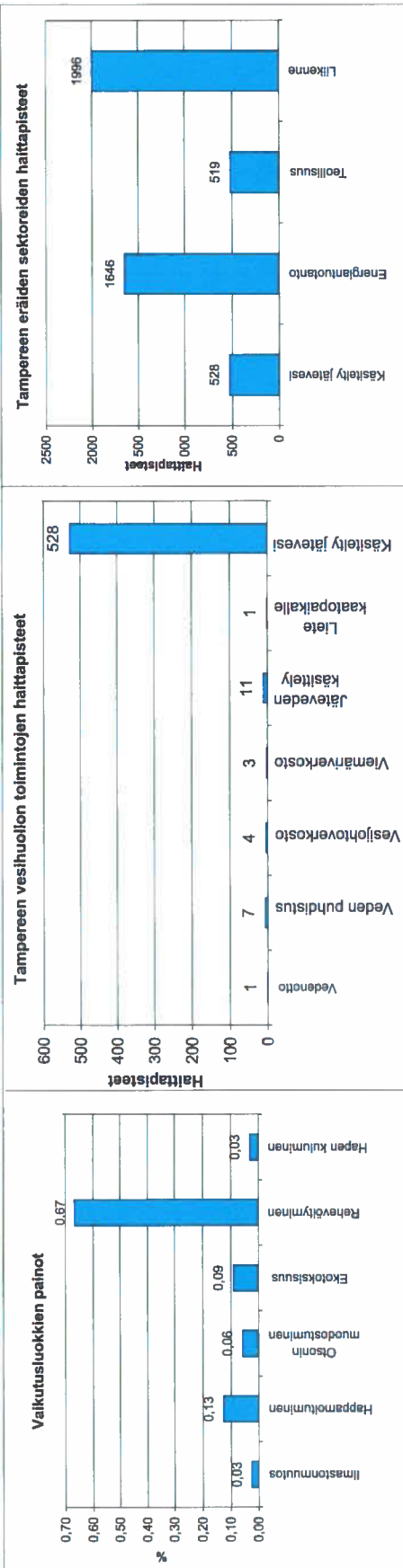
Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen ympäristövaikutuksia kuvaavan DAIA-mallin herkkyyttä vaikutusluokkapainoille tutkittiin viidellä eri painojakaumalla. Lähtökohdaksi otettiin DAIA-mallissa käytetyt asiantuntijapainot kuitenkin siten, että ilmastonmuutokselle ja rehevöitymiselle annettiin yhtä suuret painot. Painot normalisoitiin niin, että niiden summa on yksi. Näin saatuja painoja varioitiin siten, että ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen painojen suhteeksi asetettiin 1/25, 1/5, 5/1 ja 25/1. Muiden vaikutusluokkien painoina käytettiin DAIA-mallin normalisoituja asiantuntijapainoja, kun ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen suhde on 1. Lopuksi painojakaumat normalisoitiin niin, että painojen summa on yksi. Yläilmakehän otsonin vähenemistä aiheuttavia päästöjä ei Tampereen vesi-



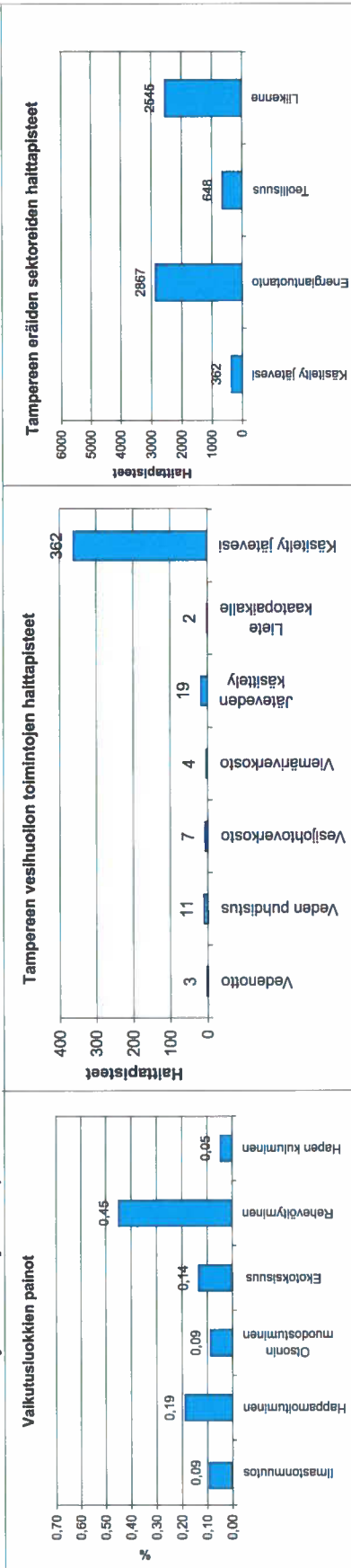
ja viemärlaitoksella synny eikä myöskään välittömästi monimuotoisuutta vähentävää toimintaa ole, joten vaikutusluokat yläilmakehän otsonin väheneminen ja monimuotoisuuden väheneminen eivät ole tarkastelussa mukana.

Ilmaston muutoksen ja rehevöitymisen suhteen voimakkaasti muunnelluilla painojakaumilla laskettiin vesihuollon toimintojen haittapisteet ja Tampereen perusenergiantuotannon, teollisuuden ja liikenteen haittapisteet (kuva 32). Herkkyystarkastelu osoittaa, että käsitelystä jätevedestä aiheutuu suurempi haitta kuin vesihuollon muista toiminnoista, vaikka ilmastonmuutos painotetaan viisi kertaa tärkeämmäksi kuin rehevöityminen. Toisaalta käsiteltyjen jätevesien haitta ympäristölle on noin kolmasosa Tampereen perusenergiantuotannon ja noin neljäsosa Tampereen tieliikenteen aiheuttamasta haitasta, vaikka rehevöityminen painotettaisiin 25 kertaa niin tärkeäksi kuin ilmastonmuutos.

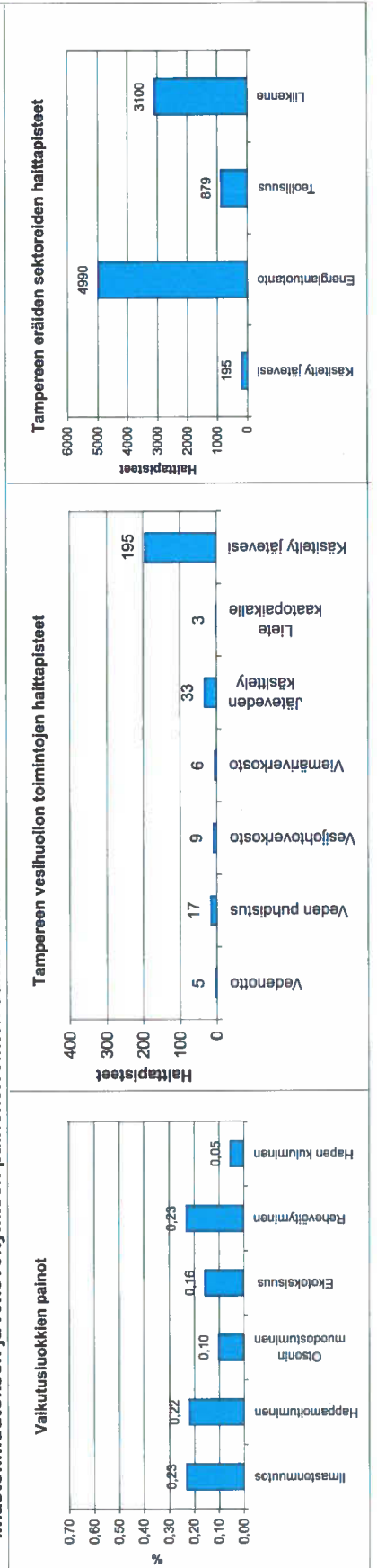
**Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen painokerrointen suhde = 1/25**



**Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen painokerrointen suhde = 1/5**

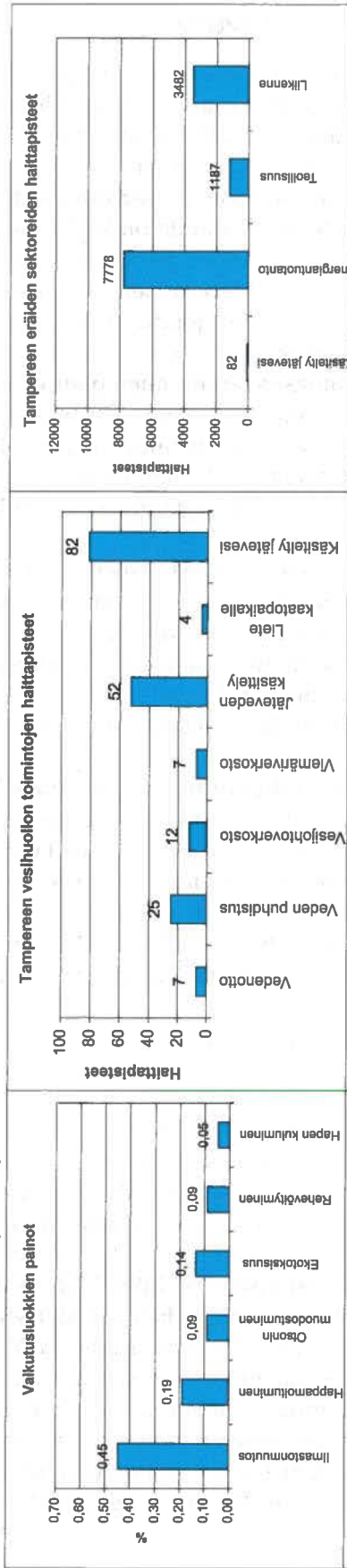


**Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen painokerrointen suhde = 1/1**

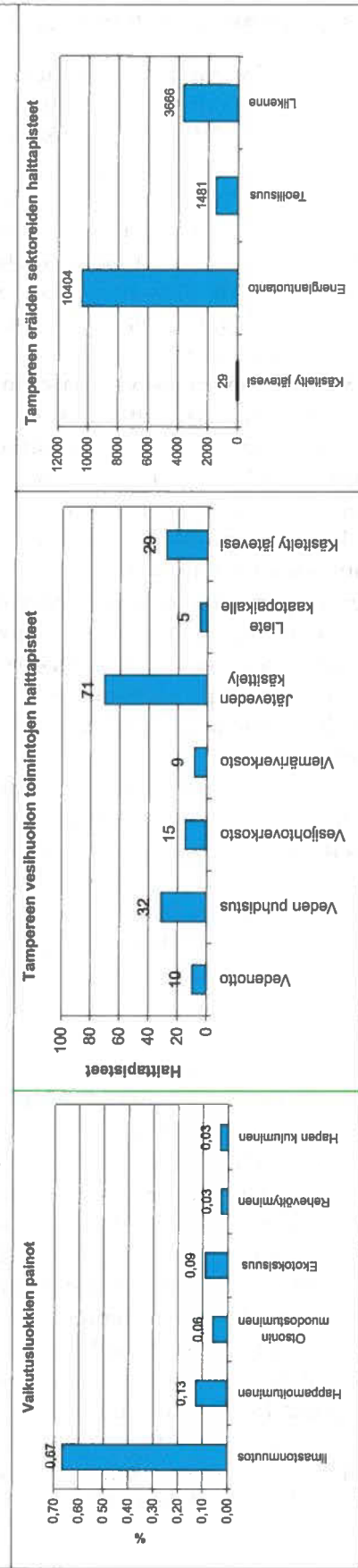


Kuva 32. Vesihuollon toiminnolle, käsitellylle jätevedelle ja Tampereen perusenergiantuotannolle, teollisuudelle ja liikenteelle lasketut haittapisteet, kun vaikutusluokkien painoina on käytetty viittä eri painojakaumaa.

**Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen painokerrointen suhde = 5/1**



**Ilmastonmuutoksen ja rehevöitymisen painokerrointen suhde = 25/1**



### 3.4 Menetelmän soveltuvuus ja luotettavuus

Tampereen vesihuollon ympäristövaikutusten arviointi noudattaa elinkaariarvioinnissa käytettyjä periaatteita ja menettelytapoja. Elinkaariarviointi on kehitetty alkujaan tuotteiden ympäristövaikutusten arviointiin ja vertailuun. Suurin osa elinkaaritutkimuksesta keskittyy edelleenkin tuotteiden analysointiin. Tässä tutkimuksessa elinkaariajattelua on sovellettu koko järjestelmän ympäristövaikutusten selvittämiseen. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen toiminta on käyty kokonaisuudessaan läpi raakaveden otosta käsiteltyjen jätevesien purkuun. Kaikkia päästölähteitä ei ole voitu ottaa inventaarioon mukaan. Merkitykseltään vähäiset toiminnot on sivuutettu. Inventaarion rajauksessa on myös jouduttu tinkimään. Periaatteena on ollut, että raaka-aineiden valmistuksen ja hankinnan päästöjä ei ole otettu mukaan. Esimerkiksi vesi- ja viemärlaitoksen tarvitsemien polttoainesten ja ulkopuolelta hankitun energiantuotannon polttoainesten valmistuksen ja hankinnan päästöt eivät ole mukana. Tutkimuksessa saadun tuloksen kannalta vähäisten päästöjen huomiotta jättämisellä ja tehdyllä raaka-aineita koskevalla rajauksella ei ole juurikaan merkitystä. Poisjääneet päästöt ovat yhteensä arviolta noin 1 - 3 % kaikista Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen päästöistä.

Tutkimuksessa käytetty vaikutusarviointimenetelmä (DAIA-malli) on kehitetty Suomen ympäristöolosuhteisiin. Mallin kehitystyö on tehty Suomen metsäteollisuuden ekologisten vaikutusten arviointihankkeen yhteydessä. Mallia sovellettaessa Tampereen vesihuollon tarkasteluun otettiin huomioon Tampereen alapuolisen Pyhäjärven päästötilanne ja vesistön tila. DAIA-mallin käytön periaatteisiin kuuluu sovelluskohteen päästöjen vaikutusten ja kulkeutumisen huomioon ottaminen.

Vertailutuloksen saamiseksi vaikutusarviointi tehtiin myös toisella mallilla. Ekoindikaattori 95 -malli on Euroopan mittakaavan tehty elinkaariohjelmistoissa laajasti käytetty malli. Ekoindikaattori 95 -mallia sovitettiin joiltakin osin Tampereen olosuhteisiin, vaikka se ei ollut täysin mallin periaatteiden ja oletusten mukaista. Ilman muutoksia malli ei olisi kovin hyvin kuvannut Tampereen vesihuollon ympäristövaikutuksia. Muutosten jälkeen Ekoindikaattori 95 -mallilla saatu tulos tuki DAIA-mallilla saatua arviota Tampereen vesihuollosta aiheutuvia vaikutuksia.

Herkkyystarkastelu on tehty vaikutusluokkien painojen ja joidenkin merkittävimpien päästömuuttujien suhteen. Vesistöön menevä tyyppi on kriittisin tekijä tässä tutkimuksessa saatujen tulosten kannalta. Vaikutusluokkien painojen suhteen tutkimuksen tulos ei ole herkkä. Herkkyystarkastelu vahvisti tutkimuksessa saatua kokonaisarviota Tampereen vesihuollon ympäristövaikutuksista.

Epävarmuusanalyysiä, jossa olisi otettu huomioon kaikkien lähtötietojen vaikutus lopputulokseen, ei ole tehty. Inventaarion päästötietoihin sisältyy muutamien prosenttiyksiköiden virherajat keskeisempien päästöjen osalta. Joidenkin pienempien päästölähteiden ja kemikaalien valmistuksen (ks. luku 3.2.1) osalta virhe voi olla huomattavasti suurempikin. Vaikutusarviointimallien karakterisointikertoimet, normeeraustekijät sisältävät huomattavan paljon epävarmuutta. Merkittävä epävarmuus mallien tuloksiin muodostuu vaikutusluokkien painokertoimista (ks. Seppälä 1997). Päästöjen ja karakterisointikertoimien lukuarvoihin liittyvää epävarmuutta ei ole arvioitu, koska painokertoimien herkkyystarkasteluisista saadut tulokset ovat niin selkeitä, että niiden perusteella voidaan luotettavasti tehdä päätelmiä huolimatta mahdollisesta melko suuresta virhemarginaalista.

## Yhteenveto ja tulosten arviointi

Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena on ollut selvittää Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen kokonaisvaikutukset ympäristöön. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen vuoden 1996 toiminta on käyty kokonaisuudessaan läpi raakaveden otosta käsiteltyjen jätevesien purkuun. Vesi- ja viemärlaitoksen päästöt ja niiden ympäristövaikutukset on arvioitu elinkaariarvioinnin menetelmillä.

Tutkimus jakaantuu kahteen osaan: inventaarioselvitykseen ja vaikutusarviointiin. Inventaarioselvityksessä on arvioitu Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen käyttämät syötteet, joita ovat käytetyt materiaalit ja energia sekä tuotokset, joita ovat valmistetut tuotteet, päästöt ilmaan ja veteen sekä kiinteät jätteet. Vesi- ja viemärlaitoksen toiminnot on jaettu osakokonaisuuksiin, joille inventaariossa kerätyt päästötiedot on kohdennettu (taulukko 2). Osakokonaisuudet ovat vedenotto, veden puhdistus, vesijohtoverkosto, viemäriverkosto, jäteveden käsittely ja lietteiden loppusijoitus. Kemikaalien valmistus, ostosähkön- ja lämmöntuotanto sekä rakennusten ja putkien valmistus ovat mukana inventaarioselvityksessä (kuva 1).

Vaikutusarvioinnissa selvitetään päästöjen potentiaalisia vaikutuksia ympäristöön. Vaikutusarvioinnissa inventaariossa kerätyt kuormitustekijät on jaoteltu erikseen määriteltyihin vaikutusluokkiin tiedossa olevien syysseuraussuhteiden perusteella. Luokitellut tiedot on lasketaan yhteen karakterisointikerrointen avulla kussakin vaikutusluokassa, jolloin tulokseksi on saatu kunkin vaikutusluokan vaikutuksia kuvaava vaikutusluokkaindikaattoriluku. Normalisoinnissa lasketut vaikutusluokkaindikaattoriarvot on jaetaan koko Suomen vastaavilla vaikutusluokkaindikaattoriarvoilla. Lopuksi vaikutusluokkien tiedot on yhdistetty kokonaishaittapisteeksi käyttäen vaikutusluokille asiantuntijoiden antamia painoja.

Vaikutusarvioinnin tulosten mukaan jätevesien käsittelyn kokonaishyödyt ympäristölle ovat merkittävästi suuremmat kuin haitat, jotka syntyvät jätevesien käsittelemisestä (kuva 19 ja taulukko 10). Laskelmien perusteella jätevesien käsittelystä (viemärointi, jätevesien käsittely, lietteiden kaatopaikkakäsittely) aiheutuva ympäristöhaitta on ollut Tampereella vuonna 1996 alle sadasosa käsitellyllä saatuun hyötyyn verrattuna. Jos taas Tampereen yhdyskuntajätevedet johdettaisiin käsittelemättöminä vesistöön, aiheutuisi siitä noin 30-40 kertaa enemmän haittaa ympäristölle kuin, mitä käsitellyistä jätevesistä aiheutuu (taulukko 10). Vaikutusarvioinnin tulosten perusteella voidaan siis todeta, että Tampereen vesilaitos toimii erittäin tehokkaasti ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Tutkimuksen tulosten mukaan noin 70 % Tampereen vesihuollon vaikutuksista ympäristöön aiheutuu käsitellyistä jätevesistä, jotka rehevöittävät vesistöä ja heikentävät vesistön happitilannetta (kuva 19). Veden puhdistus ja jäteveden käsittely sekä muu vesihuoltotoiminta aiheuttaa siten noin kolmasosan vesihuollon vaikutuksista ympäristöön. Tästä vaikutuksesta noin 20 % aiheutuu energian käytöstä. Energiantuotannon päästöt aiheuttavat lähinnä ilmastonmuutosta ja happamoitumista sekä alailmakehän otsonin muodostumista.

Lietteistä saatavan energian ja lannoitteen hyödyntäminen vähentää merkittävästi jäteveden käsittelystä aiheutuvaa räsytystä ympäristölle. Jos otetaan huomioon lietteestä saatu lämpö, jolla korvataan kaukolämmöntuotantoa ja liettei-

den käyttö lannoitteena, joka korvaa väkilannoitteiden tuotantoa, vähenevät jätevesien käsittelyn (viemärointi, jätevesien käsittely, lietteiden kaatopaikkakäsittely) haittapisteet noin puoleen kuvan 19 tilanteesta.

Elinkaariarviointimallilla tehtyjen vertailulaskelmien mukaan Tampereen yhdyskuntajätevesien vaikutukset ympäristöön ovat vähäiset verrattuna Tampereen kaupungin eräiden muiden sektoreiden (perusenergiantuotanto, liikenne ja teollisuus) päästöjen vaikutuksiin (kuva 28). Tulos edustanee melko hyvin tilannetta myös muissa Suomen suurimmissa sisämaan kaupungeissa. Jätevesien käsittely ja muu vesihuolto sekä energiantuotanto ja liikenne ovat järjestetty suurimmissa kaupungeissa samoja periaatteita noudattaen. Eroja kaupunkien välillä syntyy lähinnä teollisen rakenteen ja jätevesien purkuvesistön suhteen. Rannikko-kaupungeissa jätevesien tyyppi lisää käsitellyistä jätevesistä aiheutuvaa haittaa.

Ympäristön suojeluun käytettävien voimavarojen suuntaamisen kannalta tässä tutkimuksessa saatu tulos on varsin mielenkiintoinen. Vaikuttaisi siltä, että jätevesiä kannattaisi vielä jonkin verran puhdistaa lisää nykyisestä tasosta, jos tarkastellaan vain ekologisia tekijöitä eikä oteta huomioon kustannuksia. Toisaalta yhdyskuntajätevesistä ei aiheudu enää kovin merkittäviä ympäristöhaittoja, jos niitä verrataan kaupungin muiden toimintasektoreiden aiheuttamiin ekologiisiin haittoihin. Jätevesien käsittelyn edelleen tehostamisen kannattavuutta tuleekin arvioida rinnan kaupungin energiantuotannon ja myös liikenteen ja teollisuuden päästöjen lisävähentämisen kanssa. Tämän tutkimuksen valossa näyttäisi siltä, että päästöjen vähentämismahdollisuudet ovat paremmat muilla sektoreilla kuin jätevesien käsittelyssä. Ympäristönsuojelun resurssien kohdentamisen kannalta tulisikin jatkossa selvittää, millaisilla kustannuksilla kaupunkien eri toimintasektoreiden aiheuttamaa ympäristöhaittaa voidaan nykyisestä tasosta edelleen vähentää. Toisaalta energiantuotannon ja liikenteen CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämiseksi käytössä ei ole helposti toteutettavia teknisiä ratkaisuja.

Tämä tutkimus luo edellytykset vesihuollon oman toiminnan ekotehokkuuden arvioinnille ja edistämiseksi. Vesihuollon ekotehokkuuden kehittämisessä on neljä osa-aluetta, joiden samanaikaisesta tehostamisesta on kysymys. Vesihuollon ekologisten haittojen vähentäminen, luonnonvarojen käytön vähentäminen, vesihuollon tarjoaman palvelun parantaminen ja toiminnan taloudellisuus ovat ekotehokkaan toiminnan kulmakivet. Käsitellyn jäteveden sisältämät rehevöittävät ravinteet ja energian käyttö ovat ympäristövaikutusten kannalta tärkeimmät tekijät. Energian käytön vähentäminen parantaa toiminnan taloudellisuutta ja samalla vähentää ympäristöhaittoja. Energian tuottaminen lietteestä on ympäristövaikutusten kannalta edullinen ratkaisu. Myös lietteiden hyödyntäminen lannoitteena vähentää ympäristöhaittoja, koska se korvaa lannoitteiden tuotantoa. Saatujen tulosten perusteella vesihuollon ekotehokkuutta voidaan edelleen parantaa ratkaisuilla, joilla poistetaan jätevesien rehevöittäviä ravinteita mahdollisimman energiatehokkaasti, tehostetaan lietteistä saatavan energiantuotantoa ja -käyttöä sekä edistetään lietteiden käyttöä lannoitteena/maanparannusaineena.

# Kirjallisuus

- Bengtsson, M., Lundin, M. & Molander, S. 1997 Life Cycle Assessment of Wastewater Systems. Case Studies of Conventional Treatment, Urine Sorting and Liquid Composting in Three Swedish Municipalities. Göteborg. Chalmers University of Technology, Technical environmental planning report 1997:9. 99 s.
- Boustead, I. 1997. Eco-profiles of the European plastics industry. Report 10: Polymer conversion. Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME).
- Czepllel, P. M., Crill, P. M. & Harriss, R. C. I. 1993. Methane emissions from municipal wastewater treatment processes. *Environ.Sci.-Technol.* 27, 2472-2477.
- Elsilä, A. (toim.) 1998. Tampereen ilmanlaatu 1996. Päästöt ja mittaustulokset. Tampereen kaupunki, ympäristövirasto, ympäristövalvonnan julkaisu 2/1997.
- Elsilä, A. (toim.) 1998. Tampereen ilmanlaatu 1997. Päästöt ja ilmanlaadun mittaustulokset. Tampereen kaupunki, ympäristövirasto, ympäristövalvonnan julkaisu 2/1998.
- Energi- och emissionsuppgifter för godtransporter i Sverige. 1997. Ett konsensusdokument för övergripande jämförelser mellan transportslagen. Ngnätverket för godtransporter och miljön. Lägesbeskrivning.
- Frohagen, J. 1997. Livcykelanalys på tre järnbaserade fällningskemikalier. Chalmers tekniska högskola, Rapport 1997:10.
- Goedkoop, M. 1995. The Eco-indicator 95, Final report. Pre consultants, Amersfoort, The Netherlands, 1995, 85 s.
- Grennfelt, P., Oysten H. & Derwnt, D. 1994. Second Generation Abatement Strategies for NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> and VOCs. *Ambio*, vol. 23, no. 7 s. 425-433.
- Häkkinen, T., Vares, S., Vesikari, E., Saarela, K., Tattari, K. & Säteri, J. 1997. Rakennusmateriaalien ja tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet. Rakennustuoteteollisuus RTT ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT. VTT Tiedotteita 1836.
- International Iron and Steel Institute. 1998. Worldwide LCI database for steel industry products. IISI/Ecobilan.
- ISO (international Organization for Standardization) 2000. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment. ISO/DIS 14042.
- Juuti P. & Katko T. (toim.). Ernomane vesitehras. Tampereen kaupungin vesilaitos 1835 - 1998. Tampereen kaupungin vesilaitos. Tampere 1998. 307 s.
- Kaivonen, J. 1996. Rakennusten ekotaseiden tuottaminen panos-tuotosmenetelmällä, menetelmäkuvaus. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Rakentamistalous 1996/12. 52 s.
- Kaivonen J. 1997. Rakennusten ekotaseiden laskentamalli. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto, Rakentamistalous 1997/7. 114 s.
- Kangas, J., Nevalainen, A., Manninen, A. & Savolainen, H. 1986. Ammonia, hydrogen sulfide and methyl mercaptides in Finnish municipal sewage plants and pumping stations. *The Science of the Total Environment* 57 (1986), s. 49-55. (Viite julkaisussa Salmikangas & Laukkarinen 1990)
- Kemira Chemicals Oy 1998. Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> eco-profile.
- Laukkanen, T. 2000. Jätevedenpuhdistamojen ja niistä syntyvien lietteiden metaanipäästöt. Muistio 29.2.2000. Suomen ympäristökeskus, ympäristökuorimitusyksikkö. (julkaisematon)

- McInnes, G. (ed.) 1996. Joint EMEP/CORINAIR. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. European Environmental Agency. Denmark.
- Mäkelä, K., Kanner, H. & Laurikko, J. 1998. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt, LIISA 97 -laskentajärjestelmä. Espoo. VTT Yhdyskuntateknikka, Tutkimusraportti 456. 41 s.
- Mäkelä, M., Enckell-Sarkola, E., Heinonen P., Knuutila, S., Latostenmaa, H., Munsterhjelm, M. & Salonen, S. 1995. Vesi- ja ympäristöhallinnon typpistrategia vesiensuojelussa; työryhmän ehdotus. Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja nro 505. 69 s.
- Oravainen, R. 1997. Selvitys typen poiston tarpeellisuudesta vesistötarkkailun tulosten perusteella. Tampere, Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Kirje no 1854/RO 13 s.
- Oravainen, R. 1997. Vuosiyhteenveto Tampereen seudun yhteistarkkailusta vuodelta 1996. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Julkaisu no 351. 29 s.
- Pipatti, R. 1994. Metaanin ja typpioksiduulin päästöarviot, päästöjen kehitys ja rajauspotentiaali. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita 1548.
- Puolanne, J. 1997. Puhdistamoliete - jäte vai raaka-aine? Hyötykäytön tulevaisuus? *Vesitalous* 4/1997, s. 12-13.
- Pussinen, J. 1997. Rautatieliikenteen energiankulutus ja päästöt Suomessa. Tampereen teknillinen korkeakoulu, liikenne- ja kuljetusteknikka. Tutkimuksia 24.
- Salonen, S., Frisk, T., Kärmeniemi, T., Niemi, J., Pitkänen, H., Silvo, K. & Vuoristo, H. 1992. Fosfori ja Typpi vesien rehevöittäjinä - vaikutusten arviointi. Vesi- ja ympäristöhallinnonjulkaisuja - sarja A. 139 s.
- Seppälä, J. 1997. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Helsinki. *The Finnish Environment* 123. 137 s.
- Seppälä, J. 1999a. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. In: Klöpffer, W. & Hutzinger, O. (Eds.), *LCA Documents, Vol 4. Eco-Infoma Press, Landsberg*. 174 p.
- Seppälä, J. 1999b. Vaikutusten laskenta elinkaariarvioinnissa - vertailtavana DAIA- ja Ekoindikaattori 95-menetelmät. Suomen ympäristökeskuksen moniste 172. 38 s.
- Seppälä, J. & Jouttijärvi, T. 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Helsinki. Suomen ympäristö 89. 128 s.
- Seppälä, J., Knuutila, S. & Silvo, K. 1999. A Method for Calculation of the Potential Contributions of Nitrogen and Phosphorus to Eutrophication of Aquatic Ecosystems. Käsikirjoitus. 14 s.
- SFS Suomen standardisoimisliitto. 1997. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Standardi SFS-EN ISO 14040.
- Suunnittelukeskus 1997. Tampereen kaupungin vesilaitos Viinikanlahden ja Raholan jätevedenpuhdistamot Nitrifikaatioselvitys. 29.12.1997.
- Tampereen kaupungin sähkölaitos 1998. (<http://www.tampere.fi/sl/> 30.11.1998)
- Tampereen kaupunki. Vesilaitoksen toimintakertomus 1996. 22 s.
- Thorneloe, S.A. 1993. Methane from waste water treatment. Teoksessa: van Amstel, A.R. (toim.) Methane and nitrous oxide. International IPCC Workshop, EUROASE Hotel, Amersfoort, The Netherlands, 3-5 Febr. 1993. Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection. S. 115-130. (RIVM Report no. 481507003) (Viite julkaisussa Pipatti 1994)
- Tillman, A-M., Lundström, H. & Svingby, M. 1996. Livcykelanalys av alternativa avloppsystem i Bergsjön och Hamburgsund. Rapport 1996:1, Teknisk Miljöplanering, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, Ruotsi. (Viite julkaisussa Bengtsson ym. 1997)



Viitasaari, M., Peltokangas, J. & Heinänen, J. 1994. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit. Osa II. Jäteveden käsittely. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Vesi ja ympäristötekniikan laitos. No. A 48

VTT Yhdyskuntatekniikka. 1998. LIPASTO 96. Liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. (<http://www.vtt.fi/yki/lipasto> 2.4.1998)

**Liite 1. Ominaispäästökertoimia****Taulukot**

1. Tampereen sähköntuotannon ominaispäästöt 1993
2. Tampereen kaukolämmöntuotannon ominaispäästöt 1996
3. Ajoneuvokuljetusten keskimääräiset päästökertoimet 1996 (VTT Yhdyskuntatekniikka 1998)
4. Laivaliikenteen ominaispäästöt (Energi- och emissionsuppgifter för godtransporter i Sverige 1997)
5. Dieseljunaliikenteen ominaispäästöt 1996 (Pussinen 1997)
6. Määtämmökaasun polton ominaispäästöt (Bengtsson ym. 1997 ja Ekqvist 23.2.1998)
7. HDPE-muoviputken valmistus, 1 kg (Boustead 1997)
8. Valuraudan valmistus, 1 kg (Tillman ym. 1996)
9. PVC-muoviputken valmistus (Boustead 1997)
10. Betonin valmistus, 1 kg (Kaivonen 1998)
11. Tiilen valmistus, 1 kg (Häkkinen ym 1997)
12. Rakennukset, tuotanto ja kunnossapito, 1m<sup>3</sup> (Kaivonen 1998)

Taulukko 1. Tampereen sähköntuotannon ominaispäästöt 1993 (Suomen ympäristökeskus, J. Petäjä 28.10.1998).

<b>Päästö- muuttuja</b>	<b>Ominaispäästö g/kWh</b>
CO <sub>2</sub>	303,516
N <sub>2</sub> O	0,006
CH <sub>4</sub>	0,012
SO <sub>2</sub>	0,209
NO <sub>x</sub>	0,384
CO	0,072
VOC	0
As	4,34E-06
Cr	6,36E-06
Ni	6,20E-06
Pb	3,10E-06
Cd	1,55E-07
Hg	3,10E-07
Zn	1,13E-05
Mn	3,57E-05
Hiukkaset	0,031

Taulukko 2. Tampereen kaukolämmöntuotannon ominaispäästöt 1996 (Suomen ympäristökeskus, J. Petäjä 28.10.1998).

Päästö- muuttuja	Ominaispäästö g/kWh
CO <sub>2</sub>	327,112
N <sub>2</sub> O	0,007
CH <sub>4</sub>	0,011
SO <sub>2</sub>	0,306
NO <sub>x</sub>	0,467
CO	0,063
VOC	0
As	6,35E-06
Cr	9,30E-06
Ni	9,07E-06
Pb	4,53E-06
Cd	2,27E-07
Hg	4,53E-07
Zn	1,66E-05
Mn	5,21E-05
Hiukkaset	0,045

Taulukko 3. Ajoneuvokuljetusten keskimääräiset päästökertoimet 1996 (VTT Yhdyskuntateknikka 1998).

	yks.	Henkilöauto ei kat	Pakettiautot diesel	Kuorma-autot ilman p.	Kuorma-autot peräv.
<b>Kadut</b>					
CO	g/km	17	1,3	7,8	
HC	g/km	2,4	0,05	2,6	
NO <sub>x</sub>	g/km	2,5	1,9	10	
Hiukk.	g/km	0,036	0,21	1,1	
CH <sub>4</sub>	g/km	0,11	0,008	0,14	
N <sub>2</sub> O	g/km	0,0063	0,019	0,028	
SO <sub>2</sub>	g/km	0,012	0,053	0,16	
CO <sub>2</sub>	g/km	202	296	893	
Poltton.	g/km	64	94	284	
Poltton.	l/100 km	8,6	11	34	
<b>Maantiet</b>					
CO	g/km	7,3	0,75	1,8	4,9
HC	g/km	1,2	0,22	0,97	1,7
NO <sub>x</sub>	g/km	3,4	1,5	9,7	12
Hiukk.	g/km	0,043	0,21	0,85	1,3
CH <sub>4</sub>	g/km	0,051	0,0058	0,12	0,12
N <sub>2</sub> O	g/km	0,006	0,019	0,042	0,042
SO <sub>2</sub>	g/km	0,01	0,047	0,11	0,17
CO <sub>2</sub>	g/km	169	262	614	927
Poltton.	g/km	54	83	195	294
Poltton.	l/100 km	7,2	9,8	23	35

Taulukko 4. Laivaliikenteen ominaispäästöt (Energi- och emissionsuppgifter... 1997).

Päästömuuttuja		Ominaispäästö
Energia	MJ/tkm	0,279
Energia	kWh/tkm	0,078
CO <sub>2</sub>	g/tkm	21,328
SO <sub>2</sub>	g/tkm	0,362
NO <sub>x</sub>	g/tkm	0,535
CO	g/tkm	0,0245
HC	g/tkm	0,0147
PM	g/tkm	0,0204

Taulukko 5. Dieseljuna liikenteen ominaispäästöt 1996 (Pussinen 1997).

Päästömuuttuja		Ominaispäästö
CO <sub>2</sub>	g/tkm	31
SO <sub>2</sub>	g/tkm	0,023
NO <sub>x</sub>	g/tkm	0,62
CO	g/tkm	0,079
HC	g/tkm	0,089
Hiukk.	g/tkm	0,013
Poltton.	l/tkm	0,011

Taulukko 6. Mädättämökaasun polton ominaispäästöt (Bengtsson ym. 1997 ja Suomen ympäristökeskus, Ekqvist 23.2.1998).

Päästömuuttuja	Ominaispäästö g/kWh
CO <sub>2</sub> kierr.	261,85
N <sub>2</sub> O	0,052
CH <sub>4</sub>	0,031
NO <sub>x</sub>	0,741
CO	0,174
VOC	0,028

Taulukko 7. HDPE-muoviputken valmistus, 1 kg (Boustead 1997).

<b>HDPE-putken valmistus, 1 kg</b>		
<b>RAAKA-AINEET</b>		
Bauksiitti	g	0,2
Natriumkloridi	g	4
Rautamalmi	g	2,4
Kalkkikivi	g	0,8
Vesi	g	35145,1
<b>ENERGIA</b>		
Hiili	MJ	4,186
Öljy	MJ	12,719
Kaasu	MJ	21,5
Vesivoima	MJ	0,44
Ydinenergia	MJ	2,066
Muu energia	MJ	0,235
Energia yht.	MJ	41,146
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN</b>		
Pöly	g	3,3
CO	g	0,91
CO <sub>2</sub>	g	2500
SO <sub>x</sub>	g	10
NO <sub>x</sub>	g	14
HCl	g	0,09
Hiilivedyt	g	24
<b>PÄÄSTÖT VETEEN</b>		
COD	g	0,22
BOD	g	0,1
Metalli-ionit	g	0,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	g	0,01
Kloori	g	0,8
Hiilivedyt	g	0,15

Taulukko 8. Valuraudan valmistus, 1 kg (Tillman ym. 1996).

<b>Valuraudan valmistus, 1 kg</b>		
<b>RAAKA-AINEET</b>		
Rauta	g	1410
Hiili	g	56,7
Kalkkikivi	g	38,01
<b>ENERGIA</b>		
Masuunikaasu	MJ	-2,14
Koksi	MJ	-0,205
Koksikaasu	MJ	-0,543
Sähkö	MJ	1,752
Hiili	MJ	14,39
Kaasu?	MJ	-0,26
Öljy	MJ	2,78
Energia yht.	MJ	15,774
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN</b>		
CO	g	0,586
CO2	g	2140
Dioksiini	pg	2,21
HC	g	0,403
NOx	g	4,45
PAH	g	0,000323
Partikkelit	g	1,372
P-tot	g	0,000944
SO2	g	9,84
<b>PÄÄSTÖT VETEEN</b>		
As	g	0,000009
Cd	g	0,000003
Cr	g	0,000001
Cu	g	0,000064
Dioksiini	pg	2040
Fe	g	0,00781
Mn	g	0,00218
N-tot	g	0,0501
Öljy	g	0,000808
Pb	g	0,000314

Taulukko 9. PVC-muoviputken valmistus (Boustead 1997).

<b>PVC-putken valmistus, l kg</b>		
<b>RAAKA-AINEET</b>		
Bauksiitti	g	0,2
Natriumkloridi	g	677,5
Rautamalmi	g	2,5
Hiekka	g	1
Kalkkikivi	g	15,7
Vesi	g	34762,8
<b>ENERGIA</b>		
Sähkö	MJ	2,741
Hiiili	MJ	4,186
Öljy	MJ	12,719
Kaasu	MJ	21,5
Yht.	MJ	41,146
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN</b>		
Pöly	g	5,1
CO	g	2,8
CO2	g	2200
SOx	g	17
NOx	g	18
HCl	g	0,27
Hiilivedyt	g	22
<b>PÄÄSTÖT VETEEN</b>		
COD	g	1,1
BOD	g	0,08
Metalli-ionit	g	5
Kloori	g	42
Pesuaine/öljy	g	0,05
SO4-	g	1,5

Taulukko 10. Betonin valmistus, l kg (Kaivonen 1997).

<b>Betonin valmistus, l kg</b>		
<b>ENERGIA</b>		
Energia yht.	MJ	1,59
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN</b>		
CO2	g	151,14
CO2 kierr.	g	3,16
SOx	g	0,30
NOx	g	0,54
CH4	g	0,13

Taulukko 11. Tiilen valmistus, 1 kg (Häkkinen ym 1997).

<b>Poltetun tiilen valmistus, 1 kg</b>		
<b>ENERGIA</b>		
Energia yht.	MJ	3,42
Uusiutumaton	MJ	2,90
Uusiutuva	MJ	0,52
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN</b>		
CO <sub>2</sub>	g	200,00
SO <sub>x</sub>	g	1,50
VOC (eteeni)	g	0,024

Taulukko 12. Rakennukset, tuotanto ja kunnossapito 1m<sup>3</sup> (Kaivonen 1997).

<b>Rakennukset, tuot. ja kunnossapito</b>		<b>1 m<sup>3</sup></b>
<b>ENERGIA</b>		
Energia yhteensä	MJ	40,053
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN</b>		
CO <sub>2</sub> kierr.	kg	0,274
CO <sub>2</sub>	kg	1,903
N <sub>2</sub> O	kg	4,00E-05
CH <sub>4</sub>	kg	0,001
SO <sub>2</sub>	kg	0,006
NO <sub>x</sub>	kg	0,007



## **Liite 2. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen inventaario**

Seuraavissa taulukoissa on esitetty Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen vuoden 1996 inventaario vaiheittain:

### **VESILAITOS**

#### **YLEISTÄ**

Taulukko 1. Vedenhankinta, käsittely ja pumppaus johtoverkkoon.

Taulukko 2. Vesilaitoksen rakennusten tilavuudet.

#### **VEDENOTTO**

Taulukko 3. Vedenoton sähköenergian kulutus.

Taulukko 4. Vedenoton imujohdot.

#### **VEDENPUHDISTUS**

Taulukko 5. Vedenpuhdistamoiden sähköenergian kulutus.

Taulukko 6. Vedenpuhdistamoiden kaukolämmön kulutus.

Taulukko 7. Vedenpuhdistuksen kuljetukset.

Taulukko 8. Kemikaalien käyttö vedenkäsittelyssä.

Taulukko 9. Vedenpuhdistuskemikaalien kuljetukset.

#### **VESIJOHTOVERKOSTO**

Taulukko 10. Vesijohtoverkoston (paineenkorotuspumppaamoiden) sähköenergian kulutus.

Taulukko 11. Vesijohtoverkoston kaukolämmön kulutus.

Taulukko 12. Vesijohtoverkoston kuljetukset.

Taulukko 13. Vesijohtoverkoston putket.

### **VIEMÄRILAITOS**

#### **YLEISTÄ**

Taulukko 14. Puhdistetut jätevesimäärät laitoksittain.

Taulukko 15. Viemärlaitoksen rakennusten tilavuudet.

#### **VIEMÄRIVERKOSTO**

Taulukko 16. Viemäriverkoston pumppaamoiden sähköenergian kulutus.

Taulukko 17. Viemäriverkoston kuljetukset.

Taulukko 18. Viemäriverkoston putket.

#### **JÄTEVEDEN KÄSITTELY**

Taulukko 19. Jäteveden käsittelyn sähköenergian kulutus.

Taulukko 20. Jäteveden käsittelyn kaukolämmön kulutus.

Taulukko 21. Metaanipäästöt ilmaan jäteveden käsittelystä.

Taulukko 22. Hiilidioksidi- ja typpioksiduulipäästöt ilmaan jäteveden käsittelystä.

Taulukko 23. Mädättämökaasun muodostuminen jätevedenpuhdistamoilla.

Taulukko 24. Energiantuotanto mädättämökaasusta jätevedenpuhdistamoilla.

Taulukko 25. Kemikaalien käyttö jätevedenpuhdistuksessa.

Taulukko 26. Jäteveden käsittelyn kemikaalien kuljetukset.

#### **LIETTEEN LOPPUSIJOITUS**

Taulukko 27. Jätevesilietteen määrä ja loppusijoitus.

Taulukko 28. Jätevesilietteen kuljetukset.

Taulukko 29. Jätevesilietteen sisältämät ravinteet ja raskasmetallit.

#### **KÄSITELLYN JÄTEVEDEN PURKU VESISTÖÖN**

Taulukko 30. Käsitellyn jäteveden aiheuttama vesistökuormitus.

## VESILAITOS YLEISTÄ

Taulukko I. Vedenhankinta, käsittely ja pumppaus johtoverkkoon.

	Hankittu ja puhdistettu raakavettä m <sup>3</sup>	Pumpattu johtoverkkoon	
		m <sup>3</sup>	%
<b>I Pintavesilaitokset</b>			
Rusko	13920630	12809087	68 %
Kaupinoja	53280	0	0 %
Polso	31836	21136	0,1 %
Kämmenniemi	24453	24421	0,1 %
<b>Pintavesi yht.</b>	<b>14030199</b>	<b>12854644</b>	<b>68 %</b>
<b>II Pohjavesilaitokset</b>			
Mustalampi	1317143	1317143	7 %
Messukylä	1952400	1945152	10 %
Hyhky	489073	489073	3 %
Pinsiö	1326108	1326108	7 %
Julkujärvi	318471	318471	2 %
<b>Tre pohjavesi yht.</b>	<b>5403195</b>	<b>5395947</b>	<b>29 %</b>
<b>Tre kaikki yht.</b>	<b>19433394</b>	<b>18250591</b>	<b>97 %</b>
<b>III Pohjaveden osto</b>			
Ylöjärven kunnalta	608626	608626	3 %
<b>Pohjavesi yht.</b>	<b>6011821</b>	<b>6004573</b>	<b>32 %</b>
<b>Kaikki yht.</b>	<b>20042020</b>	<b>18859217</b>	<b>100 %</b>

Taulukko 2. Vesilaitoksen rakennusten tilavuudet, arvio. (Tampereen vesilaitos H. Niemi 13.3.1998)

	m <sup>3</sup>
<b>VEDENOTTO</b>	
Roineen pumppaamo	841
<b>Yhteensä</b>	<b>841</b>
<b>VEDEN PUHDISTUS</b>	
Puhdistamot	
Rusko	34581
Hyhky	1480
Kauppi	25400
Messukylä	3680
Mustalampi	291
Julkujärvi	111
Pinsiö	280
Kämmenniemi	415
Polso	2100
<b>Yhteensä</b>	<b>68338</b>
<b>VESIJOHTOVERKOSTO</b>	
Vesisäiliöt	
Kauppi	11000
Pyynikki	3300
Hervanta	5000
Peltolampi	6000
Tesomajärvi	12000
<b>Yhteensä</b>	<b>37300</b>
<b>PAINEENKOROTUSPUMPPAAMOT</b>	
Satakunnankatu	156
Koivistonkylä	130
Pohjanmaantie	100
Pispala	46
Holvasti	68
Hervanta	150
Rusko-Hervanta	370
Aitolahti	54
Hallila Länsi	49
Hallila Itä	51
<b>Yhteensä</b>	<b>1174</b>

**VEDENOTTO**

Taulukko 3. Vedenoton sähköenergian kulutus.

	Sähkö kWh/a
Roine	2678567
Messukylä	195240
Hyhky	29344
<b>Yht.</b>	<b>2903152</b>

Taulukko 4. Vedenoton imujohdot.

<b>VEDENOTTO, IMUJOHDOT</b>					
	materiaali	läpimitta (mm)	pituus (m)	kg/m	t
Kaupinoja	puu (ei mukana)	900	640		
	muovi (HDPE)	1000	210	181	38
Roine	muovi (HDPE)	300	315	26	8
Kämmenniemi	muovi (HDPE)	250	200	16,7	3
<b>Yht.</b>					<b>50</b>

**VEDENPUHDISTUS**

Taulukko 5. Vedenpuhdistamoiden sähköenergian kulutus.

	<b>Sähkö</b> <b>kWh/a</b>
<b>I Pintavesilaitokset</b>	
Rusko	3698974
Kaupinoja	163743
Polso	95523
Kämmenniemi	89410
<b>Pintavesi yht.</b>	<b>4047650</b>
<b>II Pohjavesilaitokset</b>	
Mustalampi	839411
Messukylä	683710
Hyhky	131516
Pinsjö	298460
Julkujärvi	83485
<b>Pohjavesi yht.</b>	<b>2036582</b>
<b>Kaikki yht.</b>	<b>6084231</b>

Taulukko 6. Vedenpuhdistamoiden kaukolämmön kulutus.

	<b>Kaukolämpö</b> <b>kWh/a</b>
<b>I Pintavesilaitokset</b>	
Rusko	1481480
Kaupinoja	339550
<b>Yht.</b>	<b>1821030</b>

Taulukko 7. Vedenpuhdistuksen kuljetukset

Vedenpuhd. kulj. 1600	km, kuorma-auto, kadut
-----------------------	------------------------

Taulukko 8. Kemikaalien käyttö vedenkäsittelyssä.

	Alumiini- sulfaatti kg	Poltettu kalkki kg	Sammutettu kalkki kg	Vesilasi	Hiiili- dioksidi kg	Kloori	Natrium- kloriitti kg	Natrium- hypokloriitti kg	Natrium- hydroksidi kg	Sooda kg	Oulu- pac kg
Rusko	300997	304118			323118	12801	11880				
Kaupinoja*	2664		1332	562		173	23			936	1475
Polso								324		598	1947
Kämmenniemi								648		1534	3422
<b>Pintavesil. yht. 303661</b>	<b>304118</b>	<b>1332</b>	<b>1332</b>	<b>562</b>	<b>323118</b>	<b>12974</b>	<b>11903</b>	<b>648</b>	<b>270292</b>	<b>1534</b>	<b>3422</b>
Mustalampi						588			101472		
Messukylä						1756			112120		
Hyhky								898	17150		
Pinsiö								2627	33180		
Julkujärvi								417	6370		
<b>Pohjavesil. yht.</b>	<b>304118</b>	<b>1332</b>	<b>1332</b>	<b>562</b>	<b>323118</b>	<b>15318</b>	<b>11903</b>	<b>4590</b>	<b>270292</b>	<b>1534</b>	<b>3422</b>
<b>Kaikki yht. 303661</b>											

Taulukko 9. Vedenpuhdistuskemikaalien kuljetukset.

Kemikaali	Valm./maahant., paikka	Kuorman koko	Autotyyppi	Kuormia/a	Etäisyys km/a
Alumiinisulfaatti	Kemira, Harjavalta	40 t	rekka	8	1808
Poltettu kalkki	Partek Nordkalk, Parainen	40 t	rekka	8	2816
Sammutettu kalkki	Partek Nordkalk, Parainen	-	-	-	-
Vesilasi	?	-	-	-	-
Hiiidioksidi	Oy AGA Ab, Porvoo	34 t	rekka	10	189
Kloori	Finnish Chemicals, Joutseno	50 t	juna	tkm	5223
		2*864 kg	kuorma-auto	9	1260
Natriumkloriitti	Hoechst Finland, Saksa	15 t	rekka	1	1300
Natriumhypokloriitti	Finnish Chemicals	24*30 l (1,2816 t)	kuorma-auto	4	2600
Natriumhydroksidi	Säteri, Saksa, Hollanti, Belgia	5000-6000	laiva	tkm	560
		40	rekka	7	405438
		13	kuorma-auto	21	2688
Sooda	Algol, Englanti	18 t	laiva	tkm	1260
		1 t	kuorma-auto	2	2761,2
Oulupac	Oulu Oy		kuorma-auto	1	688
				491	982

## VESIJOHTOVERKOSTO

Taulukko 10. Vesijohtoverkoston (paineenkorotuspumppaamoiden) sähköenergian kulutus.

Pumpattu vesimäärä m <sup>3</sup> /a	Sähkö kWh/a
5223030	941548

Taulukko 11. Vesijohtoverkoston kaukolämmön kulutus

	Kaukolämpö kWh/a
Kaupin säiliö	382480

Taulukko 12. Vesijohtoverkoston kuljetukset.

Vesijohtoverkosto	km/a
Kuorma-autot (7 kpl), kadut	138400
Pakettiautot (18 kpl), kadut	360000
Henkilöautot (km-korvauksilla ajavat), kadut	135000

Taulukko 13. Vesijohtoverkoston putket.

VESIJOHTOVERKOSTO, HDPE-muoviputket:			
halkaisija mm	pituus m	metripaino kg/m	massa t
355	46	33,7	2
315	48	26,6	1
180	41	8,73	0
160	3288	6,77	22
110	105944	3,19	338
90	511	2,16	1
63	13278	1,07	14
40	608	0,44	0
32	355	0,28	0
<b>Yht.</b>	<b>124119</b>		<b>379</b>

VESIJOHTOVERKOSTO, valurautaputket			
halkaisija mm	pituus m	metripaino kg/m	massa t
800	10926	200	2185
600	9342	147	1373
500	16966	111,5	1892
400	22854	80,3	1836
350	1696	82,7	140
300	49065	53,8	2641
275	1959	48,2	94
250	21197	42,5	901
225	6122	37,4	229
200	75018	32,3	2426
175	4414	28,2	124
150	123308	24	2959
125	47101	19,8	934
100	119275	15,8	1889
80	4470	13	58
50	10193	10	102
<b>Yht.</b>	<b>523906</b>		<b>19784</b>

# VIEMÄRILAITOS

## YLEISTÄ

Taulukko 14. Puhdistetut jätevesimäärät laitoksittain 1996.

Viinikanlahti	Rahola	Kämmenniemi	Polso	Yht.
m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a
21260727	5140951	33935	31238	26466851

Taulukko 15. Viemärlaitoksen rakennusten tilavuudet, arvio (Tampereen vesilaitos, H. Niemi 13.3.1998)

### VIEMÄRIVERKOSTO

Jätevedenpumppaamot	m <sup>3</sup>
<b>Yhteensä</b>	<b>5300</b>

### JÄTEVEDEN KÄSITTELY

#### Jätevedenpuhdistamot

Viinikanlahti	20000
-allas- tms. tilavuus	56450
Rahola	3000
-allas- tms. tilavuus	17190
Polso	132
Kämmenniemi	132
<b>Yhteensä</b>	<b>96904</b>

## VIEMÄRIVERKOSTO

Taulukko 16. Viemäriverkoston pumppaamoiden sähköenergian kulutus.

	Sähkö kWh/a
<b>Pumppaamot yht.</b>	<b>1029777</b>

Taulukko 17. Viemäriverkoston kuljetukset

### VIEMÄRIVERKOSTO

<b>Pumppaamot</b>	<b>km</b>
kuorma-auto (1 kpl), kadut	20000
henkilöauto, kadut	5000
<b>Verkosto (viemärihuolto)</b>	
kuorma-autot (7 kpl), kadut	140000
pakettiautot (3 kpl), kadut	60000
henkilöauto, kadut	25000

Taulukko 18. Viemäriverkoston putket.

	pituus m	metripaino kg/m	massa t
Betoniputkia	838033	67,74	56769
Muoviputkia	237024	8,56	2029
Muita putkia (tiili)	12774	40,06	512
<b>Yht.</b>	<b>1087831</b>		

Oletus: keskimääräinen putkikoko n. 250 mm. betoni- ja tiiliputkilla 400 mm.

## JÄTEVEDEN KÄSITTELY

Taulukko 19. Jäteveden käsittelyn sähköenergian kulutus vuonna 1996.

	Sähkö kWh/a
Viinikanlahti	6287242
Rahola	1376640
Kämmenniemi	57023
Polso	64484
<b>Yht.</b>	<b>7785389</b>

Taulukko 20. Jäteveden käsittelyn kaukolämmön kulutus vuonna 1996.

	Kaukolämpö kWh/a
Viinikanlahti:	
Kiinteistöjen lämmitys	1462060
Mädättämö	3415720
<b>Kaukolämmön kulutus yht. 4877780</b>	

Taulukko 21. Metaanipäästöt ilmaan jäteveden käsittelyssä Pipatin (1994) laskutavalla. Vaikutusarvioinnissa käytetty Czepiel et.al. (1993) tutkimukseen perustuvaa arviota (ks. luku 2.2.5).

Saapuva BOD7atu	kg/a	5652408
Lähtevä BOD7atu	kg/a	218168
Jätevesilietteen BOD (35 g/as/vrk)	kg/a	2791976
Asukkaita viemäriin liitettynä	as	218550
Puhd.prosessissa hajonnut BOD (saapuva-poistuva-lietteen BOD)	kg/a	2642263
Hajonnut anaerobisesti (5%)	kg/a	132113
Metaanipäästöt (0,22 kg CH <sub>4</sub> /kgBHK)	kg/a	<b>29065</b>

Taulukko 22. Ilmapäästöt jätevedenpuhdistuksesta (McInnes 1996).

Yhdiste	Päästökerroin g/m <sup>3</sup>	Päästö kg/a
CO <sub>2</sub> kierr.	339,1	8974909
N <sub>2</sub> O	0,25	6617

Taulukko 23. Mädättämökaasun muodostuminen vuonna 1996.

		Viinikanlahti	Rahola
Kehittynyt kaasumäärä	m <sup>3</sup>	2059405	724326
Käytetty kaasumäärä	m <sup>3</sup>	2058708	560883
Kaasun hyötykäyttöaste	%	99,97 %	77,4 %
Hyödyntämätön kaasumäärä	m <sup>3</sup>	697	163443

Taulukko 24. Energiantuotanto mädättämökaasusta vuonna 1996.

	m <sup>3</sup> kaasua	MWh
<b>Viinikanlahti</b>		
Lämpöenergia kaukolämpöverkkoon	2058708	11000
<b>Rahola</b>		
Käyttö kaasumoottorissa	284941	1522
Käyttö kaasukattiloissa	275942	1474
<b>Yht.</b>		<b>13997</b>



Taulukko 25. Kemikaalien käyttö jäteveden käsittelyssä vuonna 1996.

	Ferrosulfaatti	Meesakalkki	Polyelektrolyytti	Ferrisulfaatti
	t	t	t	t
Viinikanlahti	2182	1021	11,6	397
Rahola	762	297	3,3	
Kämmenniemi	6,3			
Polso	6,2			
<b>Yht.</b>	<b>2957</b>	<b>1318</b>	<b>14,9</b>	<b>397</b>

Taulukko 26. Jäteveden käsittelyn kemikaalien kuljetukset vuonna 1996.

JÄTEVEDEN KÄSITTELY, KEMIKAALIEN MAANTIEKULJETUKSET					
Kemikaali	Valmistaja	Kuormia/a	Etäisyys	km/a	
Ferrosulfaatti	Kemira, Pori (Mäntyluoto)	75	132	19800	säiliöauto
Meesakalkki	Metsä-Serla, Äänekoski	25	193	9650	säiliöauto
Polyelektrolyytti	useita				määrät pieniä
Ferrisulfaatti					ei mukana
Ferrosulfaatin jakelu	Kämmenniemeen ja Polsoon	15	20	600	kuorma-auto
<b>Yhteensä</b>				<b>30050</b>	

Taulukko 27. Kuivatun jätevesilietteen määrät ja loppusijoitus vuonna 1996.

Lietteen sijoitus	Viinikanlahti		Rahola		Kämmenniemi		Polso	
	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>	%	m <sup>3</sup>
Kaatopaikalle	18 %	4575	5 %	353	11 %	67	11 %	38
Maanvilj.	81 %	20254			84 %	515	84 %	289
Kompostoitu	5 %	1281	100 %	6690	5 %	33	5 %	18
<b>Yht.</b>		<b>25140</b>		<b>6690</b>		<b>615</b>		<b>345</b>

Välpe ja hiekka (4 % lietemäärästä) laskettu kaatopaikalle vietäväksi lietteeksi.

Taulukko 28. Jätevesilietteen kuljetukset vuonna 1996.

LIETTEEN LOPPUSIJOITUS	
	km
<b>Kaatopaikka</b>	
Kuorma-auto, maantie	13747
<b>Komposti</b>	
Kuorma-auto, kadut	292
Kuorma-auto, maantie	944
<b>Maanviljelys</b>	
Kuorma-auto, maatie	179859
<b>Yhteensä</b>	<b>194842</b>

Taulukko 29. Jätevesilietteiden sisältämät ravinteet ja raskasmetallit vuonna 1996.

	Viinikanlahti kg/a	Rahola kg/a	Kämmenniemi kg/a	Polso kg/a	Yht kg/a
Kokonaistyyppi	157080	38316	1422,4	676,2	197495
Kokonaisfosfori	142800	44496	863,6	400,2	188560
Kalium	9044	2348,4	96,52	35,88	11525
Rauta	476000	135960	3302	2622	617884
Kalsium	185640	33372	187,96	62,1	219262
Sinkki	3284,4	1359,6	9,398	4,278	4658
Kupari	1190	753,96	3,302	2,07	1949
Mangaani	3474,8	630,36	7,366	4,554	4117
Lyijy	228,48	64,272	(pieni)	(pieni)	293
Kromi	342,72	210,12	0,5842	0,345	554
Nikkeli	161,84	80,34	0,3048	0,11178	243
Koboltti	35,7	8,8992	(pieni)	(pieni)	45
Kadmium	6,664	1,3596	(pieni)	(pieni)	8
Elohopea	8,092	0,9888	0,0381	0,00414	9

## KÄSITELLYN JÄTEVEDEN PURKU VESISTÖÖN

Taulukko 30. Käsitellyn jäteveden aiheuttama vesistökuormitus vuonna 1996.

POISTUVA JÄTEVESI						
		Viinikanlahti	Rahola	Kämmenniemi	Polso	yht. kg/a
BOD7atu	kg/a	167960	49867	299	275	218400
P (kokonaisfosfori)	kg/a	9142	2468	15	11	11635
Liuennut fosfori	kg/a	2551	1028	7	6	3592
Permanganaattiluk	kg/a	1084297	28275	1663	1312	1370024
CODcr	kg/a	1084297	293034	1832	1687	1380851
N (kokonaistyyppi)	kg/a	637822	210779	1296	1037	850934
NH4-N (ammoniumtyppi)	kg/a	232805	110428	691	690	344614
NO3-N (nitraattityppi)	kg/a	386945	95622	574	333	483474
Kuiva-aine	kg/a	9992542	2231173	11232	8684	12243631
Hehkutusjäännös	kg/a	6867215	1393198	7466	5623	8273501
Hehkutushäviö	kg/a	3125327	837975	3767	3061	3970130
Kalsium	kg/a	977993	205638	1459	1343	1186434
Rauta	kg/a	39545	5758	37	34	45374
Rauta, liuennut	kg/a	1913	257	7	15	2193
Kalium	kg/a	510257	138806	865	797	650725
Magnesium	kg/a	157329	37015	248	228	194820
Mangaani	kg/a	5740	1080	8	7	6836
Natrium	kg/a	1381947	323880	2172	1999	1709998

*Kursivoidut solut perustuvat keskiarvoihin*

**Liite 3. Inventaarion tulokset yhteenvetotaulukoina**

TAULUKKO I. VESILAITOKSEN SYÖTTEET JA TUOTOKSET VUONNA 1996, YHTEENVETO (sivut 89 - 92)

	Vedenotto			Yht.
	Vedenoton sähkö	Muoviputkien valmistus	Vedenott. rakent.	
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ</b>				
Energia yht, MJ (prim.)	12190698	40767	33698	12265163
Uusiutuva, MJ	487628	669	4861	493158
Uusiutumaton, MJ	11703070	40099	28836	11772005
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>				
CO2 kierr.			230,523	230,523
CO2	881151,538	2477,000	1601,119	885229,657
N2O	17,147		0,034	17,180
CH4	33,431		0,990	34,422
SO2	607,809	9,908	4,948	622,665
NOx	1113,779	13,871	5,958	1133,608
CO	207,867	0,902		208,768
VOC	0,000	23,779		23,779
As	0,013			0,013
Cr	0,018			0,018
Ni	0,018			0,018
Pb	0,009			0,009
Cd	0,0005			0,0005
Hg	0,001			0,001
Zn	0,033			0,033
Mn	0,104			0,104
Hiukkaset	90,046			90,046
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>				
NH4+		0,010		0,010
COD		0,218		0,218
Al				
Cl-		0,793		0,793
BOD		0,099		0,099
NaCl				
N-tot				
Metalli-ionit		0,297		0,297
Hiilivedyt		0,149		0,149
As				
Cd				
Cr				
Cu				
Fe				
Mn				
Öljy				
Pb				

	Vedenpuhdistus						Yht.
	Vedenpuhd. sähkö	Vedenpuhd. kaukolämpö	Kemikaalien valmistus	Kemikaalien kuljetukset	Puhdistamoiden kuljetukset	Puhdistamoiden rakent.	
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ</b>							
Energia yht, MJ (prim.)	27690560	7790503	1979568	326369	19312	2737184	40543495
Uusiutuva, MJ	1107622		168411			394881	1670915
Uusiutumaton, MJ	26582938	7790503	1811157	326369	19312	2342302	38872581
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>							
CO2 kierr.						18724,822	18724,822
CO2	1846658,596	595680,165	130504,805	24476,983	1428,800	130055,004	2728804,354
N2O	35,935	11,918	11,478	0,775	0,045	2,735	62,886
CH4	70,063	19,241	1,302	2,213	0,224	80,452	173,495
SO2	1273,805	557,355	1684,855	150,738	0,256	401,952	4068,961
NOx	2334,183	850,093	1067,351	432,004	16,000	483,964	5183,594
CO	435,634	114,509	192,327	86,054	12,480		841,004
VOC	0,000	0,000	312,117	34,349	4,160		350,627
As	0,026	0,012	0,0005				0,038
Cr	0,039	0,017	0,001				0,056
Ni	0,038	0,017	0,001				0,055
Pb	0,019	0,008	0,0004				0,027
Cd	0,001	0,0004	0,000018				0,001
Hg	0,002	0,001	0,000035				0,003
Zn	0,069	0,030	0,001				0,100
Mn	0,217	0,095	0,004				0,316
Hiukkaset	188,712	82,571	3,508				274,791
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>							
NH4+							
COD			1,406				1,406
Al			60,337				60,337
Cl-			277,607				277,607
BOD			0,131				0,131
NaCl			1185,685				1185,685
N-tot			0,001				0,001
Metalli-ionit							
Hiilivedyt							
As							
Cd							
Cr							
Cu							
Fe							
Mn							
Öljy							
Pb							

Taulukko I. (sivut 89 - 92)

	<b>Vesijohtoverkosto</b>			
	Pumppamoiden sähkö	Verkoston kaukolämpö	Verkoston kuljetukset	Muoviputkien valmistus
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ</b>				
Energia yht, MJ (prim.)	4285174	1636278	3447201	311956
Uusiutuva, MJ	171407			5118
Uusiutumaton, MJ	4113767	1636278	3447201	306838
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>				
CO2 kierr.				
CO2	285774,421	125113,672	255126,200	18954,210
N2O	5,561	2,503	17,735	
CH4	10,842	4,041	29,006	
SO2	197,124	117,064	42,709	75,817
NOx	361,220	178,549	2140,900	106,144
CO	67,415	24,051	2438,520	6,899
VOC	0,000	0,000	489,890	181,960
As	0,004	0,002		
Cr	0,006	0,004		
Ni	0,006	0,003		
Pb	0,003	0,002		
Cd	0,0001	0,0001		
Hg	0,0003	0,0002		
Zn	0,011	0,006		
Mn	0,034	0,020		
Hiukkaset	29,204	17,343		
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>				
NH4 +				0,076
COD				1,668
Al				
Cl-				6,065
BOD				0,758
NaCl				
N-tot				
Metalli-ionit				2,275
Hiilivedyt				1,137
As				
Cd				
Cr				
Cu				
Fe				
Mn				
Öljy				
Pb				

Taulukko I. (sivut 89 - 92)

<b>Vesijohtoverkosto</b>					
	Valurautaputkien valmistus	Vesisäiliöiden rakent.	Pumppaamoiden	Yht.	Vesilaitos yht.
<b>LUONNONVAROJEN KAYTTO</b>					
Energia yht, MJ (prim.)	3120726	1493991	47019	14342345	67151003
Uusiutuva, MJ		215531	6783	398839	2562912
Uusiutumaton, MJ	3120726	1278460	40236	13943506	64588091
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>					
CO2 kierr.		10220,256	321,655	10541,91	29497,256
CO2	423377,265	70985,749	2234,083	1181565,600	4795599,611
N2O		1,493	0,047	27,339	107,405
CH4		43,912	1,382	89,183	297,100
SO2	1946,744	219,391	6,905	2605,753	7297,379
NOx	880,387	264,154	8,314	3939,667	10256,870
CO	115,934			2652,820	3702,592
VOC	79,729			751,580	1125,986
As				0,007	0,058
Cr				0,010	0,084
Ni				0,009	0,082
Pb				0,005	0,041
Cd				0,0002	0,002
Hg				0,0005	0,004
Zn				0,017	0,150
Mn				0,054	0,473
Hiukkaset				46,546	411,383
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>					
NH4+				0,076	0,086
COD				1,668	3,292
Al				60,337	
Cl-				6,065	284,465
BOD				0,758	0,988
NaCl					1185,685
N-tot	9,912				9,913
Metalli-ionit				2,275	2,572
Hiilivedyt				1,137	1,286
As	0,002			0,002	0,002
Cd	0,001			0,001	0,001
Cr	0,000			0,000	0,000
Cu	0,013			0,013	0,013
Fe	1,545			1,545	1,545
Mn	0,431			0,431	0,431
Öljy	0,160			0,160	0,160
Pb	0,062			0,062	0,062

TAULUKKO 2. VIEMÄRILAITOKSEN SYÖTTEET JA TUOTOKSET VUONNA 1996, YHTEENVETO (sivut 93 - 96)

	Viemäriverkosto						Yht.
	pumppaamoiden sähkö	verkkoston kuljetukset	muoviputkien valmistus	betoniputkien valmistus	tiiliputkien valmistus	pumppaamoiden rakentaminen	
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)</b>							
Energia yht.	4686722	2246125	1669654	903365	17499	212283	9735648
Uusiutuvat	187469			91324	2661	30625	312078
Uusiutumattomat	4499253	2246125	1669654	812041	14838	181658	9423570
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>							
CO2 kierr.				1794,39		1452,21	3246,60
CO2	312553,29	166190,00	89273,29	85799,95	1023,33	10086,45	664926,31
N2O	6,08	7,18				0,21	13,47
CH4	11,86	24,38		76,51		6,24	118,99
SO2	215,60	29,11	689,84	167,84	7,67	31,17	1141,23
NOx	395,07	1730,20	730,42	308,53		37,53	3201,75
CO	73,73	1524,00	113,62				1711,35
VOC	0,00	443,90	892,73		0,12		1336,76
As	0,004						0,004
Cr	0,01						0,01
Ni	0,01						0,01
Pb	0,003						0,003
Cd	0,0002						0,0002
Hg	0,0003						0,0003
Zn	0,01						0,01
Mn	0,04						0,04
Hiukkaset	31,94						31,94
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>							
P (kokonaisfosfori)							
NH4-N (ammoniumtyppi)							
CODcr							
Liennut fosfori							
Permanganaattiluku							
BOD7atu							
N (kokonaistyyppi)							
NO3-N (nitraattityppi)							
Kuiva-aine							
Hehkutusjäännös							
Hehkutushäviö							
Kalsium							
Rauta							
Rauta, liennut							
Kalium							
Magnesium							
Mangaani							
Natrium							

	<b>Jäteveden käsittely</b>							<b>Yht.</b>
	puhdistamoiden sähkö	puhdistamoiden kaukolämpö	mädättämökaasu oma käyttö	ilmapäästöt puhdistamolla	kemikaalien valmistus	kemikaalien kuljetus	puhdistamoiden rakentaminen	
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)</b>								
Energia yht.	35432870	20867508	12820902		942520	372950	3881333	74318084
Uusiutuvat	1417315		12820902		30092		559942	14828251
Uusiutumattomat	34015555	20867508			912428	372950	3321391	59489832
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>								
CO2 kierr.			1014383,78	8974909,17			26551,84	10015845
CO2	2362986,31	1595578,76			92764,21	27668,55	184418,31	4263416
N2O	45,98	31,92	201,44	6616,71	1,04	1,26	3,88	6902
CH4	89,65	51,54	120,09	5463,75	2,03	3,61	114,08	5845
SO2	1629,96	1492,92			83,52	5,07	569,97	3781
NOx	2986,82	2277,04	2870,57		157,97	359,22	686,26	9338
CO	557,44	306,72	674,06		15,37	145,39	1699	
VOC	0,00	0,00	108,47		2,65	50,65	162	
As	0,03	0,03			0,001		0,07	
Cr	0,05	0,05			0,001		0,10	
Ni	0,05	0,04			0,001		0,09	
Pb	0,02	0,02			0,001		0,05	
Cd	0,001	0,001			0,0000		0,002	
Hg	0,002	0,002			0,0001		0,005	
Zn	0,09	0,08			0,002		0,17	
Mn	0,28	0,25			0,01		0,54	
Hiukkaset	241,48	221,17			5,73		468	
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>								
P (kokonaisfosfori)								
NH4-N (ammoniumtyppi)								
CODcr					0,19		0,19	
Liuenut fosfori								
Permanganaattiluku								
BOD7atu								
N (kokonaistyyppi)					0,02		0,02	
NO3-N (nitraattityppi)								
Kuiva-aine								
Hehkutusjäännös								
Hehkutushäviö								
Kalsium								
Rauta								
Rauta, liuenut								
Kalium								
Magnesium								
Mangaani								
Natrium								



Taulukko 2. (sivut 93 - 96)

<b>Lietteiden loppusijoitus</b>			
	lietteiden kuljetukset	sij. kaato- paikalle	Yht.
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)</b>			
Energia yht.	1615858		1615858
Uusiutuvat			
Uusiutumattomat	1615858		1615858
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>			
CO2 kierr.			
CO2	119714,46		119714
N2O	8,18		8
CH4	23,39	14449	14472
SO2	21,45		21
NOx	1890,06		1890
CO	352,47		352
VOC	189,47		189
As			
Cr			
Ni			
Pb			
Cd			
Hg			
Zn			
Mn			
Hiukkaset			
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>			
P (kokonaisfosfori)			
NH4-N (ammoniumtyyppi)			
CODcr			
Liennut fosfori			
Permanganaattiluku			
BOD7atu			
N (kokonaistyyppi)			
NO3-N (nitraattityyppi)			
Kuiva-aine			
Hehkutusjäännös			
Hehkutushäviö			
Kalsium			
Rauta			
Rauta, liennut			
Kalium			
Magnesium			
Mangaani			
Natrium			

Taulukko 2. (sivut 93 - 96)

	Puhd. jätevesi poistuva jäte- vesi	Viem. laitos yht.	KAIKKI YHT.
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)</b>			
Energia yht.		85669589	152820593
Uusiutuvat		15140330	17703242
Uusiutumattomat		70529260	135117351
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg</b>			
CO <sub>2</sub> kierr.		10019091	10048589
CO <sub>2</sub>		5048057	9843657
N <sub>2</sub> O		6924	7031
CH <sub>4</sub>		20436	20733
SO <sub>2</sub>		4944	12242
NO <sub>x</sub>		14430	24687
CO		3763	7465
VOC		1688	2814
As		0,07	0,13
Cr		0,10	0,19
Ni		0,10	0,18
Pb		0,05	0,09
Cd		0,003	0,00
Hg		0,01	0,01
Zn		0,18	0,33
Mn		0,58	1,05
Hiukkaset		500	912
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg</b>			
P (kokonaisfosfori)	11635	11635	11635
NH <sub>4</sub> -N (ammoniumtyppi)	344614	344614	344614
COD <sub>cr</sub>	1380851	1380851	1380854
Liennut fosfori	3592	3592	3592
Permanganaattiluku	1370024	1370024	1370024
BOD <sub>7</sub> atu	218400	218400	218401
N (kokonaistyyppi)	850934	850934	850934
NO <sub>3</sub> -N (nitraattityppi)	483474	483474	483474
Kuiva-aine	12243631	12243631	12243631
Hehkutusjäännös	8273501	8273501	8273501
Hehkutushäviö	3970130	3970130	3970130
Kalsium	1186434	1186434	1186434
Rauta	45374	45374	45374
Rauta, liennut	2193	2193	2193
Kalium	650725	650725	650725
Magnesium	194820	194820	194820
Mangaani	6836	6836	6836
Natrium	1709998	1709998	1709998

TAULUKKO 3. VESILAITOKSEN SYÖTTEET JA TUOTOKSET TOIMINNALLISTA YKSIKKÖÄ (m<sup>3</sup>) KOHTI, YHTEENVETO  
(sivut 97 - 99)

	Vedenotto			Yht.
	Vedenoton sähkö	Muoviputkien valmistus	Vedenott. rakent.	
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ/m<sup>3</sup></b>				
Energia yht, MJ (prim.)	0,667962	0,00223376	0,001846	0,672042
Uusiutuva, MJ	0,026718	3,6645E-05	0,000266	0,027021
Uusiutumaton, MJ	0,641243	0,00219712	0,00158	0,64502
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg/m<sup>3</sup></b>				
CO <sub>2</sub> kierr.			1,26E-05	1,26E-05
CO <sub>2</sub>	0,048281	0,00013572	8,77E-05	0,048504
N <sub>2</sub> O	9,4E-07		1,84E-09	9,41E-07
CH <sub>4</sub>	1,83E-06		5,43E-08	1,89E-06
SO <sub>2</sub>	3,33E-05	5,4289E-07	2,71E-07	3,41E-05
NO <sub>x</sub>	6,1E-05	7,6004E-07	3,26E-07	6,21E-05
CO	1,14E-05	4,9403E-08		1,14E-05
VOC		1,3029E-06		1,3E-06
As	6,91E-10			6,91E-10
Cr	1,01E-09			1,01E-09
Ni	9,87E-10			9,87E-10
Pb	4,93E-10			4,93E-10
Cd	2,47E-11			2,47E-11
Hg	4,93E-11			4,93E-11
Zn	1,8E-09			1,8E-09
Mn	5,67E-09			5,67E-09
Hiukkaset	4,93E-06			4,93E-06
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg/m<sup>3</sup></b>				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		5,4289E-10		5,43E-10
COD		1,1944E-08		1,19E-08
Al				
Cl <sup>-</sup>		4,3431E-08		4,34E-08
BOD		5,4289E-09		5,43E-09
NaCl				
N-tot				
Metalli-ionit		1,6287E-08		1,63E-08
Hiilivedyt		8,1433E-09		8,14E-09
As				
Cd				
Cr				
Cu				
Fe				
Mn				
Öljy				
Pb				

	Vedenpuhdistus						Yht.
	Vedenpuhd. sähkö	Vedenpuhd. kaukolämpö	Kemikaalien valmistus	Kemikaalien kuljetukset	Puhdistamoiden kuljetukset	Puhdistamoiden raket.	
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ /m<sup>3</sup></b>							
Energia yht, MJ (prim.)	1,5172418	0,426863	0,108466	0,0178826	0,001058158	0,149977809	2,221489
Uusiutuva, MJ	0,0606897		0,0092277			0,021636624	0,091554
Uusiutumaton, MJ	1,4565522	0,426863	0,0992383	0,0178826	0,001058158	0,128341185	2,129935
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg/m<sup>3</sup></b>							
CO <sub>2</sub> kierr.						0,001025984	0,001026
CO <sub>2</sub>	0,1011835	0,032639	0,0071507	0,0013412	7,82879E-05	0,007126071	0,149519
N <sub>2</sub> O	1,969E-06	6,53E-07	6,289E-07	4,244E-08	2,45472E-09	1,49844E-07	3,45E-06
CH <sub>4</sub>	3,839E-06	1,054E-06	7,136E-08	1,213E-07	1,22736E-08	4,40818E-06	9,51E-06
SO <sub>2</sub>	6,98E-05	3,054E-05	9,232E-05	8,259E-06	1,40269E-08	2,20241E-05	0,000223
NO <sub>x</sub>	0,0001279	4,658E-05	5,848E-05	2,367E-05	8,76684E-07	2,65177E-05	0,000284
CO	2,387E-05	6,274E-06	1,054E-05	4,715E-06	6,83813E-07		4,61E-05
VOC			1,71E-05	1,882E-06	2,27938E-07		1,92E-05
As	1,448E-09	6,334E-10	2,691E-11				2,11E-09
Cr	2,12E-09	9,275E-10	3,94E-11				3,09E-09
Ni	2,068E-09	9,049E-10	3,844E-11				3,01E-09
Pb	1,034E-09	4,524E-10	1,922E-11				1,51E-09
Cd	5,17E-11	2,262E-11	9,61E-13				7,53E-11
Hg	1,034E-10	4,524E-11	1,922E-12				1,51E-10
Zn	3,774E-09	1,651E-09	7,015E-11				5,5E-09
Mn	1,189E-08	5,203E-09	2,21E-10				1,73E-08
Hiukkaset	1,034E-05	4,524E-06	1,922E-07				1,51E-05
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg/m<sup>3</sup></b>							
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>							
COD			7,705E-08				7,71E-08
Al			3,306E-06				3,31E-06
Cl <sup>-</sup>			1,521E-05				1,52E-05
BOD			7,171E-09				7,17E-09
NaCl			6,497E-05				6,5E-05
N-tot			2,919E-11				2,92E-11
Metalli-ionit							
Hiilivedyt							
As							
Cd							
Cr							
Cu							
Fe							
Mn							
Öljy							
Pb							

Taulukko 3. (sivut 97 - 99)

Vesijohtoverkosto										Vesi- laitos yht.
Pumppamoiden sähkö	Verkoston kaukoliämpö	Verkoston kuljetukset	Muoviputkien valmistus	Valurautaputkien valmistus	Vesisäiliöiden rakent.	Pumppaamoiden rakent.	Yht.			
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ<sup>3</sup></b>										
Energia yht, MJ (prim.)	0,234796463	0,089656	0,017092924	0,170993131	0,081859881	0,002576317	0,785856			3,679388
Uusiutuva, MJ	0,009391859		0,000280409	0	0,011809557	0,000371674	0,071853			0,140429
Uusiutumaton, MJ	0,225404604	0,089656	0,016812514	0,170993131	0,070050324	0,002204643	0,764003			3,538959
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg/m<sup>3</sup></b>										
CO2 kierr.	0,015658365	0,006855	0,001038553	0,023198003	0,000559996	1,76243E-05	0,000578			0,001616
CO2	3,04704E-07	1,37E-07	9,72E-07		0,003889504	0,000122412	0,064741			0,262764
N2O	5,94083E-07	2,21E-07	1,59E-06		8,17869E-08	2,57402E-09	1,5E-06			5,89E-06
CH4	1,0801E-05	6,41E-06	2,34E-06	4,15421E-06	2,40604E-06	7,57236E-08	4,89E-06			1,63E-05
SO2	1,97922E-05	9,78E-06	0,00017	5,8159E-06	1,2021E-05	3,78329E-07	0,000143			0,0004
NOx	3,69387E-06	1,32E-06	0,000134	3,78033E-07	1,44737E-05	4,55521E-07	0,000216			0,000562
CO			2,68E-05	9,97011E-06	4,82388E-05		0,000145			0,000203
VOC					6,35235E-06		4,12E-05			6,17E-05
As	2,2402E-10	1,33E-10			4,3686E-06		3,57E-10			3,16E-09
Cr	3,28029E-10	1,95E-10					5,23E-10			4,62E-09
Ni	3,20029E-10	1,9E-10					5,1E-10			4,51E-09
Pb	1,60014E-10	9,5E-11					2,55E-10			2,25E-09
Cd	8,00072E-12	4,75E-12					1,28E-11			1,13E-10
Hg	1,60014E-11	9,5E-12					2,55E-11			2,25E-10
Zn	5,84052E-10	3,47E-10					9,31E-10			8,23E-09
Mn	1,84017E-09	1,09E-09					2,93E-09			2,59E-08
Huikkaset	1,60014E-06	9,5E-07					2,55E-06			2,25E-05
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg/m<sup>3</sup></b>										
NH4 +			4,15421E-09				4,15E-09			4,7E-09
COD			9,13927E-08				9,14E-08			1,8E-07
Al							0			3,31E-06
Cl-			3,32337E-07				3,32E-07			1,56E-05
BOD			4,15421E-08				4,15E-08			5,41E-08
NaCl							0			6,5E-05
N-tot							0			2,92E-11
Metalli-ionit			1,24626E-07				1,25E-07			1,41E-07
Hiilivedyt			6,23132E-08				6,23E-08			7,05E-08
As				9,75617E-11			9,76E-11			9,76E-11
Cd				3,25206E-11			3,25E-11			3,25E-11
Cr				1,08402E-11			1,08E-11			1,08E-11
Cu				6,93772E-10			6,94E-10			6,94E-10
Fe				8,46619E-08			8,47E-08			8,47E-08
Mn				2,36316E-08			2,36E-08			2,36E-08
Öljy				8,75887E-09			8,76E-09			8,76E-09
Pb				3,40382E-09			3,4E-09			3,4E-09

TAULUKKO 4. VIEMÄRILAITOKSEN SYÖTTEET JA TUOTOKSET TOIMINNALLISTA YKSIKKÖÄ KOHTI (m<sup>3</sup>), YHTEENVETO (sivut 100 - 103)

<b>Viemäriverkosto</b>							
	pumppaamoiden sähkö	verkoston kuljetukset	muoviputkien valmistus	betoniputkien valmistus	tiiliputkien valmistus	pumppaamoiden rakentaminen	<b>Yht.</b>
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)/m<sup>3</sup></b>							
Energia yht.	0,177078948	0,084866	0,063085	0,034132	0,000661	0,008021	0,367843
Uusiutuvat	0,007083158			0,00345	0,000101	0,001157	0,011791
Uusiutumattomat	0,16999579	0,084866	0,063085	0,030681	0,000561	0,006864	0,356052
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg/m<sup>3</sup></b>							
CO <sub>2</sub> kierr.				6,78E-05		5,49E-05	0,000123
CO <sub>2</sub>	0,011809236	0,006279	0,003373	0,003242	3,87E-05	0,000381	0,025123
N <sub>2</sub> O	2,29802E-07	2,71E-07				8,01E-09	5,09E-07
CH <sub>4</sub>	4,48046E-07	9,21E-07		2,89E-06		2,36E-07	4,5E-06
SO <sub>2</sub>	8,14588E-06	1,1E-06	2,61E-05	6,34E-06	2,9E-07	1,18E-06	4,31E-05
NO <sub>x</sub>	1,49269E-05	6,54E-05	2,76E-05	1,17E-05		1,42E-06	0,000121
CO	2,78584E-06	5,76E-05	4,29E-06				6,47E-05
VOC		1,68E-05	3,37E-05		4,64E-09		5,05E-05
As	1,68952E-10						1,69E-10
Cr	2,47393E-10						2,47E-10
Ni	2,41359E-10						2,41E-10
Pb	1,2068E-10						1,21E-10
Cd	6,03399E-12						6,03E-12
Hg	1,2068E-11						1,21E-11
Zn	4,40481E-10						4,4E-10
Mn	1,38782E-09						1,39E-09
Hiukkaset	1,2068E-06						1,21E-06
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg/m<sup>3</sup></b>							
P (kokonaisfosfori)							
NH <sub>4</sub> -N (ammoniumtyppi)							
COD <sub>cr</sub>							
Liuenut fosfori							
Permanganaattiluku							
BOD <sub>7</sub> atu							
N (kokonaistyyppi)							
NO <sub>3</sub> -N (nitraattityppi)							
Kuiva-aine							
Hehkutusjäännös							
Hehkutushäviö							
Kalsium							
Rauta							
Rauta, liuenut							
Kalium							
Magnesium							
Mangaani							
Natrium							

Taulukko 4. (sivut 100 - 102)

<b>Jäteveden käsittely</b>								
	puhdistamoiden sähkö	puhdistamoiden kaukolämpö	mädättämökaasu oma käyttö	ilmapäästöt puhdistamolla	kemikaalien valmistus	kemikaalien kuljetus	puhdistamoiden rakentaminen	Yht.
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)/m<sup>3</sup></b>								
Energia yht.	1,338764113	0,788439396	0,484413589		0,035611328	0,014091221	0,146648843	07968489
Uusiutuvat	0,053550565		0,484413589		0,001136953		0,021156369	0,560257476
Uusiutumattomat	1,285213548	0,788439396			0,034474375	0,014091221	0,125492473	2,247711013
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg/m<sup>3</sup></b>								
CO2 kierr.			0,038326576	0,3391			0,001003211	0,378429787
CO2	0,089280977	0,060285931			0,003504921	0,001045404	0,006967898	0,161085131
N2O	1,73736E-06	1,20619E-06	7,61116E-06	0,00025	3,93511E-08	4,76861E-08	1,46518E-07	0,000260788
CH4	3,38735E-06	1,94725E-06	4,53742E-06	0,000206437	7,67231E-08	1,36246E-07	4,31033E-06	0,000220833
SO2	6,1585E-05	5,64072E-05			3,15567E-06	1,91655E-07	2,15352E-05	0,000142875
NOx	0,000112851	8,60338E-05	0,000108459		5,96854E-06	1,35724E-05	2,59291E-05	0,000352814
CO	2,10617E-05	1,15889E-05	2,54681E-05		5,80642E-07	5,4931E-06		6,41925E-05
VOC			4,09832E-06		9,99662E-08	1,9136E-06		6,11188E-06
As	1,27732E-09	1,16993E-09			2,89311E-11			2,47618E-09
Cr	1,87036E-09	1,71311E-09			4,23635E-11			3,62583E-09
Ni	1,82474E-09	1,67132E-09			4,13302E-11			3,5374E-09
Pb	9,12371E-10	8,35662E-10			2,06651E-11			1,7687E-09
Cd	4,56185E-11	4,17831E-11			1,03326E-12			8,84349E-11
Hg	9,12371E-11	8,35662E-11			2,06651E-12			1,7687E-10
Zn	3,33015E-09	3,05017E-09			7,54276E-11			6,45575E-09
Mn	1,04923E-08	9,61012E-09			2,37649E-10			2,034E-08
Hiukkaset	9,12371E-06	8,35662E-06			2,16632E-07			1,7697E-05
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg/m<sup>3</sup></b>								
P (kokonaisfosfori)								
NH4-N (ammoniumtyyppi)								
CODcr					7,07535E-09			7,07535E-09
Liuennot fosfori								
Permanganaattiluku								
BOD7atu								
N (kokonaistyyppi)					8,56987E-10			8,56987E-10
NO3-N (nitraattityppi)								
Kuiva-aine								
Hehkutusjäännös								
Hehkutushäviö								
Kalsium								
Rauta								
Rauta, liuennot								
Kalium								
Magnesium								
Mangaani								
Natrium								

Taulukko 4. (sivut 100 - 102)

	Lietteiden loppusijoitus		Yht.	Puhd. jätevesi	Viem. laitos yht.	KAIKKI YHT.
	lietteiden kuljetukset	sij. kaato-paikalle		poistuva jätevesi		
<b>LUONNONVAROJEN KÄYTTÖ, MJ (prim)/m<sup>3</sup></b>						
Energia yht.	0,061052		0,061052		3,236864	5,774038
Uusiutuvat					0,572049	0,668884
Uusiutumattomat	0,061052		0,061052		2,664815	5,105154
<b>PÄÄSTÖT ILMAAN, kg/m<sup>3</sup></b>						
CO <sub>2</sub> kierr.					0,378552	0,379667
CO <sub>2</sub>	0,004523		0,004523		0,190731	0,371924
N <sub>2</sub> O	3,09E-07		3,09E-07		0,000262	0,000266
CH <sub>4</sub>	8,84E-07	0,000546	0,000547		0,000772	0,000783
SO <sub>2</sub>	8,1E-07		8,1E-07		0,000187	0,000463
NO <sub>x</sub>	7,14E-05		7,14E-05		0,000545	0,000933
CO	1,33E-05		1,33E-05		0,000142	0,000282
VOC	7,16E-06		7,16E-06		6,38E-05	0,000106
As					2,65E-09	4,82E-09
Cr					3,87E-09	7,06E-09
Ni					3,78E-09	6,89E-09
Pb					1,89E-09	3,44E-09
Cd					9,45E-11	1,72E-10
Hg					1,89E-10	3,44E-10
Zn					6,9E-09	1,26E-08
Mn					2,17E-08	3,96E-08
Hiukkaset					1,89E-05	3,44E-05
<b>PÄÄSTÖT VETEEN, kg/m<sup>3</sup></b>						
P (kokonaisfosfori)				0,00044	0,00044	0,00044
NH <sub>4</sub> -N (ammoniumtyyppi)				0,013021	0,013021	0,013021
COD <sub>cr</sub>				0,052173	0,052173	0,052173
Liennut fosfori				0,000136	0,000136	0,000136
Permanganaattiluku				0,051764	0,051764	0,051764
BOD <sub>7</sub> atu				0,008252	0,008252	0,008252
N (kokonaistyyppi)				0,032151	0,032151	0,032151
NO <sub>3</sub> -N (nitraattityppi)				0,018267	0,018267	0,018267
Kuiva-aine				0,462602	0,462602	0,462602
Hehkutusjäännös				0,312599	0,312599	0,312599
Hehkutushäviö				0,150004	0,150004	0,150004
Kalsium				0,044827	0,044827	0,044827
Rauta				0,001714	0,001714	0,001714
Rauta, liennut				8,28E-05	8,28E-05	8,28E-05
Kalium				0,024586	0,024586	0,024586
Magnesium				0,007361	0,007361	0,007361
Mangaani				0,000258	0,000258	0,000258
Natrium				0,064609	0,064609	0,064609



**Liite 4. Jäteveden käsittelyn tehostamissuunnitelman lähtötiedot****JÄTEVEDEN KÄSITTELYN TEHOSTAMINEN**

Nitrifikaatio/denitrifikaatio Viinikanlahden ja Raholan puhdistamoilla, lähtötiedot:

VIINIKANLAHTI	Yks.	V. 1996	Nitrifikaatio	Denitrifikaatio	Ero vuoteen -96	
					Nitrifikaatio	Denitrifikaatio
<b>Energia</b>						
ilmastus	kWh		2900000	2600000		
muu sähkö	kWh		4100000	4100000		
sähkö yht.	kWh	6287242	7000000	6700000	712758	412758
lämpö (kiinteistön lämm.)	kWh	1462060	1800000	1800000	337940	337940
<b>Kemikaalit</b>						
kalkki	t	1021	1460	1095	439	74

RAHOLA	Yks.	V. 1996	Nitrifikaatio	Denitrifikaatio	Ero vuoteen -96	
					Nitrifikaatio	Denitrifikaatio
<b>Energia</b>						
ilmastus	kWh		600000	460000		
muu sähkö	kWh		1050000	1050000		
sähkö yht.	kWh	1376640	1650000	1510000	273360	133360
<b>Kemikaalit</b>						
kalkki	t	297	365	256	68	-41

Kalkki on oletettu olevan meesakalkkia, jota toimittaa Metsä-Serla Äänekoskelta  
Lisääntyneestä/vähentyneestä kalkin kulutuksesta aiheutuneet kemikaalikuormat:

Lisääntyneestä/vähentyneestä kalkin kulutuksesta aiheutuneet kemikaalikuormat:

Viinikanlahti kuormia/a		Rahola kuormia/a	
Nitrifikaatio	Denitrifikaatio	Nitrifikaatio	Denitrifikaatio
8	1	1	-1

Lisääntyneestä/vähentyneestä kalkin kulutuksesta aiheutuneet kilometrit:

Viinikanlahti km/a		Rahola km/a	
Nitrifikaatio	Denitrifikaatio	Nitrifikaatio	Denitrifikaatio
3214	542	498	-300

(Lähde: Suunnittelukeskus 1997)

### Liite 5. Tampereen sähkön- ja lämmöntuotannon päästölaskelma

Sähkön- ja lämmönkulutuksen päästöt v. 1996 Tampereen kaupungin sähkölaitoksen asiakkailta (lämmönkulutuksen ominaispäästöt on laskettu ilman lämpökustusten vaikutusta, joiden osuus kulutuksesta olisi n. 3-4 %)

	Päästöt Naistenlahdesta			Päästöt Lielahdesta			Päästöt yhteensä		
	polttoaine (mg/M <sub>j</sub> )	sähkö (mg/kWh)	lämpö (mg/kWh)	polttoaine (mg/M <sub>j</sub> )	sähkö (mg/kWh)	lämpö (mg/kWh)	sähkö (mg/kWh)	lämpö (mg/kWh)	lämpö (mg/kWh)
Arseeni	0,0028	0,0128	0,0120	0	0	0	0,0043	0,0063	
Elohopea	0,0002	0,0009	0,0009	0	0	0	0,0003	0,0005	
Kadmium	0,0001	0,0005	0,0004	0	0	0	0,0002	0,0002	
Kromi	0,0041	0,0187	0,0175	0	0	0	0,0064	0,0093	
Lyijy	0,0020	0,0091	0,0086	0	0	0	0,0031	0,0045	
Nikkeli	0,0040	0,0182	0,0171	0	0	0	0,0062	0,0091	
Sinkki	0,0073	0,0333	0,0312	0	0	0	0,0113	0,0166	
Mangaani	0,0230	0,1049	0,0984	0	0	0	0,0357	0,0521	
Hiukkaset	20	91	86	0	0	0	31	45	
Rikkiidioksidi	135	616	577	0	0	0	209	306	
Typen oksidit	166	757	710	45	204	192	384	467	
Hiilimonoksidi	10	46	43	20	90	86	72	63	
Typpioksiduuli	2	9	9	1	5	4	6	7	
Metaani	2	9	9	3	14	13	12	11	
Hiilidioksidi	94800	432407	405521	55800	252415	238693	303516	327112	

Oletuksia:

Sähkön jakeluhäviöt 4,5 %, lämmön jakeluhäviöt 6,5 %.

Lämmöntuotannon hyötysuhteeksi on oletettu 90 % (kulutussuhde 1,111), jolloin yhdistetyn tuotannon (sähkö ja lämpö) sähköntuotannon kulutussuhteeksi tulee Lielahden voimalaitoksessa 1,20 ja Naistenlahden voimalaitoksissa 1,21.

Lielahden osuus sähköntuotannosta on 62 % ja yhdistetyn tuotannon lämmöntuotannosta 47 %.

Naistenlahden osuus sähköntuotannosta on 34 % ja yhdistetyn tuotannon lämmöntuotannosta 53 %.

Sähköntuotannon osuuksissa ja Lielahden kulutussuhteessa ei ole otettu huomioon Lielahden erillistuotantoa, jota v. 1996 tuotettiin poikkeuksellisen runsaasti (Ruotsiin). Yhteistuotanto ja vesivoimatuotanto (4 %)

tekevät sähkölaitoksesta (riittäväällä tarkkuudella) omavaraisen jakeluluueensa sähkönhankinnan suhteen.

Rikkiidioksidin, typen oksidien ja raskasmetallien päästömäärät ovat peräisin Vahdistista ja ne on laskettu käytettyjen polttoaineiden energiasäiltöä kohden. Vahdin maakaasun polttoaine-energiat on korjattu sähkölaitoksen alkuperäisen ilmoituksen mukaisiksi ja mangaanin määrät on korjattu tuhannesosan.

Hiilidioksidin päästökertoimet on korjattu maakaasulla 55:stä 55,8:aan ja turpeella 110:stä 104,9:ään.

Hiilimonoksidin, typpioksiduulin ja metaanin päästökertoimet ovat Tilastokeskuksen käyttämiä lukuja.

(Lähde: Suomen ympäristökeskus, J. Petäjä 28.10.1998)

# Kuvailulehti

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika	Syyskuu 2000
Tekijä(t)	Jyrki Tenhunen, Jaana Oinonen & Jyri Seppälä		
Julkaisun nimi	Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Tässä työssä elinkaariarviointia on sovellettu koko Tampereen vesilaitoksen arviointiin. Tutkimuksen tavoitteena on arvioida vesihuollon vaikutuksia ympäristöön ja antaa lisävalaistusta esimerkiksi kysymykseen: onko jätevesien käsittelyn tehostaminen nykyisestä tasosta enää kannattavaa ympäristövaikutusten suhteen? Tampereen vesilaitoksen päästöjen vaikutukset ympäristöön on arvioitu vaikutusarviointimenetelmällä, jossa Suomen olosuhteet on otettu huomioon. Tutkimuksen tulosten perusteella puhdistettujen jätevesien vaikutukset ympäristöön ovat paljon suuremmat kuin jätevesien puhdistuksen vaikutukset. Jätevesien puhdistuksen ja muiden vesihuollon toimintojen tarvitseman energian tuotanto on pudistettujen jätevesien jälkeen merkittävin ympäristövaikutusten aiheuttaja. Tämän tutkimuksen perusteella jätevesien käsittely Tampereella on ympäristövaikutusten kannalta tehokasta ja tuloksellista. Tutkimuksessa tehdyn vertailun perusteella puhdistettujen jätevesien vaikutus ympäristöön on erittäin vähäinen verrattuna Tampereen energiantuotannon, liikenteen ja teollisuuden suorien päästöjen vaikutuksiin.</p>		
Asiasanat	Vesihuolto, jätevesienkäsittely, vesilaitokset, analyysit, inventointi, ympäristövaikutusten arviointi, ympäristövaikutukset, elinkaarianalyysi, päästöt, päätösanalyysi		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 434		
Julkaisun teema	ympäristönsuojelu		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus, XC008		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	TEKES, Ympäristöministeriö, Suomen ympäristökeskus		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Suomen ympäristökeskus, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampereen vesilaitos, ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, TEKES, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, teknillinen korkeakoulu, Helsingin Vesi, Turun vesilaitos, Kemira Chemicals Oy		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0784-7	
	Sivuja 107	Kieli suomi	
	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta 115 mk	
Julkaisun myynti/ jakaja	Oy Edita Ab Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edit puh.(09)566 0266, telefax (09)566 0380, www.edita.fi/netmarket sähköposti:asiakaspalvelu@edita.fi		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus		
Painopaikka ja -aika	Oy Edita Ab, Helsinki 2000		

# Presentationensblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum	September 2000
Författare	Jyrki Tenhunen, Jaana Oinonen & Jyri Seppälä		
Publikationens titel	Livscykelundersökning av vattenförsörjning. Tammerfors vattenverks inverkan på miljön		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt			
Sammandrag	<p>I denna undersökning har livscykelbedömningen tillämpats på hela bedömningen av Tammerfors vattenverk. Undersökningens mål är att bedöma vattenförsörjningens inverkan på miljön och att utreda till exempel frågan: lönar det sig att ytterligare effektivisera vattenreningen från nuvarande nivå med beaktande av miljökonsekvenserna? Effekterna av utsläppen från Tammerfors vattenverk har bedömts med en konsekvensbedömningsmetod, där de finska förhållandena har tagits i beaktande. Utgående från undersökningens resultat är de renade avloppsvattens effekt på miljön mycket större än avlopprensningens effekt. Energiproduktionen som reningen av avloppsvatten och andra vattenförsörjningsåtgärder kräver är den betydelsefullaste orsaken av miljöeffekter. På basis av denna undersökning är behandlingen av avloppsvatten i Tammerfors ur miljökonsekvenssynpunkt effektiv och produktiv. Utgående från en jämförelse i undersökningen är de renade avloppsvattens effekt på miljön mycket liten jämfört med de direkta utsläppen från Tammerfors energiproduktion, trafik och industrin.</p>		
Nyckelord	vattenförsörjning, avloppsvattenbehandling, vattenverk, analyser, inventeringar, miljökonsekvensbedömning, miljökonsekvenser, livscykelanalys, utsläpp, beslutsanalys		
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 434		
Publikationens tema	miljövård		
Projektets namn och nummer	Livscykelundersökning av vattenförsörjning och ekoeffektivitet av vattenförsörjning, XC008		
Finansiär/ uppdragsgivare	TEKES, Miljöministeriet, Finlands miljöcentral		
Organisationer i projektgruppen	Finlands miljöcentral, Tammerfors tekniska högskolan, Tammerfors vattenverk, miljöministeriet, Jord- och skogsbruksministeriet, TEKES, Vatten- och avloppsvetksföreningen i Finland, Tekniska högskolan, Helsingfors vatten, Åbo vattenverk, Kemira Chemicals Oy		
	ISSN	ISBN	
	1238-7312	952-11-0784-7	
	Sidantal	Språk	
	107	finska	
	Offentlighet	Pris	
	Offentlig	115 mk	
Beställningar/ distribution	Oy Edita Ab, Kundservice, PB 800, 0043 Edita tel. (09)566 0266, telefax (09)566 0380 <a href="http://www.edita.fi/netmarket">www.edita.fi/netmarket</a> <a href="mailto:asiakaspalvelu@edita.fi">email:asiakaspalvelu@edita.fi</a>		
Förläggare	Finlands miljöcentral		
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Oy Edita Ab, Helsingfors		

# Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute	Date	September 2000
Author(s)	Jyrki Tenhunen, Jaana Oinonen & Jyri Seppälä		
Title of publication	Life cycle assessment of a water supply and wastewater treatment system - A case study of Tampere Water Works.		
Parts of publication/ other project publications			
Abstract	<p>In this study, the Life Cycle Assessment (LCA) of Tampere Water Works was conducted in Finland. The main aims of the study were to assess the environmental impacts of water supply and wastewater treatment and to explain the question "To what extent is it worthwhile to treat wastewater from the point of view of the environment?" In the study emissions caused by Tampere Water Works were assessed by the impact assessment method in which Finland-specific conditions are taken into account. This case study shows that the environmental impacts of final effluent are much higher than those caused by the wastewater treatment. Energy production needed in wastewater treatment and other subsystems in Water Works is the most important source of the environmental impacts after the treated wastewater. According to this study wastewater management in Tampere seems to be efficient and successful from the point of view of the environment. Furthermore the potential impacts of final effluent were considerably smaller than the impacts of direct emissions from energy production, industry and road traffic in Tampere</p>		
Keywords	Wastewater treatment, water supply, water works, analysis, inventory, impact assessment, environmental impacts, life cycle assessment, pollution, decision analysis		
Publication series and number	The Finnish environment 434		
Theme of publication	Environmental Protection		
Project name and number, if any	Life cycle assessment of a water supply and wastewater treatment and eco-efficiency of water treatment systems, XC008		
Financier/ commissioner	National Technology Agency, Ministry of the Environment, Finnish Environment institute		
Project organization	Finnish Environment Institute, Tampere University of Technology, Tampere Water Works, Ministry of the Environment, Ministry of Agriculture and Forestry, Finnish Water and Waste Water Works Association, National Technology Agency, Helsinki University of Technology, Helsinki Water, Turku Water Works, Kemira Chemicals Ltd.		
	ISSN 1238-731	ISBN 952-11-0784-72	
	No. of pages 107	Language Finnish	
	Restrictions Public	Price FIM 115	
For sale at/ distributor	Edita Ltd, customer service, P.O.Box 800 00043 Edita, Finland tel +358-9-566 0266, telefax +358-9-566 0380		
Financier of publication	Finnish Environment Institute		
Printing place and year	Edita Ltd, Helsinki 2000		

## Suomen ympäristö

403. Vuori, Veli-Matti; Aronsuu, Ilona & Meissner: Lyhytaikaisäännöstelyn vaikutukset Perhonen koskieläistöön. Habitaattitutkimukset ja laboratoriokokeet vuosina 1997 - 1998. Länsi-Suomen ympäristökeskus.
404. Rosenström, Ulla & Palosaari, Marika (toim.): Kestävyyden mitta. Suomen kestävän kehityksen indikaattorit 2000. Ympäristöministeriö.
- 404e Rosenström, Ulla & Palosaari, Marika(eds.): Signs of Sustainability. Finland's indicators for sustainable development 2000. Ympäristöministeriö
405. Niemi, Jorma & Heinonen, Pertti (toim.): Ympäristön seuranta Suomessa. Suomen ympäristökeskus.
406. Furman, Eeva: Practical application of the UN/ECE Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. Final report of the workshop. Ympäristöministeriö.
407. Suomen biologista monimuotoisuutta koskevan kansallisen toimintaohjelman toteutuminen vuosina 1997 - 1999. Ensimmäinen seurantaraportti. Ympäristöministeriö.
408. Myllyniemi, Marjo & Lehvo, Anna-Maija: Suolilevän *in situ* kasvatus. Uudenmaan ympäristökeskus.
409. Kahilainen, Juha: Kohti kestävää verkostoyhteiskuntaa. Kestävä kehitys ja tietoyhteiskunta. Ympäristöministeriö.
410. Kaljonen, Minna: Vaikutusten arviointi liikennejärjestelmäsuunnitelman tukena. Tapaustudkimus pääkaupunkiseudulla. Suomen ympäristökeskus.
411. Laukkanen, Tuula & Sirviö, Ulla-Maija: Aravavuokra-asuntojen vuokratvalvonta. Valtakunnallinen tilanne loka - marraskuu 1999. Ympäristöministeriö.
412. Sairinen, Rauno & Teittinen, Outi: Vapaaehtoiset ympäristösopimukset. Suomi kansainvälisessä vertailussa. Ympäristöministeriö.
413. Kauppila, Jussi: Teollisuusjätteiden hyödyntäminen maarakentamisessa. Lupasääntelyn kehittämistarpeet ja kehittämisehdot. Suomen ympäristökeskus.
414. Niinioja, Riitta; Tanskanen, Anna-Liisa; Rummyantsev, Vladislav; Smirnova, Ljubov; Hildén, Mikael; Kontio, Panu & Filatov, Nikolai (eds.): Water management policy of large lakes . Taxis project TSP 40/97 DIMPLA Report of the tasks 4 and 5. Pohjois-Karjalan ympäristökeskus.
415. Kautto, Petrus & Melanen, Matti: Teollisuus ja jätepolitiikka sääntely. Suomen ympäristökeskus.
416. Kiirikki, Mikko, Westerholm, Leena & Sarkkula, Juha: Suomenlahden levähaittojen vähentämismahdollisuudet. Suomen ympäristökeskus.
417. Ruoppa, Marja; Paasivirta, Jaakko; Lehtinen, Karl-Johan & Ruonala, Seppo: 4th International conference on environmental impacts of the pulp and paper industry proceedings of the conference 12 - 15 June 2000, Helsinki, Finland. Suomen ympäristökeskus.
418. Tammiranta, Anni: Selvitys Harjavallan maaperän saastuneisuudesta ja toimenpiteiden arviointi. Suomen ympäristökeskus.
419. Lindström, Marianne; Sahivirta, Elise & Saarinen, Kristina: Miten ympäristönsuojelulaki muuttaa lupapäätöksiä? Suomen ympäristökeskus.
420. Soveri, Jouko; Mäkinen, Risto & Peltonen, Kimmo: Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista Suomessa 1975 - 1999. Suomen ympäristökeskus.
421. Sorvari, Jaana: Mineraalisten teollisuusjätteiden maarakennuskäytön ympäristökriteerit. Suomen ympäristökeskus.
422. Veneiden melu ja aallokon muodostus. Ympäristöministeriö.
423. Lehtinen, Heli: Maaperänsuojelun toteutuminen paikallistasolla. Tapaustudkimus kahdeksassa kunnassa. Suomen ympäristökeskus.
424. Sundgren, Regina (red.): Projekt skärgårdhus 2000. Ympäristöministeriö.
425. Vasara, Petri; Jäppinen, Hannu & Lobbas, Pia: A strategic concept for BAT in forest industry. Suomen ympäristökeskus.
426. Kustula, Virve; Salo, Hannu; Witic, Allan & Kaunismaa, Pekka: The Finnish background for EC documentation of best available techniques for tanning industry.  
Kalliala, Eija & Talvenmaa, Päivi: The Finnish background for EC documentation of best available techniques for wet processing in textile industry. Suomen ympäristökeskus.
427. Kleemola, Sirpa & Forsius, Martin (eds.): 9th Annual Report 2000. UN ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems. Suomen ympäristökeskus.
428. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa. Ympäristöministeriö.
429. Kananoja, Tapio: Kallioperän suojele- ja opetuskohteita Etelä-Pohjanmaalla, Keski-Pohjanmaalla ja Pohjanmaalla. Ympäristöministeriö.
430. Kautto, Petrus; Melanen, Matti; Saarikoski, Heli & Ilomäki, Mika: Suomen jätepolitiikan ohjauskeinot - vaikutukset, vaikuttavuus ja kehittämistarpeet. Suomen ympäristökeskus.
431. Grönroos, Juha & Seppälä, Jyri: Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus.
432. Tolvanen, Harri: Saaristomeren tombolat. Lounais-Suomen ympäristökeskus.
433. Carter, Timothy; Hulme, Mike; Crossley, Jennifer; Malyshev, Sergey; New, Mark; Schlesinger, Michael and Tuomenvirta, Heikki: Interim characterizations of regional climate and related changes up to 2100 associated with the draft sres marker emissions scenarios. Suomen ympäristökeskus.
434. Tenhunen, Jyrki; Oinonen, Jaana & Seppälä, Jyri: Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Suomen ympäristökeskus.





## YMPÄRISTÖN- SUOJELU

### Vesihuollon elinkaaritutkimus

#### Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön

Aiheutuuko yhdyskuntien jätevesien käsittelystä enemmän haittaa ympäristölle kuin käsitelystä jätevedestä? Kannattaako jätevesien käsittelyä nykyisestä tasosta enää tehostaa? Mihin yhdyskuntien pitäisi ympäristösuojelurahansa sijoittaa? Muun muassa nämä ovat kysymyksiä, joihin tämä tutkimus pyrkii antamaan lisätietoa.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty Tampereen vesilaitoksen toiminnan vaikutuksia ympäristöön suhteessa käsiteltyjen jätevesien ja Tampereen eräiden muiden toimintojen aiheuttamiin vaikutuksiin. Vesilaitoksen toiminta on käyty kokonaisuudessaan läpi raakaveden otosta käsiteltyjen jätevesien purkuun. Vesi- ja viemärlaitoksen päästöt ja niiden ympäristövaikutukset on arvioitu elinkaariarvioinnin menetelmällä.

Elinkaariarvioinnin tulosten mukaan jätevesien käsittelyn kokonaishyödyt ympäristölle ovat merkittävästi suuremmat kuin haitat, jotka syntyvät jätevesien käsittelemisestä. Käsitelty jätevesi aiheuttaa kuitenkin noin 70 % Tampereen vesihuollon vaikutuksista ympäristöön. Toisaalta Tampereen yhdyskuntajätevesien vaikutukset ympäristöön ovat vähäiset verrattuna Tampereen kaupungin energiantuotannon, liikenteen ja teollisuuden päästöjen vaikutuksiin.

ISBN 952-11- 0784-7

ISSN 1238-7312

Oy EDITA Ab  
PL 800, 00043 EDITA, vaihde (09) 566 01  
ASIAKASPALVELU  
puh. (09) 566 0266, telefax (09) 566 0380  
EDITA-KIRJAKAUPAT HELSINGISSÄ  
Annankatu 44, puh. (09) 566 0566  
Eteläesplanadi 4, puh. (09) 662 801

