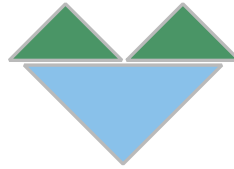


Suomen ympäristö

YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU

Jyrki Tenhunen ja Tiina-Kaisa Lohi

# Ekotehokkuus vesihuollossa

Menetelmä ja sovelluksia  
vesi- ja viemärlaitosten  
kestävän kehityksen arvioimiseksi



Jyrki Tenhunen ja Tiina-Kaisa Lohi

# Ekotehokkuus vesihuollossa

Menetelmä ja sovelluksia  
vesi- ja viemärlaitosten  
kestävän kehityksen arvioimiseksi

HELSINKI 2001

Julkaisu on saatavana myös Internetistä:  
<http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm>

ISBN 952-11-0914-9 (nid.)  
ISBN 952-11-0957-2 (PDF)  
ISSN 1238-7312

Kannen kuva: Viikinmäki, Helsinki / Jyrki Tenhunen  
Taitto: Diaidea Oy  
Edita Oyj, Helsinki 2001

# Esipuhe

Tässä raportissa esitetään tutkimushankkeen ”Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus” toisen vaiheen tulokset. Tutkimushankkeen ensimmäisen vaiheen tulokset on raportoitu kokonaisuudessaan Suomen ympäristö -sarjan julkaisussa 434 ”Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön”. ”Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus” -tutkimus kuuluu Tekesin tutkimusohjelmaan ”Vesihuolto 2001” sekä ympäristöministeriön koordinoimaan ympäristöklusterin tutkimusohjelmaan. Tutkimuksen ovat rahoittaneet Tekes, Suomen ympäristökeskus, ympäristöministeriö ja maa- ja metsätalousministeriö.

Tutkimusta valvomaan perustetussa johtoryhmässä ovat tutkimuksen toisessa vaiheessa olleet Alec Estlander Suomen ympäristökeskuksesta, Robin Gustafsson Tekesistä, Esko Haume Tampereen vesilaitoksesta, Aija Jantunen Kemira Chemicalsista, Jorma Kaloinen ympäristöministeriöstä, Ari Kangas Maa ja Vesi Oy:stä, Timo Kulmala Turun kaupungin vesilaitoksesta, Risto Laukkanen Jaakko Pöyry Groupista, Markku Maunula maa- ja metsätalousministeriöstä, Jyri Seppälä Suomen ympäristökeskuksesta, Esko Tiainen Helsingin Vedestä ja Riku Vahala Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksestä. Tutkimushankkeen vastuullisena johtajana ja myös päätutkijana on toiminut Jyrki Tenhunen Suomen ympäristökeskuksesta. Vesi- ja viemärlaitosten indikaattoreiden aikasarjat on kerännyt Tiina-Kaisa Lohi Suomen ympäristökeskuksesta. Helsingin, Tampereen ja Turun sähkön- ja lämmöntuotannon ominaispäästöt on arvioinut Jouko Petäjä Suomen ympäristökeskuksesta. Indikaattoritietojen keräämiseen ja tarkistamiseen on lisäksi osallistunut useita asiantuntijoita Helsingin Vedestä, Tampereen ja Turun vesilaitoksista. Ekotehokkuuden arviointimallissa käytettyjen kriteerien arvottamisen ovat tehneet liitteessä 7 luetellut asiantuntijat.



# Sisällys

<b>Esipuhe</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Johdanto</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Ekotehokkuus vesi- ja viemärlaitostoiminnassa</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Tutkimusmenetelmä</b> .....	<b>11</b>
<b>4 Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden indikaattorit</b> .....	<b>14</b>
4.1 Tuotteiden ja palveluiden parantaminen .....	14
4.2 Päästöjen vähentäminen .....	16
4.3 Luonnonvarojen käytön vähentäminen .....	21
4.4 Taloudellisuuden parantaminen .....	26
<b>5 Vesi- ja viemärlaitostoiminnan ekotehokkuuden kriteerien arvottaminen</b> .....	<b>28</b>
5.1 Painotuksen suorittaminen .....	28
5.2 Arvottamisen tulokset .....	32
<b>6 Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuus</b> .....	<b>34</b>
6.1 Koko vesi- ja viemärlaitos .....	34
6.2 Talousveden valmistus .....	35
6.3 Jäteveden käsittely .....	39
<b>7 Ekotehokkuuden arviointimallin herkkyys</b> .....	<b>41</b>
7.1 Arvofunktiot .....	41
7.2 Kriteerien painot .....	41
<b>8 Ekotehokkuuden arviointimallin soveltaminen</b> .....	<b>43</b>
8.1 Toiminnan jatkuva seuranta .....	43
8.2 Vesi- ja viemärlaitosinvestointien kannattavuuden arviointi .....	43
<b>9 Yhteenveto ja päätelmät</b> .....	<b>45</b>
<b>Kirjallisuutta</b> .....	<b>48</b>
<b>Liitteet</b> .....	<b>49</b>
Liite 1. Arvofunktiot .....	49
Liite 2. Indikaattoreiden indeksoidut aikasarjat .....	52
Liite 3. Ominaispäästökertoimet .....	55
Liite 4. Vaikutusarviointimallin kertoimet .....	56
Liite 5. Energiantuotannon polttoaineiden kulutus .....	57

<b>Liite 6. Talousveden valmistuksessa ja jäteveden käsittelyssä käytetyt kemikaalit .....</b>	<b>58</b>
<b>Liite 7. Ekotehokkuuden kriteerien arvottamiseen osallistuneet henkilöt .....</b>	<b>61</b>
<b>Liite 8. Arvottamistehtävän vastauslomake .....</b>	<b>62</b>
<b>Liite 9. Ekotehokkuuden aikasarjataulukot .....</b>	<b>63</b>

# Johdanto



Vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden arviointi on jatkoa tutkimushankkeen ensimmäiselle vaiheelle (Tenhunen ym. 2000), jossa selvitettiin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen päästöjen vaikutuksia ympäristöön. Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen tulosten perusteella jätevesien puhdistamisen kokonaishyödyt ympäristölle ovat todella merkittävät. Haitat, jotka syntyvät jätevesien puhdistamisesta ovat hyötyihin nähden erittäin pienet. Tampereen vesilaitoksen elinkaariarvion perusteella puhdistetun jäteveden sisältämät rehevöittävät ravinteet ja energia ovat ekologisesti tärkeimmät tekijät vesihuollossa. Energian käytön vähentäminen parantaa taloudellista tulosta ja samalla vähentää ympäristöhaittoja. Tampereen vesilaitoksen elinkaariarviossa saatujen tulosten perusteella taloudellisen toiminnan kannattavuuden ja ekologisten haittojen vähentämisen samanaikaisen hallinnan kannalta tulisi pyrkiä ratkaisuihin, joilla voidaan poistaa jätevesien rehevöittäviä ravinteita mahdollisimman energiatehokkaasti ja joilla voidaan vähentää energian käyttöä.

Tässä raportissa käsitellään vesihuollon ekotehokkuutta. Lähtökohtana ovat tutkimuksen ensimmäisen vaiheen tulokset. Huomiota on kiinnitetty vesihuoltotoiminnan kehittämiseen siten, että ekologisten tekijöiden lisäksi taloudelliset ja tuotettavaan palveluun liittyvät tavoitteet otetaan tarkasteluun mukaan. Vesihuollon ekotehokkuuden kehittämässä on neljä osa-aluetta, joiden samanaikaisesta tehostamisesta on kysymys: vesihuollon tarjoaman palvelun parantaminen, päästöjen aiheuttamien haittojen vähentäminen, luonnonvarojen kulutuksen vähentäminen ja taloudellisesti kannattava toiminta. Tässä tutkimuksessa on kehitetty tältä pohjalta vesihuollon ekotehokkuuden arviointimenetelmä, jolla vesi- ja viemärlaitosten toiminnan päästöjen ympäristövaikutuksia, luonnonvarojen käyttöä, taloudellisuutta ja palvelutasoa arvioidaan kvantitatiivisesti. Tavoitteena on ollut vesihuollon ekotehokkuuden laskentamalli, joita voidaan käyttää vesihuoltoratkaisujen suunnittelun ja vertailun työkaluna kehitettäessä vesihuoltojärjestelmiä. Ekotehokkuusmallin soveltaminen ei edellytä laitoksilta nykyistä laajempaa tiedon keräystarvetta. Ekotehokkuuden arvioinnissa on kysymys arvokkaan seurantatiedon lisähyödyntämisestä laitoksen omassa päätöksenteossa ja tiedottamisessa asiakkaille ja muille sidosryhmille.

Päästöjen ympäristövaikutusten osalta tutkimuksen toteutus perustuu soveltuvin osin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen elinkaariarviossa saatujen tietojen hyödyntämiseen. Tutkimushanke on toteutettu seuraavissa vaiheissa:

1. Ekotehokkuuden tavoitteiden määrittely vesi- ja viemärlaitostoiminnassa.
2. Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta kuvaavan hierarkkisen mallin muodostaminen
3. Vesi- ja viemärlaitoksen palvelua, päästöjä, luonnonvarojen käyttöä ja kustannuksia kuvaavien tunnuslukujen kokoaminen ja arviointi.
4. Päästöjen ympäristövaikutusten arviointi vaikutusarviointimalleilla.
5. Ekotehokkuutta parhaiten kuvaavien tunnuslukujen valinta ja aikasarjojen muodostaminen.
6. Valittujen tunnuslukujen normalisointi.
7. Vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteisiin perustuvien arvofunktioiden muodostaminen.



8. Tunnuslukujen muuttaminen ekotehokkuutta kuvaaviksi indekseiksi arvofunktioiden avulla.
9. Ekotehokkuuden kriteerien arvottaminen (vesi- ja viemärlaitosten päättäjät ja asiantuntijat).
10. Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta kuvaavan kokonaisarvion tekeminen ekotehokkuusindeksien ja ekotehokkuuden kriteerien painojen avulla.

Vesihuollon ekotehokkuuden arviointimenetelmää sovelletaan Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitoksiin, joiden keräämää aineistoa mallin kehitystyössä hyödynnetään. Muiden suurimpien kaupunkien vesi- ja viemärlaitokset ovat kehitetyn metodin potentiaalisia soveltamiskohteita. Vesihuollon ekotehokkuuden arviointimenetelmä on työkalu vesi- ja viemärlaitosten ympäristö- ja laatujärjestelmien kehittämisessä. Ekotehokkuuden arviointimenetelmä mahdollistaa myös uusien päästövaatimusten ja investointien ekologisen, laadullisen ja taloudellisen kannattavuuden kokonaisarvioinnin sekä vesi- sekä toiminnassa tapahtuvan ekotehokkuuden kehityksen myöhemmän seurannan.

# Ekotehokkuus vesi- ja viemärlaitostoiminnassa

# 2

Ekotehokkuus on käsite, joka liittyy tuotteiden ja palveluiden tuottamiseen kestävästä kehityksen periaatteiden mukaisesti. Lyhyesti voisi sanoa, että ekotehokkuus vesi- ja viemärlaitoksissa tarkoittaa toiminnan tavoitteiden saavuttamista ympäristöä ja luonnonvaroja mahdollisimman vähän kuluttaen. Ekotehokkuuteen kuuluu myös toiminnan kannattavuus ja taloudellisuus.

Muun muassa kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä on pohdiskellut ekotehokkuuden määritelmää. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmäraportissa (1998) todetaan, että keskustelu ekotehokkuuden määritelmästä on vielä käynnissä. Jotkut tahot haluavat antaa varsin laajan määritelmän ekotehokkuudelle, jolloin tullaan lähelle kestävästä kehityksestä määritelmää, toiset taas näkevät ekotehokkuuden selvästi rajoitetumpana ilmiönä ja lähinnä välineenä ekologisesta kestävästä kehityksestä saavuttamiseksi. Pyrkimykset energian ja materiaalien käytön tuottavuuden parantamiseen eivät ole uusi ilmiö. Tuotantopanosten tehokkaalla käytöllä saavutettavat kustannussäästöt yrityksissä ja edulliset vaikutukset kansantalouteen ovat ylläpitäneet kiinnostusta myös energian ja raaka-aineiden tehokkaaseen käyttöön jo ennen ympäristökysymysten merkityksen kasvua.

Ekotehokkuuskäsitettä käytti ensimmäisen kerran BCSD (The Business Council for Sustainable Development) Rio de Janeiron YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssille laatimassaan asiakirjassa. Rion kokousta käsittelevässä BCSD:n raportissa ekotehokkuudelle esitetään seuraava määritelmä (1):

*Ekotehokkuus saavutetaan tarjoamalla kilpailukykyisesti hinnoiteltuja tuotteita ja palveluja siten, että inhimilliset tarpeet tyydytetään ja elämän laatu taataan, ja samalla lisääntyvässä määrin vähennetään tuotannon elinkaaren aikaisia ekologisia vaikutuksia ja tuotteiden resurssi-intensiivisyyttä vähintään tasolle, joka vastaa maapallon arvioitua kantokykyä.*

*Lehni 1998, Kauppa- ja teollisuusministeriö 1998*

OECD:n kestävästä kulutuksesta ja tuotannon ohjelman raportissa OECD:n ministeriöille ekotehokkuuden perusajatus on esitetty muodossa (2):

*Ekotehokkuus on koantitatiivisiin energia- ja materiaaliavirtojen mittauksiin perustuva toimintastrategia, jolla pyritään maksimoimaan energian ja materiaalien tuottavuus. Tavoitteena on vähentää resurssien kulutusta ja päästöjä tuotantoyksikköä kohti ja samalla tuottaa kustannussäästöjä ja kilpailuetua. Ekotehokkuus voidaan nähdä myös yritysten, viranomaisten ja kotitalouksien käyttäytymistä ohjaavana keinona, jolla pyritään tavoitteiden ja asenteiden muuttamiseen ympäristömyötäisiksi.*

*Kauppa- ja teollisuusministeriö 1998*

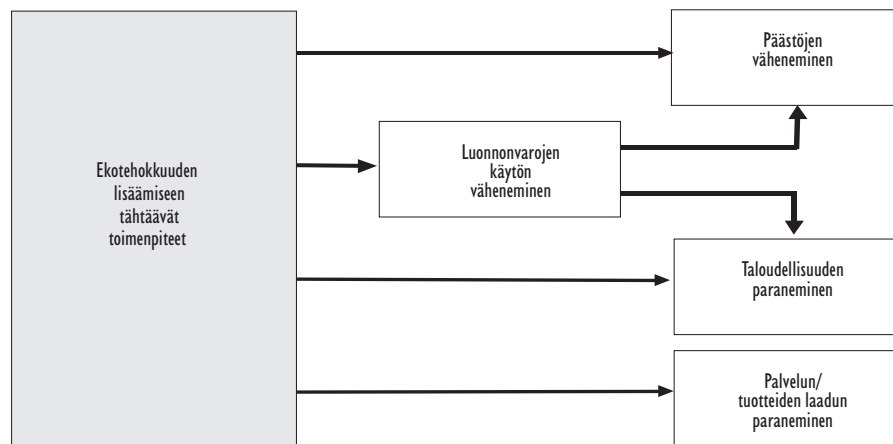
Ekotehokkuus voidaan määritellä tuotoksen tai hyödyn ja panoksen suhteena. Tällöin tuotos on tuotteiden ja palveluiden arvo, jotka yritys, sektori tai talous kokonaisuudessaan tuottaa. Arvolla voidaan tarkoittaa helpoimmin käytettävän taloudellisen arvon lisäksi myös tuotteen laatua tai muuta ominaisuutta, joka toteuttaa kuluttajan tarpeita. Panos on ympäristöön kohdistuvien paineiden summa, jotka yritys,

sektori tai talous aiheuttaa. (OECD 1997) Ekotehokkuus voidaan esittää siten myös seuraavalla kaavalla:

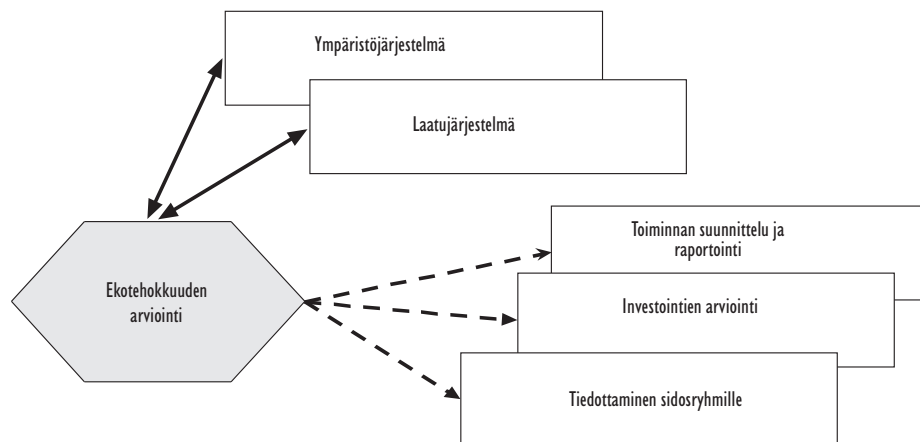
$$\text{Ekotehokkuus} = \frac{\text{Tuotteiden ja palvelujen arvo}}{\text{Ympäristöön kohdistuvien paineiden summa}}$$

Vesi- ja viemärilaitosten ekotehokkuutta lähestytään tässä tutkimuksessa BCSD:n ja OECD:n määritelmässä 1 ja 2 esitettyjen ekotehokkuuden osatekijöiden kautta, jotka pelkistetysti ovat tuotteiden ja palvelujen laadun parantaminen, luonnonvarojen käytön vähentäminen, päästöjen vähentäminen ja taloudellisuuden parantaminen. Kuvassa 1 on havainnollistettu ekotehokkuuden lisäämiseen tähtäävien toimenpiteiden vaikutuksia.

Yritysten tuotannon laadunvarmistamiseksi käytetään jo melko yleisesti standardeja laatujärjestelmistä, esimerkiksi SFS-EN ISO 9001. Vastaavasti ympäristöasioiden hallitsemiseksi on käytössä muun muassa standardi ympäristöjärjestelmistä (SFS-EN ISO 14001). Ekotehokkuus on lähestymistapa, jossa yhdistyy keskeinen ajatus sekä laatu- että ympäristöjärjestelmästandardien tavoitteista (kuva 2). Ekotehokkuuden arviointi jäsentele ja kokoaa laatu- ja ympäristöstandardien tarvitsemää aineistoa.



Kuva 1. Ekotehokkuuden edistämiseksi tehtävien toimenpiteiden tavoitteet.



Kuva 2. Ekotehokkuusajattelun hyödyntäminen yrityksessä. Ekotehokkuus tukee yrityksen laatu- ja ympäristöjärjestelmien kehittämistä ja samalla hyödyntää niiden tietopohjaa. Ekotehokkuuden arviointia voidaan hyödyntää myös muun muassa toiminnan suunnittelussa, investointien arvioinnissa ja tiedottamisessa.

## Tutkimusmenetelmä

Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden arviointiin käytetään systeemianalyysin piiriin kuuluvaa päätösanalyysitekniikkaa. Päätösanalyysi on menetelmä, jolla päätöksentekijä pystyy analyttisesti valitsemaan vaihtoehtoisista ratkaisuista oman näkemyksensä mukaisesti parhaan ratkaisun. Päätöksentekoon liittyy aina arvoperusteisia valintoja ja subjektiivisia mieltymyksiä. "Paras ratkaisu" vaihtelee päätöksentekijän mukaan. Päätösanalyysillä ei yksiselitteisesti voida osoittaa jotakin vaihtoehtoa muita paremmaksi. Päätösanalyysi auttaa kuitenkin yhteisen näkemyksen syntyä jäsentelemällä päätöstilanteen kaikille päätöksentekijöille samanlaisiksi. (Tenhunen 1997)

Päätösanalyysin tavoitteena on päätöstilanteen jäsentely ja selkeyttämiseen. Kaikki oleelliset päätökseen vaikuttavat tekijät pystytään käsittelemään ja ottamaan mukaan päätöksen tekovaiheeseen. Päätöksen perusteet ja päättäjien arvotukset tuodaan esille. Päätöksenteon osapuolten välistä viestintää pystytään helpottamaan. Päätösanalyysillä voidaan myös parantaa yleisön tiedonsaantia ja lisätä luottamusta päätöksentekijöiden ja yleisön välillä. (Tenhunen 1997)

Päätösanalyysia voidaan soveltaa silloin, kun joudutaan tekemään ristiriitaisten tavoitteiden ja vaikutusten takia vaikeita ratkaisuja hankkeista, joiden toteuttamiseksi on enemmän kuin yksi realistinen vaihtoehto. Lähes aina päätöksen teossa joudutaan ottamaan huomioon useita toistensa kanssa ristiriitaisia tavoitteita näkökohtia. Jos päätös voidaan tehdä ainoastaan yhden kriteerin perusteella, ei päätösanalyysin käytöstä ole hyötyä. Päätösanalyysin toteuttamiseksi on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Päätösanalyysin teorioita on kehitetty ja sovellettu muun muassa taloustieteen, lääketieteen ja tekniikan aloilla. Eräs päätösanalyysin perussovellus on monitavoitteinen hyötymalli. Monitavoitteinen päätösanalyysiprosessi voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin (esim. Winterfelt & Edwards 1986, Chechile 1991):

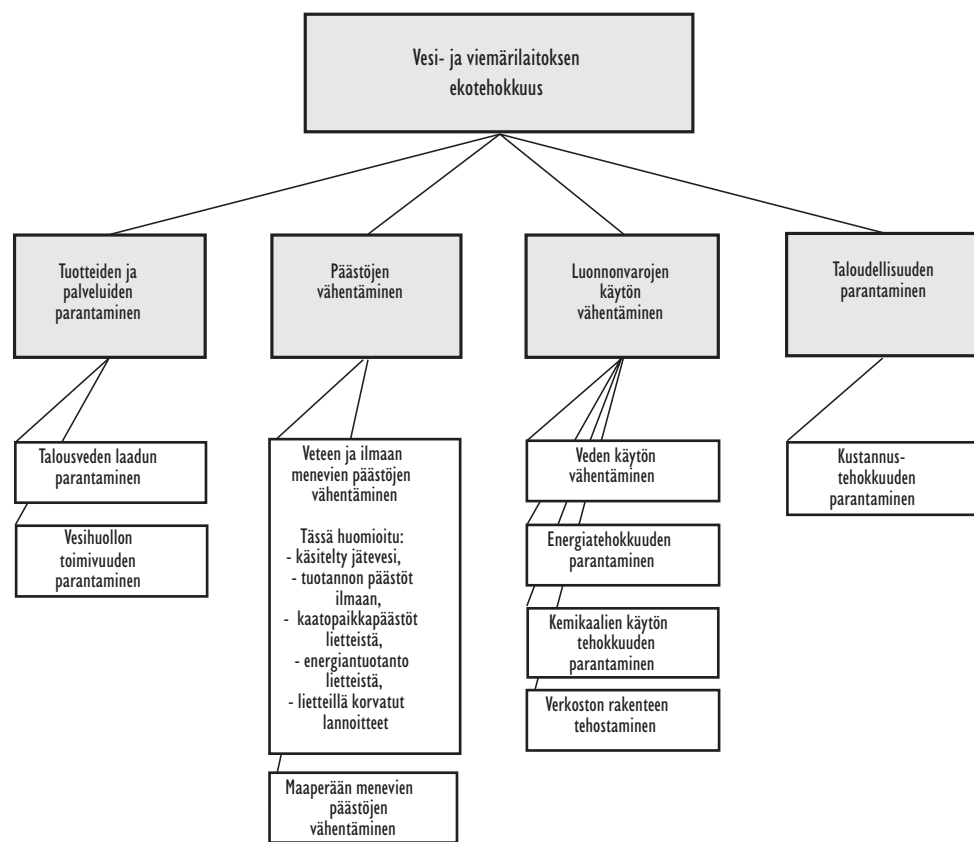
1. Asetetaan tavoitteet joihin päätöksellä pyritään.
2. Määritellään vaihtoehdot tavoitteiden saavuttamiseksi.
3. Määritetään kriteerit joihin päätös perustuu.
4. Selvitetään vaihtoehtojen arvot kriteerien suhteen.
5. Selvitetään päättäjien antamat painot kriteereille.
6. Lasketaan vaihtoehtojen saamat pisteet.
7. Tehdään herkkyystarkastelu.

Vesihuollon ekotehokkuuden jäsentelyyn ja analysointiin sovelletaan lähinnä SMART (Simple multiattribute rating technique) -menetelmää, joka on yksinkertainen monitavoitteinen hyötymalli (ref. Tenhunen & Seppälä 1996, Winterfeldt & Edwards 1986). Ekotehokkuuden käsite jäsenellään monitavoitteisen päätösanalyysiprosessin avulla yksinkertaiseksi hierarkiaksi (arvopuuksi). Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden hierarkkinen malli on kuvassa 3. Talousveden valmistukselle (vedenotto, veden puhdistus ja jakelu) ja jäteveden käsittelylle (viemärointi, jäteveden käsittely ja purku) lasketaan omat ekotehokkuuden tunnusluvut kuvien 4 ja 5 hierarkkisiin malleihin perustuvalla menetelmällä.

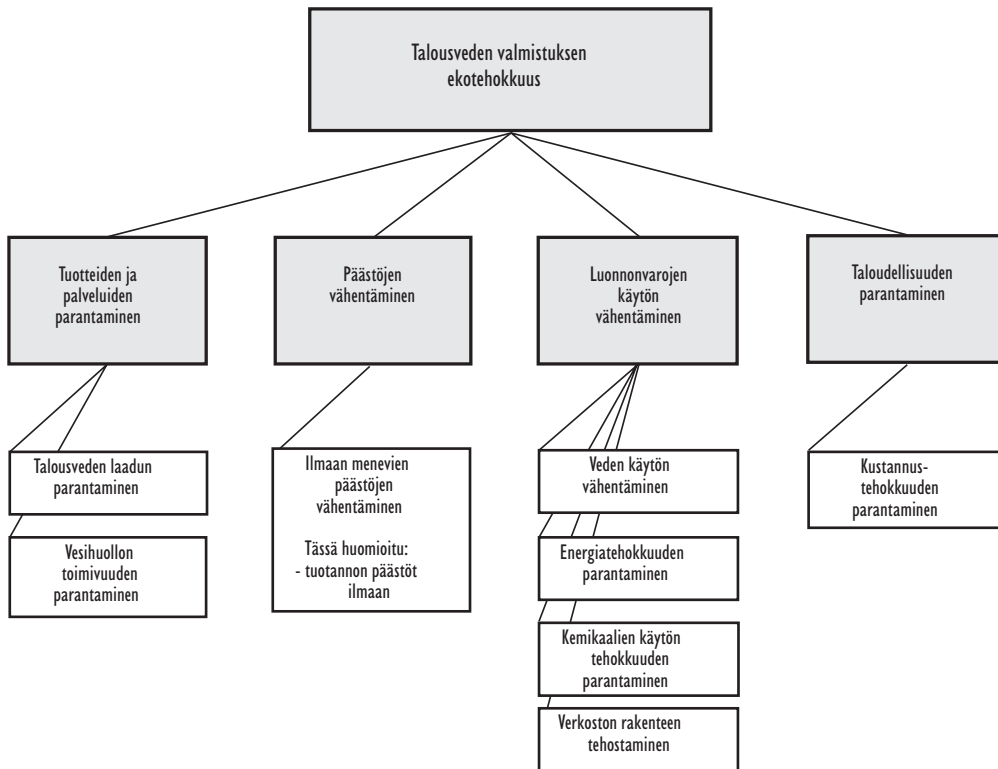
Vesi- ja viemärlaitoksen toiminnan hyvyyttä ekotehokkuuden tavoitteiden toteutumisen suhteen kuvaava tunnusluku on hierarkian huipulla. Ekotehokkuuden tavoitteisiin perustuvat kriteerit ovat hierarkian seuraavalla tasolla. Niiden tulisi ku-

vata riittävästi tärkeimpiä talousvesi- ja jätevesihuollon ekotehokkuuteen oleellisesti vaikuttavia tekijöitä. Kriteerit eivät saisi sisältää samoja asioita, vaan niiden tulisi olla erillisiä siten, että niiden arvioiminen toisistaan riippumatta olisi mahdollista. Hierarkiassa kriteerien alapuolella ovat kriteerejä konkreettisemmin määrittävät alakriteerit, joita mitataan vesi- ja viemärlaitoksen toimintaa kuvaavilla indikaattoreita.

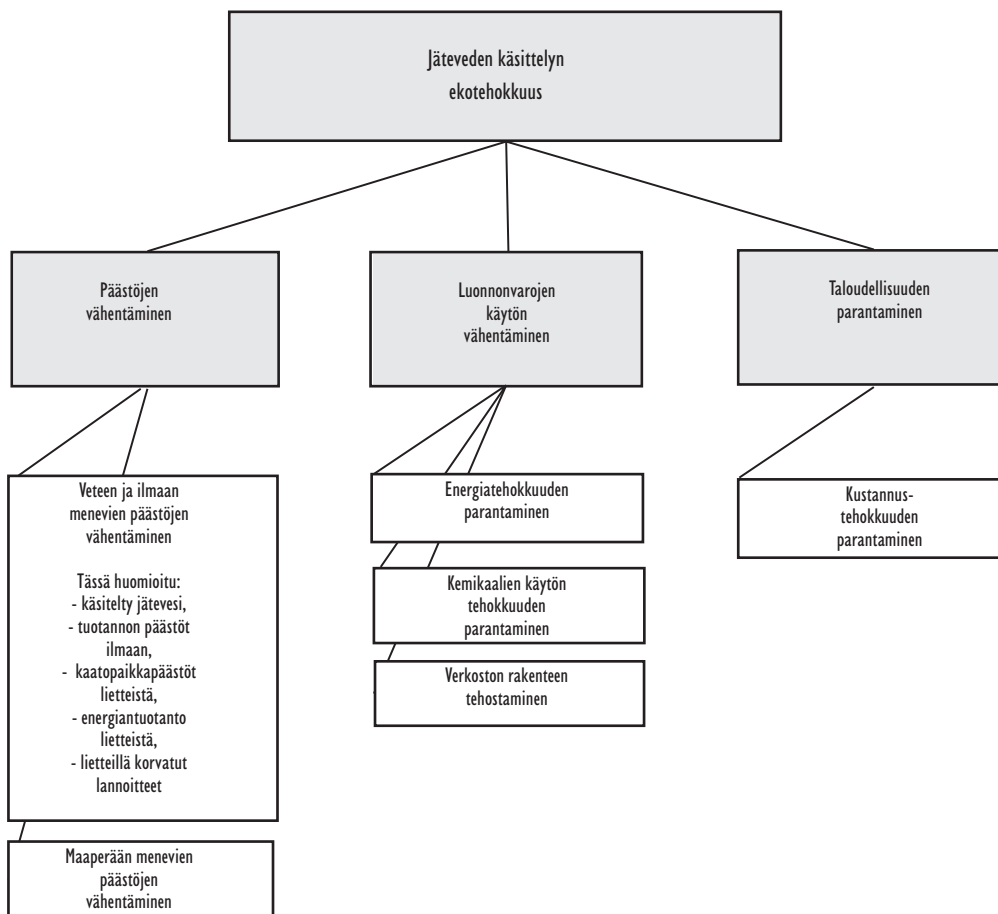
Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta seurataan vuositasolla. Jokaisena tarkasteltavana vuonna ekotehokkuudelle lasketaan arvo, jonka suuruutta verrataan aikaisempien vuosien arvoihin. Kunkin vuoden ekotehokkuus koostuu kriteerien arvojen painotetuista summista. Kriteereille vastaavasti lasketaan arvot alakriteerejä mittaavien indikaattoreiden arvojen painotettuna summana. Painot saadaan arviointimenettelyllä, jossa asiantuntijat arvioivat kriteerien ja alakriteerien suhteellista tärkeyttä vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteiden saavuttamisen kannalta.



Kuva 3. Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden hierarkkinen malli.



Kuva 4. Talousveden valmistuksen ekotehokkuuden hierarkkinen malli.



Kuva 5. Jäteveden käsittelyn ekotehokkuuden hierarkkinen malli.

# 4

## Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden indikaattorit

Indikaattoreilla mitataan ekotehokkuutta. Hierarkkisessa mallissa indikaattorit ovat alakriteerien kuvaajia (kuvat 3, 4 ja 5). Vesi- ja viemärlaitos tuottaa satoja indikaattoreiksi sopivia aikasarjoja. Esimerkiksi talousveden, tulevan ja lähtevän jäteveden laatua mitataan jo useilla kymmenillä eri muuttujilla. Tässä tutkimuksessa ekotehokkuutta kuvaaviksi indikaattoreiksi on valittu vain muutamia. Syitä tähän on useita. Mallin tulisi olla riittävän yksinkertainen, ymmärrettävä ja helppokäyttöinen. Jos mallissa on runsaasti indikaattoreita, niiden yhdistäminen muuttuu vaikeaksi. Mallin subjektiivisuus lisääntyy ja tarvitaan monimutkaista arvottamista eri indikaattoreiden keskinäisen merkityksen selville saamiseksi. Lisäksi tässä sovelletun päätösanalyysin perusperiaatteista seuraa, että indikaattoreiden tulee kuvata eri asioita. Päällekkäisyyttä niiden välillä ei saisi olla. Valitut indikaattorit eivät ole ainoita mahdollisia, mutta indikaattoreiksi valittujen muuttujien on arvioitu kuvaavan kattavimmin ekotehokkuudelle asetettujen tavoitteiden (kriteerien) toteutumista. Valintaan ovat vaikuttanut lisäksi muun muassa se, että indikaattorin mittaus kuuluu vesi- ja viemärlaitoksen vakioseurantaan ja siitä on riittävät aikasarjat käytettävissä.

Indikaattoreiden aikasarjoja joudutaan muokkaamaan ennen kuin ne soveltuvat ekotehokkuusmallin lähtötietoina käytettäväksi. Ensimmäinen vaihe on indikaattoreiden aikasarjojen normalisointi. Siinä indikaattorin arvot jaetaan yleensä joko kyseisenä vuotena valmistetun talousveden määrällä tai käsitellyn jäteveden määrällä. Normalisointiin on käytetty myös johtopituuksia ja liittyjä-määriä. Normalisoinnin tarkoituksena tehdä aikasarjoihin mukaan otetut vuodet vertailukelpoisemmiksi keskenään poistamalla toiminnan volyymissa tapahtuvien muutosten aiheuttama vaihtelu.

Toinen vaihe indikaattoreiden aikasarjojen käsittelyssä on muuttaa indikaattoreiden normalisoidut aikasarjat yksiköttömiksi indeksiarvoiksi. Tähän käytetään arvofunktoita, jotka laaditaan indikaattoreiden saamien arvojen perusteella. Tässä tutkimuksessa käytetyt arvofunktiot ovat suoria, joiden kulmakerroin on negatiivinen. Arvofunktiot määrittävät tavoitearvot, joilla indikaattorit saavuttavat indeksin maksimi-arvon. Vastaavasti arvofunktiot määrittelevät indikaattoreille minimiarvot. Indikaattoreiden indeksoidut aikasarjat kuvaavat indikaattorin kehitystä suhteessa asetettuihin tavoitteisiin.

### 4.1 Tuotteiden ja palveluiden parantaminen

Vesi- ja viemärlaitoksen tuotteet tässä tutkimuksessa ovat hyvälaatuinen talousvesi ja palvelu, joka muodostuu vesihuollon toimivuudesta ja saatavuudesta. Myös käsitelty jätevesi sekä jätevesilietteestä saatavat energia ja lannoite/maanparannusaine ovat tärkeitä tuotteita, mutta ne käsitellään kriteerin "Päästöjen vähentäminen" alla. Tuotteiden ja palveluiden parantaminen -kriteerin alakriteereitä tässä tarkastelussa ovat: talousveden laadun parantaminen ja vesihuollon toimivuuden parantaminen. Talousveden laadun indikaattorina käytetään kaliumpermanganaatin ( $\text{KMnO}_4$ ) kulutusta (mg/l) ja vesihuollon toimivuuden indikaattorina käytetään vesijohtovuotoja (katujohdot) (kpl/km vesijohtoverkko).

## Talousveden laadun parantaminen

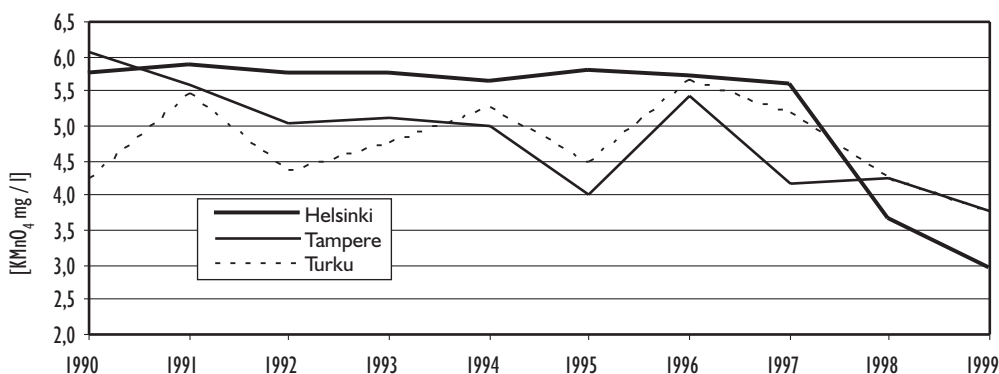
Kaliumpermanganaatin kulutuksella mitataan veden sisältämien hapettuvien, lähinnä orgaanisten aineiden kokonaismäärää. Veden humus sellaisenaan ei ole terveydelle haitallista, mutta se aiheuttaa veteen väriä ja mutamaista makua sekä keitetäessä saostumia. Orgaanisten aineiden kokonaismäärä vaikuttaa myös ratkaisevasti veden desinfioinnissa syntyvien ei-toivottujen sivutuotteiden määrään, joiden haitallisuudesta terveydelle on olemassa viitteitä. Käsitellyn pintaveden korkea  $\text{KMnO}_4$ -luku ilmaisee myös puutteita vedenkäsittelymenetelmässä tai prosessin hoidossa, mistä voi seurata terveydellisen laadun vaarantuminen. Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa (461/2000)  $\text{KMnO}_4$ -luvulle on asetettu laatusuosituksena raja-arvo 20 mg/l ( $\text{COD}_{\text{Mn}} < 5 \text{ mg/l}$ ). Välillisten vaikutusten vähentämiseksi tulee kuitenkin tavoitella arvoa  $< 8 \text{ mg/l}$  ( $\text{COD}_{\text{Mn}} < 2 \text{ mg/l}$ ). Suomen vedenhankintakäytössä olevien pintavesien  $\text{KMnO}_4$ -luku on yleensä 20–50 mg/l ja se aiheutuu pääosin luonnon humuksesta. Saastumattomien pohjavesien  $\text{KMnO}_4$ -luku on yleensä välillä 1–5 mg/l ellei maaperässä ole liukenevaa humusta. (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994, Vesi- ja viemäri- ja ympäristöyhdistys 2000)

Kuvassa 6 on esitetty  $\text{KMnO}_4$ -luvun kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Helsingissä  $\text{KMnO}_4$ -luvulle laskettiin keskiarvo Pitkälän ja Vanhan kaupungin vedenpuhdistuslaitosten vuosikeskiarvoista. Tampereella  $\text{KMnO}_4$ -luvulle laskettiin keskiarvo Ruskon, Polson, Kämmenniemen, Mustalammen, Messukylän, Hyhkyn, Pinsiön ja Julkujärven vedenpuhdistuslaitosten vuosikeskiarvoista. Turussa  $\text{KMnO}_4$ -luvulle laskettiin keskiarvo Halisten vesilaitoksen, Kaarningon pohjavesilaitoksen ja Lentokentän pohjavedenottamon vuosikeskiarvoista. Keskiarvot painotettiin kyseisten laitosten verkkoon pumppaamalla vesimäärillä.

$\text{KMnO}_4$ -lukujen aikasarjat muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitetyn  $\text{KMnO}_4$ -n arvofunktion avulla. Liitteessä 2 on esitetty talousveden laatua kuvaavan  $\text{KMnO}_4$ -indeksin kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.  $\text{KMnO}_4$ -indeksin aikasarjoista näkee, millä tasolla talousveden laatu vaihtelee kaliumpermanganaatilla mitattuna suhteessa asetettuihin tavoitteisiin.

## Vesihuollon toimivuuden parantaminen

Vesihuollon toimivuutta ja luotettavuutta kuvataan indikaattorilla katujohdojen ja pääjohtojen vesijohtovuodot (kpl/vesijohto-km). Mitä vähemmän on vuotoja, sitä luotettavampaa on veden toimitus. Katujohdojen ja pääjohtojen vesijohtovuodot eivät aina tarkoita jakelukatkoa, mutta korreloivat niitä. Tonttijohdot on jätetty tarkastelusta pois, koska ne ovat kiinteistöjen omaisuutta ja kunnossapitovastuulla. Alakriteeriin vesihuollon toimivuuden parantaminen kuuluu myös veden riittävyys,

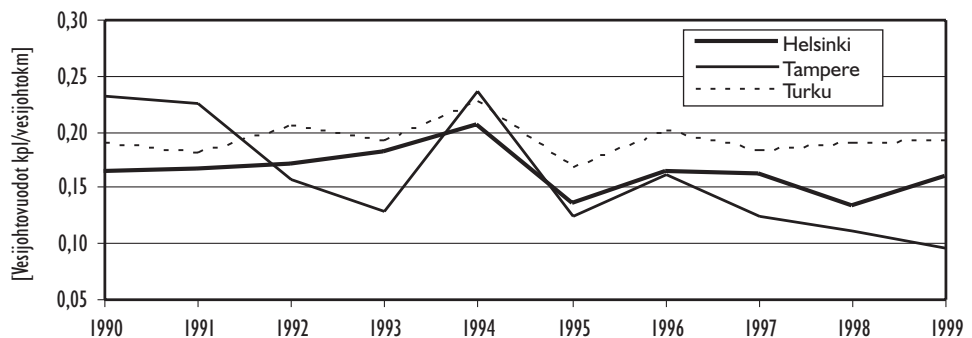


Kuva 6. Talousveden laadun indikaattorina käytetyn kaliumpermanganaatin kulutuksen (mg/l) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.



vaikka vesijohtovuodot-indikaattori ei sitä kuvaakaan. Kuvassa 7 on esitetty katujohtojen ja pääjohtojen vesijohtovuodot Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

Helsingissä vesijohtovuodot koskevat Helsingin Veden ylläpitämää vesijohtoverkosta, joka sisältää sekä pääjohdot että katujohdot mutta eivät tonttijohtoja. Tampereella vesijohtovuodot jaetaan kahteen osaan: vuodot tonttijohdoissa ja muissa johdoissa, joita kutsutaan katujohdoiksi. Tonttijohtojen vuotoja ei ole otettu huomioon. Turussa vesijohtovuodot ilmoitetaan pääjohdoille ja tonttijohdoille. Pääjohdoiksi kutsutaan syöttöjohtoja, jotka käsittävät jakelu- ja syöttöjohdot. Tonttijohtojen vuotoja ei ole otettu huomioon. Vesijohtovuotojen aikasarjat muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitetyn vesijohtovuotojen arvofunktion avulla. Vesihuollon toimivuutta kuvaavan vesijohtovuotoindeksin kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.



Kuva 7. Vesihuollon toimivuuden indikaattorina käytetyn vesijohtovuotojen (kpl/vesijohto km) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

## 4.2 Päästöjen vähentäminen

Kriteerin ”Päästöjen vähentäminen” alakriteereiksi on määritelty veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentäminen ja maaperään menevien päästöjen vähentäminen. Merkittävimmät vesi- ja viemärlaitoksen päästöt aiheutuvat käsittelystä jätevedestä (Tenhunen ym. 2000). Tässä tutkimuksessa käytetään joiltakin osin muutettuna samaa elinkaariarviointiin perustuvaa vaikutusarviointimallia (Seppälä 1999) kuin Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen ympäristövaikutusten arvioinnissa. Mallilla lasketaan haittapisteet suorista päästöistä, jotka aiheuttavat ilmastonmuutosta, happamoitumista, yläilmakehän otsonin muodostumista, vesistön rehevöitymistä ja hapen kulumista vesistössä. Päästöjen ympäristövaikutusten laskemista vaikutusarviointimallilla on kuvattu tarkemmin Tampereen vesilaitoksen vaikutuksia ympäristöön käsittelevässä tutkimusraportissa (Tenhunen ym. 2000). Maaperään lietteistä menevien päästöjen ympäristövaikutuksia ei mallilla pystytä arvioimaan, joten niiden merkitys arvioidaan tässä tutkimuksessa erikseen. Lietteiden hyötykäytön ympäristövaikutukset ovat vähäiset verrattuna veteen ja ilmaan menevien päästöjen vaikutuksiin. Lietteen hyödyntämiseen maataloudessa liittyy lähinnä terveydellisiä näkökohtia, jotka koskevat lietteissä mahdollisesti olevia haitallisia yhdisteitä ja metalleja.

### Veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentäminen

Talusveden valmistuksen ekotehokkuusmallissa kuvataan veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentämistä indikaattorilla, jossa otetaan huomioon vedenotossa, puhdistuksessa ja jakelussa kulutetun energian tuotannon päästöjen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO ja NMVOC) vaikutukset (haittapisteet/talousvesi m<sup>3</sup>) (kuva 8).

Turussa talousveden valmistuksessa ei kuluteta energiaa suhteellisesti Tamperettä enempää. Kuvan 8 ero haittapisteissä johtuu Turussa tuotetun energian päästöistä.

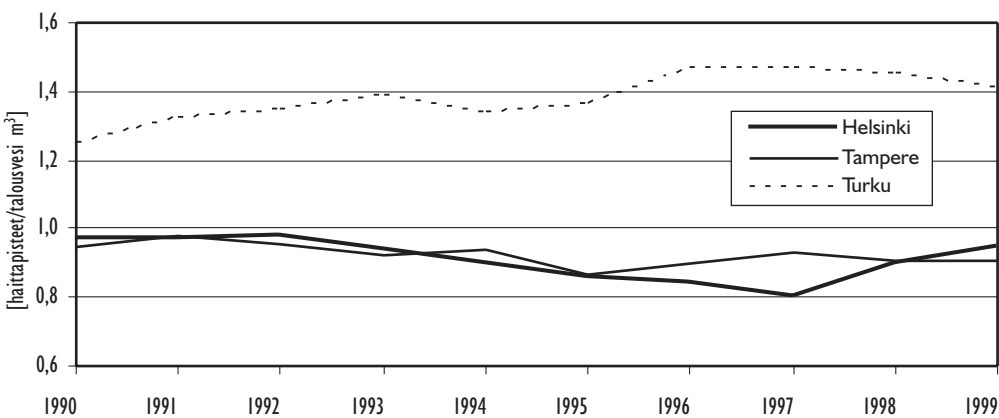
Jäteveden käsittelyn ekotehokkuusmallissa kuvataan alakriteeriä veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentämistä indikaattorilla (haittapisteet/jätevesi m<sup>3</sup>) (kuva 9), jossa otetaan huomioon

- käsitellyn jäteveden vaikutukset,
- viemärlaitoksessa kulutetun energian ja ostoenergian tuotannon päästöjen vaikutukset,
- kaatopaikalle menevän lietteen metaanipäästöjen vaikutukset,
- hyötykäyttöön menevällä lietteellä korvatus lannoitteen valmistuksen päästöjen vaikutukset (vähennetään kokonaispäästöistä) ja
- lietteitä mädättämällä tuotetulla energialla korvatus muun energiantuotannon päästöjen vaikutukset (vähennetään kokonaispäästöistä).

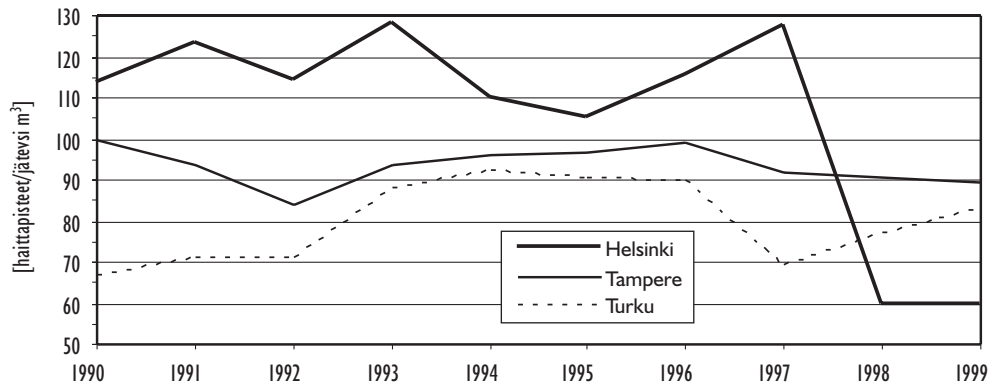
Koko vesi- ja viemärlaitosta kuvaavassa ekotehokkuusmallissa lasketaan talousveden valmistuksen ja viemärlaitoksen "veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentäminen" -indikaattorit yhteen.

Talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn ekotehokkuusmallien veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentämisen indikaattorin aikasarjat (kuvat 8 ja 9) muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitettyjen arvofunktioiden avulla. Vastaavasti koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuusmallin veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentämisen indikaattorin aikasarjat muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitetyn arvofunktion avulla. Veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentämisen indeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.

Käsiteltyjen jätevesien sisältämät ravinteet rehevöittävät purkuvesistöä ja aiheuttavat lisäksi hapen kulumista vesistöissä. Myös jätevesien orgaaninen aines ja ammoniumtyppi aiheuttavat hapen kulumista vesistöissä. Päästöistä veteen otetaan mukaan biologinen hapenkulutus (BOD<sub>7</sub>), fosfori (P), typpi (N) ja ammoniumtyppi, (NH<sub>4</sub>-N). Typpi on levien kasvun minimitekijä merivedessä, joten vaikutukset on otettu huomioon täysimääräisesti Helsingissä ja Turussa. Tampereella kokonaistyyppistä oletetaan huomioon 80 %, jonka oletetaan päätyvän mereen ja aiheuttavan sillä rehevöitymistä (A. Räike/Suomen ympäristökeskus 1.2.2001). Tampereen jätevesistä mereen päätyvän tyypin määrästä on esitetty myös näkemyksiä, joiden mukaan tyypeä ei käytännössä kulkeudu ollenkaan mereen (Oravainen 1997). Helsingin



Kuva 8. Talousveden valmistuksen päästöjen vähentämisen indikaattorina käytetyn energiantuotannon ilmaan menevien päästöjen (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO ja NMVOC) ympäristövaikutusten (haittapisteet/talousvesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.



Kuva 9. Jäteveden käsittelyn päästöjen vähentämisen indikaattorin (haittapisteet/jätevesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Indikaattorissa on otettu huomioon käsitelty jätevesi (BOD<sub>7</sub>, P, N, NH<sub>4</sub>-N), jäteveden käsittelyssä kulutetun energian aiheuttamat ja lietteen mädätyksessä ilmaan menevät päästöt (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO ja NMVOC), kaatopaikka-päästöt (CH<sub>4</sub>) sekä lietteellä korvattu energian ja lannoitteen tuotanto.

vesi- ja viemärlaitoksen NH<sub>4</sub>-N-päästöt eivät ole mukana, koska tietoja ei ollut saatavissa.

Ilmaan meneviä päästöjä syntyy Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen elinkaari-arvioinnin perusteella selvästi eniten kulutetun energian tuotannosta (Tenhunen ym. 2000). Myös kemikaaleja valmistettaessa, huoltokuljetuksissa ja käsittelyprosesseissa syntyy ilmaan meneviä päästöjä. Muut kuin energiantuotannon päästöt on kuitenkin jätetty ekotehokkuusmallista pois, koska niistä ei ole käytettävissä mitattua tietoa ja niiden merkitys ei Tampereen elinkaaritutkimuksen perusteella ollut kovin merkittävä.

Vesi- ja viemärlaitoksella kulutetaan sähkö- ja lämpöenergiaa, jota ostetaan ulkopuolelta tai tuotetaan itse mädättämökaasua polttamalla. Energiantuotannon päästöistä ilmaan otetaan mukaan CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>-, N<sub>2</sub>O-, CO- ja NMVOC-päästöt. Ostosähkön ja -lämmön metallipäästöt ilmaan on jätetty pois, koska niiden vaikutus Tampereen vesihuollon elinkaaritutkimuksen (Tenhunen ym. 2000) perusteella osoittautui vähäiseksi.

Helsingin vesi- ja viemärlaitoksen sähköenergian kulutukseen on laskettu mukaan vedenpuhdistuksen, jätevedenkäsittelyn, verkoston ja kiinteistöjen sähkön kulutus. Helsingin vesi- ja viemärlaitoksen lämpöenergian kulutuksessa ovat mukana kiinteistöt, vedenpuhdistus ja jätevedenpuhdistus. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen sähkön kulutuksessa ovat mukana vedenhankinta ja -jakelu sekä jätevedenpumppaus ja -käsittely. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen lämpöenergian kulutuksessa ovat mukana Kaupin vesisäiliö, Kaupinojan ja Ruskon vedenpuhdistuslaitokset sekä Viinikanlahden ja Raholan jätevedenpuhdistamot. Turun vesi- ja viemärlaitoksen sähkön kulutuksessa ovat mukana Halisen vedenpuhdistuslaitos, Kaarninon pohjavedenottamo, Lentokentän pohjavedenottamo, Juhannuskukkulan painekorotusasema, Vesilinnat, Maarian altaan pumppaamo, Maarian altaan pato ja Paimionjoen pumppaamo sekä jätevedenpumppaus ja -puhdistus sekä lietteen kuivatus. Turun vesi- ja viemärlaitoksen lämpöenergian kulutusluvussa on mukana Halisen vedenpuhdistuslaitos ja jäteveden keskuspuhdistamo.

Ostosähkön päästöt on saatu kertomalla ostosähkön määrä kunkin kaupungin sähköntuotannon päästökertoimilla (liite 3). Päästökertoimet on arvioinut Jouko Petäjän Suomen ympäristökeskuksesta. Kertoimet perustuvat vuoden 1997 tilanteeseen. Ostolämmön päästöt on vastaavasti saatu kertomalla ostolämmön määrä Helsingin, Tampereen ja Turun lämmöntuotannon päästökertoimilla (liite 3). Lämmöntuotannon kertoimet perustuvat vuoden 1997 lämmöntuotantoon.

Ostosähkö on ensisijaisesti paikallisesti tuotettua. Valtakunnallista sähköntuotantoa on otettu mukaan niin paljon kuin sitä kunnassa kulutetaan keskimäärin. Paikallista sähköntuotantoa on sähkön- ja lämmöntuotannon yhteistuotannon yhteydessä tuotettu sähkö. Jos voimalaitos tuottaa lämpöä usean kunnan alueelle, paikalliseksi sähköntuotannoksi lasketaan kunnan lämmönkulutusta vastaava osuus. Kaikki muu kuin yhteistuotantosähkö oletetaan valtakunnalliseksi sähköntuotannoksi, jonka tuotantoprofiilin mukaan on määritelty valtakunnallisen ostosähkön päästökertoimet (liite 3). Valtakunnallinen ostosähkö on määritelty niin, että siihen kuuluu Suomen kaikki muu sähköntuotanto paitsi yhteistuotantosähkö. Lämmöntuotannon päästökertoimet on määritetty kunnan alueen kaukolämmön hankinnan mukaan.

Mädättämökaasun polton ominaispäästöinä käytettiin kirjallisuudesta saatuja arvoja. Lähteessä Bengtsson ym. (1997) mädättämökaasun polttamisen päästöt on arvioitu käyttämällä maakaasun ominaispäästöjä (liite 3). Mädättämökaasun CO<sub>2</sub> ei ole fossiilista alkuperää vaan kyseessä on kierrossa oleva hiilidioksidi, joten sitä ei lasketa päästöihin mukaan. Mädättämökaasun lämpöarvona käytettiin 5,34 kWh/m<sup>3</sup>. Lämpöarvo on laskettu poltetun Tampereen mädättämökaasun määrän ja mädättämökaasusta tuotetun energian perusteella. Mädättämökaasusta tuotetun lämpöenergian hyötysuhteena käytettiin kaukolämmöntuotannon hyötysuhdetta 84,15 %. Mädättämökaasun poltolla korvatus ostolämmöntuotannon päästöt on vähennetty vesi- ja viemärlaitoksen päästöistä.

Metaanipäästöt kaatopaikalle viedystä mädätetystä lietteestä arvioidaan mädättämössä muodostuneen kaasumäärän perusteella. Lähtöoletus on, että biokaasu sisältää noin 60 % metaania. Viitasaaren ym. (1994) mukaan mädättämöissä tuotetaan 90 % teoreettisesti mahdollisesta biokaasumäärästä. Kaatopaikalla muodostuu siten enintään 10 % teoreettisesti mahdollisesta metaanipäästöistä. Helsingissä tarkastelujaksolla 1990–1999 lietettä ei ole mennyt kaatopaikalle. Tampereella ja Turussa huomattava osa lietteestä vielä vietiin kaatopaikalle 90-luvun alkupuolella, mutta vuodesta 1997 alkaen lietteen vieminen kaatopaikalle lopetettiin myös Tampereella ja Turussa.

Hyötykäyttöön menevällä lietteellä korvatus lannoitteen valmistuksen päästöt on laskettu maaviljelykseen ja viherrakentamiseen käytetyssä lietteessä olevaan kasvelle käyttökelpoisen fosforin määrään perustuen. Lietteen fosforimäärä on muutettu vastaamaan Pellon Y5 -lannoitteella, jossa on 5 % fosforia. Pellon Y5-lannoitteen ominaispäästöt on saatu Kemiralta (liite 3). On syytä huomioda, että laskelma on teoreettinen. Lietteen käyttö ei korvaa kokonaan väkilannoitteita, vaan lietteellä lannoitettuihin peltoihin on lisäksi käytettävä typpilannoitusta. Valittu lannoite (Pellon Y5) ei myöskään sovellu kaikille pelloille. Hyötykäyttöön menevällä lietteellä korvatus lannoitteen valmistuksen päästöt on vähennetty vesi- ja viemärlaitosten päästöistä.

Päästöille veteen ja ilmaan lasketaan haittapisteet elinkariarviointiin perustuvalla vaikutusarviointimallilla laskettujen kerrointen (liite 4) avulla. Haittapisteet muodostetaan päästöistä kertomalla jokainen päästömuuttuja kertoimella, joka kuvaa muuttujan aiheuttamia potentiaalisia vaikutuksia ympäristössä. Päästömuuttujakohtaiset haittapisteet lasketaan yhteen, jolloin saadaan kuvien 8 ja 9 indikaattorit veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentämiseksi. Vaikutusarvioinnin metodiikka on esitetty Tampereen vesihuollon elinkariarvioinnin menetelmästä tehdyssä raportissa (Tenhunen ym. 2000). Vaikutusarviointimallissa otetaan huomioon Suomen olosuhteet ja purkuvesistöjen luonne Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

## Maaperään menevien päästöjen vähentäminen

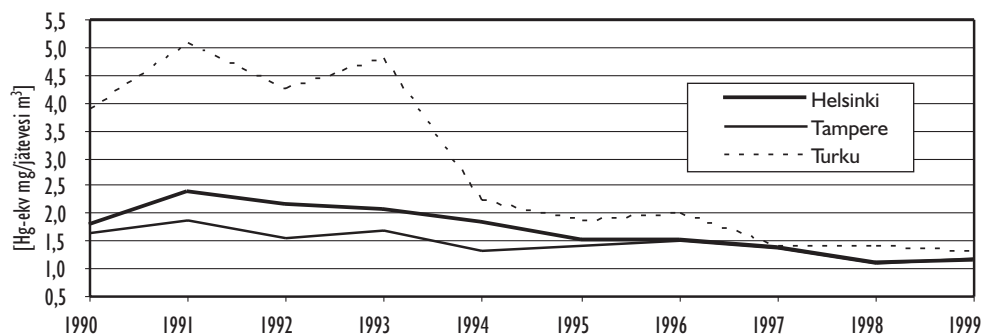
Vesi- ja viemärlaitoksen päästöt maaperään syntyvät lietteitä ja niistä valmistettuja tuotteita levitettäessä pelloille ja viherrakennusalueille. Lietteessä olevia haitallisten metallien määrää käytetään maaperään menevien päästöjen indikaattorina. Käytet-

ty indikaattori kuvaa potentiaalista kuormitusta, sillä lietteistä ei aiheudu päästöjä maaperään, jos lietteet viedään kaatopaikalle. Jos lietettä käytetään maanviljelyksessä lannoitteena, on noudatettava Valtioneuvoston päätöstä N:o 282/1994, jossa on määritelty maanviljelyksessä käytettävän lietteen ja lieteseoksen suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet (taulukko 1). Päätöksessä on määritelty myös tavoitearvot, jotka tulisi saavuttaa vuoden 1998 alkuun mennessä.

Taulukko 1. Maanviljelyksessä käytettävän lietteen ja lieteseoksen suurimmat sallitut metallipitoisuudet ja niiden avulla lasketut ekvivalenttikertoimet.

Metalli	Raja-arvo (Vnp N:o 282/1994) (mg/kg kuiva-ainetta)	Tavoitearvo v. 1998 alkuun mennessä (Vnp N:o 282/1994) (mg/kg kuiva-ainetta)	Hg-ekvivalenttikerroin
Cd, kadmium	3	1,5	2 / 3 = 0,67
Cr, kromi	300		2 / 300 = 0,0067
Cu, kupari	600		2 / 600 = 0,0033
Hg, elohopea	2	1	2 / 2 = 1,0
Ni, nikkeli	100		2 / 100 = 0,020
Pb, lyijy	150	100	2 / 150 = 0,013
Zn, sinkki	1500		2 / 1500 = 0,0013

Lietteessä olevien metallien ajatellaan olevan ympäristölle haitallisia Valtioneuvoston päätöksen asettamien raja-arvojen suhteessa. Lietteistä analysoidut metallien pitoisuudet muutetaan vastaamaan elohopeaa kertomalla ne elohopean ja kyseisen metallin raja-arvojen suhteella. Näin saadut elohopeaekvivalenttipitoisuudet on kerrottu lietteen vuosittaisella kuiva-ainemäärällä ja lopuksi jaettu vuosittaisella jäteveden kokonaisvirtaamalla. Kuvassa 10 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun jätevesilietteiden metallipitoisuudet elohopeaekvivalentteina suhteessa käsiteltyyn jätevesimäärään. Vain ne metallit on otettu huomioon, joille valtioneuvoston päätöksessä on asetettu raja-arvot. Eri puhdistamoilta tulevien lietteiden metallipitoisuudet on laskettu jätevesimäärillä painotettuina summina. Maaperään menevien päästöjen vähentämisen indikaattorin aikasarjat (kuva 10) muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitetyn arvofunktion avulla. Maaperään menevien päästöjen vähentämisen indeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.



Kuva 10. Maaperään menevien päästöjen vähentämisen indikaattorina käytetyn lietteiden sisältämien haitallisten metallien määrän (mg elohopeaekvivalenttia/jätevesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

### 4.3 Luonnonvarojen käytön vähentäminen

Vesi- ja viemärlaitoksen päästöjä veteen vähennetään tehostamalla käsittelyprosessiä. Tällöin luonnonvarojen kulutus ja esimerkiksi energian ja kemikaalien tuotannosta aiheutuvat päästöt yleensä lisääntyvät. Energian tuottaminen, kemikaalien valmistus sekä verkoston rakentaminen kuluttavat sekä uusiutumattomia että uusiutuvia luonnonvaroja. Uusiutumattomia luonnonvaroja kuten fossiilisia polttoaineita on maapallolla rajallinen määrä, joten niiden käyttöön liittyy riittävyysongelma. Pyrittäessä luonnonvarojen käytön vähentämiseen saavutetaan yleensä myös päästöjen vähenemistä. Tässä tutkimuksessa ”luonnonvarojen käytön vähentäminen” -kriteeriä tarkastellaan ainoastaan uusiutumattomien luonnonvarojen riittävyden sekä uusiutuvien että uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöönotosta aiheutuvien välittömien ympäristövaikutusten kannalta. Tällaisia välittömiä vaikutuksia ovat esimerkiksi pohjaveden pinnan pysyvä aleneminen sekä energiapolttoainien ja kemikaalien raaka-aineiden hankinnasta aiheutuvat monimuotoisuuteen ja maankäyttöön liittyvät vaikutukset. Luonnonvarojen käytön yhteydessä syntyviä välillisiä vaikutuksia ympäristöön ei oteta tässä yhteydessä huomioon.

Keinoina vesi- ja viemärlaitoksen luonnonvarojen käytön vähentämiseen nähdään tässä yhteydessä:

- veden käytön vähentäminen,
- energiatehokkuuden parantaminen,
- kemikaalien käytön tehokkuuden parantaminen ja
- verkoston rakenteen tehostaminen.

Näitä luonnonvarojen käytön vähentämisen ominaisuuksia kuvataan indikaattoreilla, joiksi on valittu:

- veden ominaiskulutus ( $l/(asukas \cdot vrk)$ ),
- energian kulutus ( $kWh/m^3$ ),
- puhdistuskemikaalien käyttö ( $g/m^3$ ) ja
- verkoston pituus ( $m/asukas$ ).

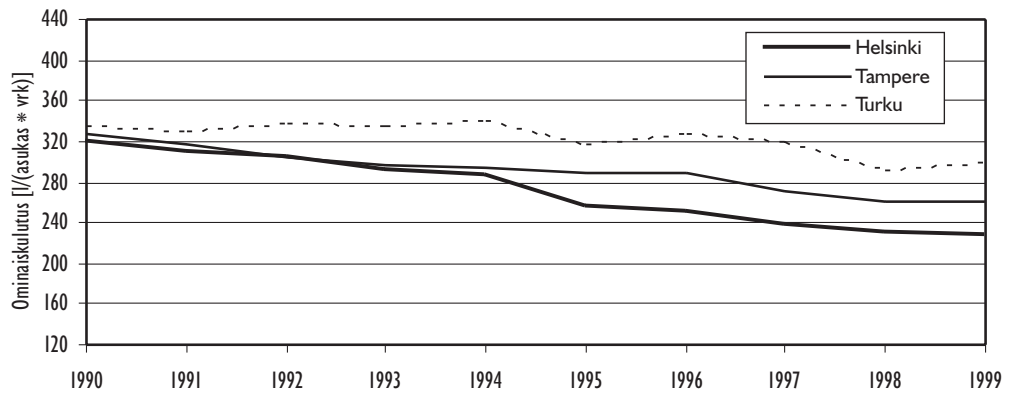
#### Veden käytön vähentäminen

Vesilaitoksen tarvitsemien kemikaalien määrät ja energian kulutus ovat suorassa riippuvuussuhteessa käytettyyn raakavesimäärään. Mitä pienempi veden kulutus on, sitä vähemmän tarvitaan valmistaa talousvettä ja sitä vähemmän syntyy myös jätevettä. Myös veden siirron tarve vähenee. Tarvittavien kemikaalien ja energian määrä vesien käsittelyyn vähenee. Veden käyttöä kuvataan ominaiskulutuksella ( $l/(asukas \cdot vrk)$ ). Veden ominaiskulutus lasketaan jakamalla verkkoon pumpattu vesimäärä asukasluvulla ja 365 vuorokaudella.

Helsingin vesi- ja viemärlaitoksen ominaiskulutuksena on käytetty Helsingin Veden ilmoittamia lukuja. Tampereen ja Turun ominaisvedenkulutukset on laskettu edellä kuvatulla tavalla. Kuvassa 11 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun veden ominaiskulutus. Veden käytön vähentämisen indikaattorin aikasarjat (kuva 11) muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitetyn arvofunktion avulla. Veden käytön vähentämisen indeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.

#### Energiatehokkuuden parantaminen

Käytetty energia tuotetaan uusiutumattomilla tai uusiutuvilla luonnonvaroilla. Mitä vähemmän energiaa käytetään, sitä vähemmän tarvitaan myös luonnonvaroja. Energia voidaan esittää käytettynä polttoainemääränä. Energiantuotannon tarvitsemien polttoaineiden kokonaismäärän selville saaminen edellyttää elinkaariarvioin-



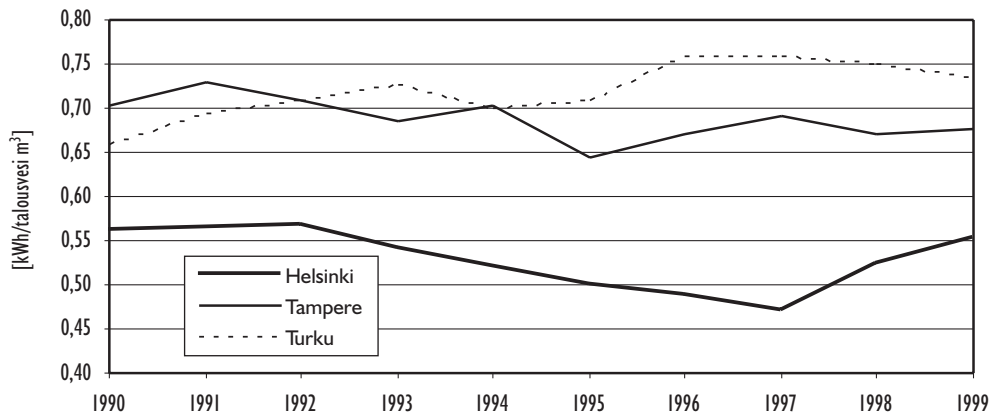
Kuva 11. Veden käytön vähentämisen indikaattorina käytetyn veden ominaiskulutuksen (l/asukas · vrk) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

nin mukaista energiapolttoaineiden hankinnan ja valmistuksen selvittämistä. Tässä tutkimuksessa talusveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn energiatehokkuuden parantamisen indikaattoreina käytetään energiankulutusta suhteessa tuotannon volyymiin (kuvat 12 ja 13). Energiankulutuksen vaikutuksia luonnonvarojen käyttöön havainnollistettiin kuitenkin arvottamisen suorittaneille asiantuntijoille kulutettujen energiapolttoaineiden yhteenlasketuilla massoilla (liite 5).

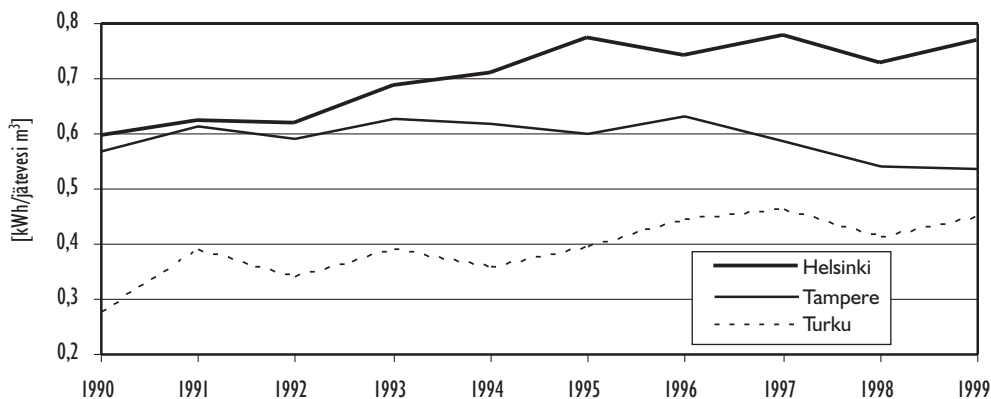
Talusveden valmistuksen energiankulutukseen Helsingissä on laskettu mukaan sähkön ja lämmönkulutus vedenpuhdistuksessa, verkostossa ja kiinteistöissä. Tampereella talusveden valmistuksen energiankulutuksessa on vedenhankinnan, puhdistuksen ja jakelun sähkön kulutus sekä vedenpuhdistamoiden ja vesisäiliön lämmönkulutus. Turussa talusveden valmistuksen energiankulutuksessa ovat mukana vedenpuhdistamon, pumppaamoiden ja vesisäiliöiden sähkönkulutus sekä lämmönkulutus vedenpuhdistamolla. Laitosten energiankulutuslukujen keskinäisessä vertailussa tulee olla varovainen, koska erot osittain johtuvat lähtötietojen kattavuudesta. Energiankulutuksen seuranta ei laitoksilla ole ollut niin järjestelmällistä kuin esimerkiksi talusveden laatuun liittyvä seuranta. Kuvassa 12 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun talusveden valmistuksen energiankulutus (kWh/talousvesi m<sup>3</sup>).

Jäteveden käsittelyn sähkönkulutukseen Helsingissä on laskettu mukaan puhdistamot, verkosto ja tuotanto biokaasulla. Lämpöenergiankulutukseen on laskettu puhdistamot, kiinteistöt ja tuotanto biokaasulla. Tampereella jäteveden käsittelyn energiankulutuksessa on otettu huomioon jäteveden käsittelyn ja pumppausten sähkönkulutus sekä puhdistamoiden lämmönkulutus mukaan lukien biokaasulla tuotettu lämpö. Turussa jäteveden käsittelyn energiankulutusta laskettaessa on otettu huomioon vain keskuspuhdistamon sähkön ja lämmön kulutus, koska muuta energiankulutustietoa ei Turussa ollut saatavilla. Kuvassa 13 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun jäteveden käsittelyn energiankulutus (kWh/jätevesi m<sup>3</sup>). Turun jäteveden käsittelyn energiankulutusindikaattoria ei voi suoraan verrata muiden laitosten indikaattoreihin. Lisäksi on otettava huomioon, että mädättämöt lisäävät kokonaisenergiankulutusta Helsingissä ja Tampereella.

Talusveden valmistuksen energiapolttoaineiden kulutus on laskettu kertomalla energiankulutus polttoainekertoimella ja jakamalla saatu tulo verkkoon pumpattulla vesimäärällä. Vastaavasti jäteveden käsittelyn energiankulutus on kerrottu polttoainekertoimella ja jaettu käsitellyllä jätevesimäärällä. Näin on saatu talusvesihuollon ja jäteveden käsittelyn energiapolttoaineiden kulutus. Liitteessä 5 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun talusveden valmistuksen energiapolttoaineiden kulutus (kg/talousvesi m<sup>3</sup>) ja jäteveden käsittelyn energiapolttoaineiden kulutus (kg/jätevesi m<sup>3</sup>). Sähkön- ja lämmöntuotannon energiapolttoaineiden käytön jakaumina



Kuva 12. Talousveden valmistuksen energiatehokkuuden parantamisen indikaattorina käytetyn energiankulutuksen (kWh/talousvesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.



Kuva 13. Jäteveden käsittelyn energiatehokkuuden parantamisen indikaattorina käytetyn energiankulutuksen (kWh/jätevesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

on käytetty samoja malleja, joita on käytetty sähkön- ja lämmöntuotannon päästöjen laskennassa. Mallit perustuvat vuoden 1997 tilanteeseen. Polttoainemäärissä ei ole mukana vesi- ja ydinvoimatuotannon energialähteitä. Helsingille, Tampereelle ja Turulle on laskettu omat polttoainekertoimet (kg/kWh). Ne on esitetty liitteessä 3.

Energiatehokkuuden parantamisen indikaattorin aikasarjat (kuvat 12 ja 13) muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitettyjen arvofunktioiden avulla. Talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn energiankulutuksen indeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.

## Kemikaalien käytön tehokkuuden parantaminen

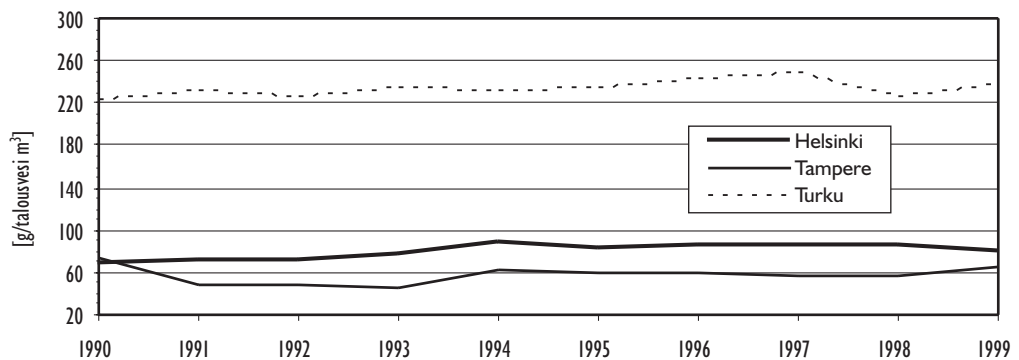
Kemikaalien käyttöä ajatellaan tässä yhteydessä luonnonvarojen käytön näkökulmasta eikä niiden hankintaan ja valmistamiseen liittyviä päästöjä tarkastella. Myöskään kemikaalien käyttöön liittyviä vaarallisuustekijöitä ei tarkastella. Kemikaalien käytön aiheuttaman luonnonvarojen kulumisen selville saaminen edellyttää kemikaalien kaikkien elinkaarivaiheiden luonnonvarojen kulutuksen selvittämistä. Eri kemikaalien välillä on hyvin suuria eroja, kun tarkastellaan niiden vaikutuksia luonnonvarojen kulumiseen. Vedenkäsittelyssä käytettävistä kemikaaleista suuri osa on teollisuuden sivutuotteita, joille elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti kohdennettava luonnonvarojen kulutus lasketaan esimerkiksi niiden massan/arvon mu-



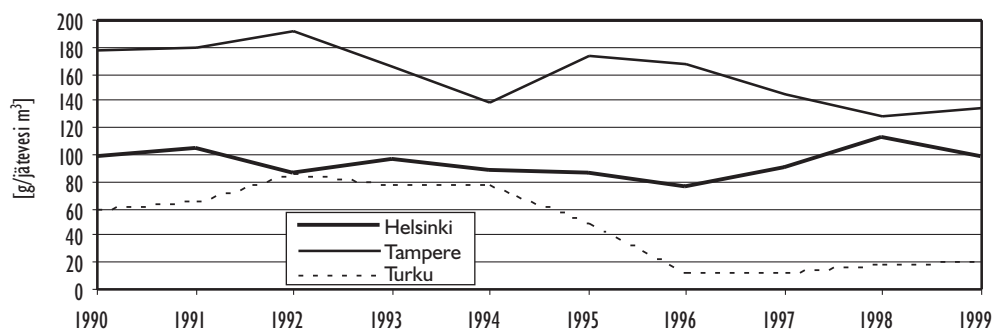
kaisessa suhteessa sen tuotantoprosessin mukaan, jossa ne syntyvät. Tässä tutkimuksessa tyydytään tarkastelemaan kemikaalien massoja, joiden kokonaismäärän kehityksen katsotaan korreloivan luonnonvarojen kokonaiskulutuksen kanssa. Myös teollisuuden sivutuotteina saatavat kemikaalit ovat laskelmissa mukana.

Jos kemikaali on liuksena, siitä on poistettu veden osuus. Syynä tähän on se, että liuoksia on ilmoitettu eri kaupungeissa eri vesipitoisuuksilla. Lisäksi jos kemikaalia on saatavana kiinteänä ja liuksena, olisi liuksen käyttö tässä yhteydessä epäedullisempää. Kideveden osuutta ei poisteta, koska se on yhdisteessä mukana joka tapauksessa. Liitteessä 6 on esitetty vuosina 1990–1999 talousveden valmistukseen ja jätevesien käsittelyyn käytetyt kemikaalit Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Liitteessä 6 on esitetty myös liuksesta poistetun veden osuus. Kaikkia liitteessä lueteltuja kemikaaleja ei ole käytetty joka vuosi.

Talousveden valmistuksen kemikaalit on laskettu vuosittain yhteen ja jaettu verkkoon pumpatun veden määrällä. Talousveden valmistuksen vuosittainen kemikaalien käyttö (kg/talousvesi m<sup>3</sup>) kuvaa tässä yhteydessä karkeasti kemikaalien vaatimaa luonnonvarojen käyttöä. Jäteveden käsittelyn kemikaalit lasketaan niinkään vuosittain yhteen ja jaetaan käsitellyllä jätevesimäärällä, jolloin saadaan jäteveden käsittelyssä käytetty kemikaalimäärä vuosittain (kg /jätevesi m<sup>3</sup>). Kuvassa 14 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun talousveden valmistuksen kemikaalien käyttö ja kuvassa 15 on esitetty jäteveden käsittelyn kemikaalien käyttö. Turun jätevesien käsittelyn kemikaalikulutukseen vaikuttavat talousveden valmistuksen lietteiden mukana tulevat kemikaalit. Talousveden valmistuksen lietteet sisältävät muun muassa aktiivista rautaa, josta on seurauksena ferrosulfaatin kulutuksen väheneminen jäteveden käsittelyssä.



Kuva 14. Talousveden valmistuksen kemikaalien käytön tehokkuuden parantamisen indikaattorina käytetyn kemikaalien käytön (g/talousvesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.



Kuva 15. Jäteveden käsittelyn kemikaalien käytön tehokkuuden parantamisen indikaattorina käytetyn kemikaalien käytön (g/jätevesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

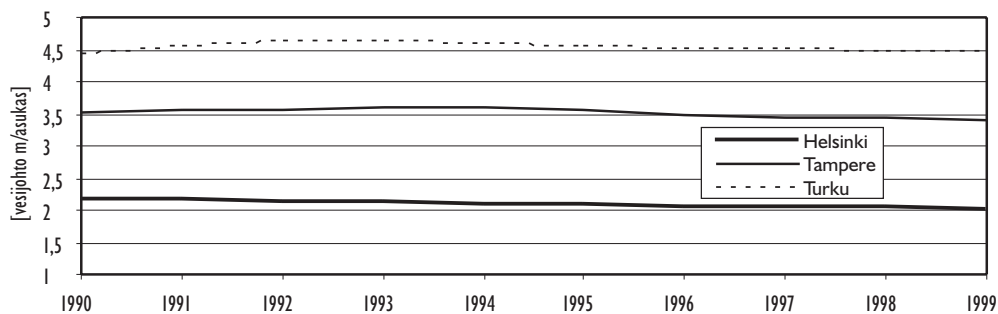
Kemikaalien käytön tehokkuuden parantamisen indikaattorin aikasarjat (kuvat 14 ja 15) muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitettyjen arvofunktioiden avulla. Talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn kemikaalien käyttöindeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.

## Verkoston rakenteen tehostaminen

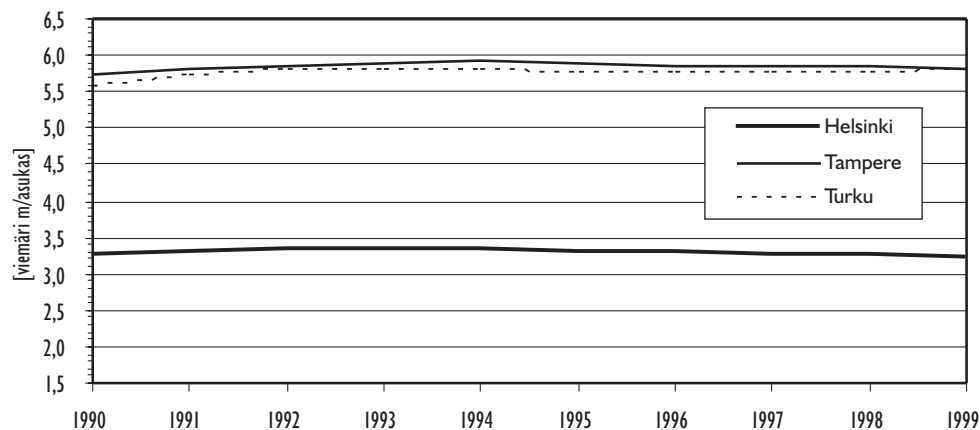
Talousveden ja jäteveden siirtäminen verkostoa pitkin kuluttaa energiaa. Verkostoa rakennettaessa ja sitä huollettaessa käytetään luonnonvaroja. Myös maansiirrot ja maa-ainesten käyttö ovat luonnonvarojen käyttöä. Energiaa ja luonnonvaroja säästyy, jos verkostoa on mahdollisimman vähän asukasta kohti. Verkoston pituus asukasta kohti kuvaa verkostorakenteen tehokkuutta. Mitä pienempi on verkoston pituus asukasta kohti, sitä vähemmän käytetään luonnonvaroja ja sitä tehokkaampi on verkostorakenne.

Verkostojen pituuden aikasarjoja tehtäessä viemäriverkkoon on laskettu jätevesi-, sadevesi- ja sekaviemäriin pituus vuoden lopussa. Kyseessä ei ole kaivantopituus, vaan paljonko putkia on maassa kaiken kaikkiaan. Erillisjärjestelmän sadevesiviemäri on laskettu lisäksi verkoston pituuteen.

Kuvassa 16 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun vesijohtoverkoston pituus asukasta kohti ja kuvassa 17 on esitetty viemäriverkon pituus asukasta kohti. Verkoston rakenteen tehostamisen indikaattorin aikasarjat muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitettyjen arvofunktioiden avulla. Vesijohtoverkoston ja



Kuva 16. Vesijohtoverkoston rakenteen tehostamisen indikaattorina käytetyn vesijohtoverkoston pituuden (m/asukas) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.



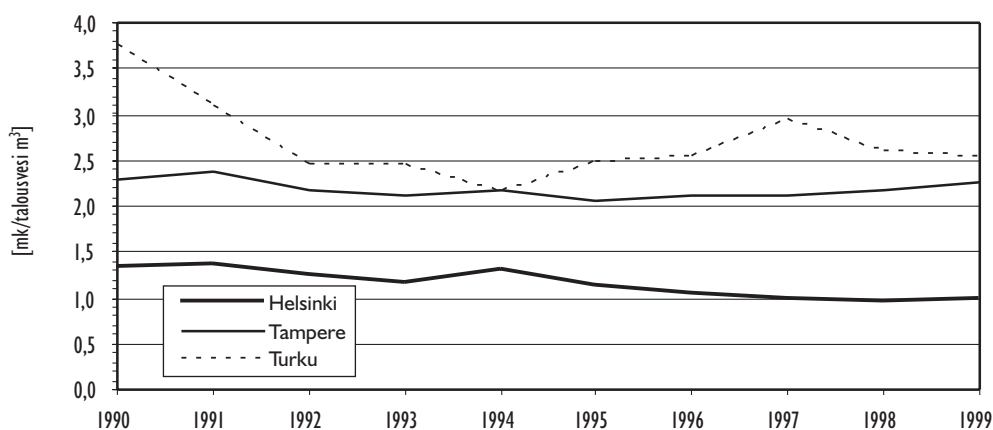
Kuva 17. Viemäriverkoston rakenteen tehostamisen indikaattorina käytetyn viemäriverkoston pituuden (m/asukas) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

viemäriverkoston pituus -indeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.

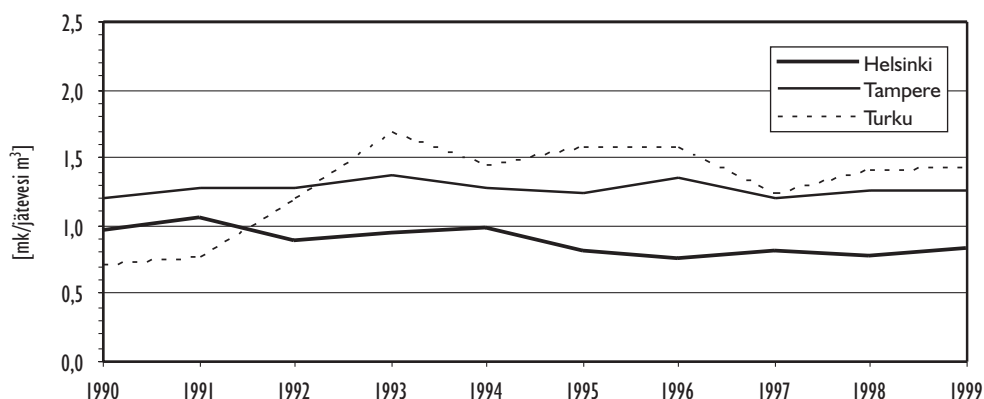
#### 4.4 Taloudellisuuden parantaminen

Taloudellisuuden parantaminen -kriteeri kuvaa vesilaitoksen vesi- ja viemärlaitoksen taloudellista tehokkuutta. Tässä tutkimuksessa taloudellisuuden parantamista kuvataan kustannustehokkuudella.

Koko laitoksen kulut jakaantuvat kokonaisuudessaan talous- ja jäteveeten. Yhteiset kustannukset on jaettu talous- ja jätevesien kulujen suhteessa. Kulut ovat muuttuvat ja kiinteät käyttökulut ilman poistoja ja korkoja. Kustannuksiin on laskettu mukaan seuraavat tuloslaskelmissa esitetyt kulut: aineet, tarvikkeet ja tavarat (kemikaalit ja raakavesi; muut aineet ja tarvikkeet; varastojen lisäys tai vähennys); energiakulut; palvelujen ostot; maavuokrat; muut vuokrat; muut kulut. Kustannukset on muutettu vuoden 1999 rahaksi kuluttajahintaindeksillä ja jaettu kunkin vuoden verkostoon pumpatun talousveden ja jäteveden määrillä. Näin on saatu talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn vuosittaiset kustannukset vuoden 1999 rahassa. Mitä pienemmät kustannukset ovat puhdistettua talousvesi- tai jätevesikuutiota kohti, sitä taloudellisemmin on toimittu.



Kuva 18. Talousveden valmistamisen kustannustehokkuuden parantamisen indikaattorina käytettyjen kustannusten (mk/talousvesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.



Kuva 19. Jäteveden käsittelyn kustannustehokkuuden parantamisen indikaattorina käytettyjen kustannusten (mk/jätevesi m<sup>3</sup>) kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa.

Kuvassa 18 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun talousveden valmistamisen kustannukset ja kuvassa 19 on esitetty jäteveden käsittelyn kustannukset. Kustannustehokkuuden parantamisen indikaattorin aikasarjat (kuvat 18 ja 19) muutetaan laaduttomiksi indeksiluvuiksi liitteessä 1 esitettyjen arvofunktioiden avulla. Kustannustehokkuuden parantaminen -indeksien kehitys 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa on esitetty liitteessä 2.

# 5

## Vesi- ja viemärlaitostoiminnan ekotehokkuuden kriteerien arvottaminen

Vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden arviointi perustuu vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteisiin. Lähtökohtana ovat vesi- ja viemärlaitoksen toiminnan keskeisimmät tulokset, jotka pyritään saavuttamaan saman aikaisesti tuotannon päästöjen vähentämisen, luonnonvarojen käytön vähentämisen ja taloudellisuuden parantamisen kanssa. Ekotehokkuuden kriteerit ovat siten myös vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteita.

Vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteiden keskinäisen tärkeyden ja merkittävyyden selville saamiseksi tehtiin arvottamistutkimus. Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta (kuva 3) koskeviin arvottamistilaisuuksiin pyydettiin tutkimuksessa mukana olevista vesi- ja viemärlaitoksista johto- ja asiantuntija tehtävissä olevia henkilöitä sekä Helsingin, Tampereen ja Turun kaupunkien ympäristövirastojen vesihuollosta kiinnostuneita asiantuntijoita. Lisäksi koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta käsitteleviin tilaisuuksiin kutsuttiin vesihuollon asiantuntijoita Uudenmaan, Pirkanmaan ja Lounais-Suomen ympäristökeskuksista. Arvottamisen suoritti yhteensä 28 henkilöä, joista 5 kuului tutkimuksen johtoryhmään (liite 7). Talousveden valmistuksen (kuva 4) ja jäteveden käsittelyn (kuva 5) ekotehokkuuden kriteereitä arvioivat Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoryhmän asiantuntijat (liite 7).

Arvottamistilaisuuksiin osallistuneille henkilöille esiteltiin ekotehokkuuden käsite ja sen soveltamisen tavoitteet. Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta kuvaava hierarkkisen malli, ekotehokkuuden kriteerit, indikaattoreiden aikasarjat, arvofunktiot ja indeksien aikasarjat käytiin läpi. Arvottaminen toteutettiin vesi- ja viemärlaitosta kuvaavien indikaattoreiden aikasarjojen pohjalta. Tilaisuuksiin osallistuneille henkilöille lähetettiin etukäteen arvottamisen perustavana oleva aineisto, jossa ekotehokkuusmallia esiteltiin seuraavasti:

*Mallissa ekotehokkuutta kuvataan kriteereillä, jotka jakaantuvat yhteen tai useampaan alakriteeriin. Indikaattoreilla eli tunnusluvuilla pyritään kuvaamaan alakriteereiden keskeisin sisältö. Indikaattorien arvot yhdistämällä saadaan kriteerille arvo. Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta kuvaava tunnusluku saadaan kriteerien arvot yhdistämällä. Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden arvioiminen mallin avulla edellyttää arvottamista eli painottamista. Arvottaminen aloitetaan hierarkian alimmalta tasolta eli alakriteereistä. Sen jälkeen painotetaan kriteerit.*

### 5.1 Painotuksen suorittaminen

Vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteiden (= ekotehokkuuden kriteereiden) arvottaminen tehtiin päätösanalyysin teorioihin kuuluvaan SMART -tekniikkaan perustuen (von Winterfeldt & Edwards 1986). Arvottamiseen osallistuneille henkilöille annettiin seuraava ohje tehtävän suorittamiseksi:

*Aseta kriteerit tärkeysjärjestykseen ja anna vähiten tärkeälle kriteerille paino 10. Vähiten tärkeä kriteeri on siten standardi, johon muita kriteereitä verrataan.*

*Arvioi tämän jälkeen, kuinka monta kertaa tärkeämpi seuraavaksi vähiten tärkeä kriteeri on suhteessa "standardikriteeriin". Esimerkiksi jos katsot, että seuraavaksi vähiten tärkeä kriteeri on standardiin nähden viisi kertaa tärkeämpi, kyseisen kriteerin painoksi tulee 50.*

*Seuraavaksi arvioitavan kriteerin tärkeyttä verrataan standardikriteeriin, minkä jälkeen tarkistetaan annetun painon johdonmukaisuus suhteessa edellisiin painoihin. Painojen antamista jatketaan loppuun edellä kuvatun mukaisesti. Kriteereillä voi olla myös sama paino, jolloin ne arvioidaan yhtä tärkeiksi. Painojen suuruudella ei ole ylärajaa. Tarkista lopuksi antamiesi painojen johdonmukaisuus. Arvioi vastaako kriteerien välinen tärkeyssuhde käsitystäsi. Muuta tarvittaessa painoja.*

*Alakriteerien keskinäinen painotus suoritetaan vastaavalla tavalla. Ennen arvottamista tutustu mallin hierarkiaan (kuva 3) sekä alakriteereitä mittaavien indikaattoreiden aikasarjoihin ja arvofunktioihin (liitteet 1 ja 2). Arvottaminen tehdään ensisijaisesti oman alueen vesilaitoksen tietojen pohjalta. Vastaukset kirjataan vastauslomakkeelle (liite 8).*

Arvottajien tehtävää helpotettiin arvottamisaineiston mukana jaetuilla esimerkkikysymyksillä, joilla alakriteerien ja kriteerien vertailua pyrittiin konkretisoimaan. Seuraavassa on luettelo vertailua helpottavista kysymyksistä (Kysymykset voidaan asettaa myös toisin päin.):

Tuotteiden ja palveluiden parantaminen:

- Miten paljon tärkeämpää on, että talousveden laatua parannetaan nykyisestä, verrattuna siihen, että vesihuollon toimintavarmuutta parannetaan?
- Miten paljon enemmän rahaa tulisi uhrata talousveden laadun parantamiseen kuin toimintavarmuuden parantamiseen?

Päästöjen vähentäminen:

- Kuinka paljon tärkeämpää ympäristövaikutusten kannalta on vähentää veteen ja ilmaan meneviä päästöjä nykyisestä tasosta verrattuna maaperään menevien haitallisten aineiden vähentämiseen?

Luonnonvarojen käytön vähentäminen:

- Miten luonnonvarojen kulutusta vesi- ja viemärlaitoksessa tulisi vähentää: tuotannon energian käytön tehokkuutta parantamalla; kemikaalien käytön tehokkuutta parantamalla; toimenpiteillä, jotka vähentävät veden käyttöä vai tehostamalla verkoston rakennetta?
- Miten paljon tehokkaampi keino luonnonvarojen säästämiseksi on energiatehokkuuden parantaminen verrattuna kemikaalien käytön tehokkuuden parantamiseen?

Kriteerit:

- Mikä on kriteerien suhteellinen tärkeysjärjestys vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteiden ja strategian kannalta? Minkä kriteerin suhteen vesi- ja viemärlaitoksen tulisi eniten kehittää toimintaansa? Millä osa-alueella olisi eniten tarvetta kehittyä?
- Kuinka paljon tärkeämpää vesi- ja viemärlaitoksessa on kehittää vesihuollon tuotteita ja palveluita kuin pyrkiä vähentämään veteen, ilmaan ja maaperään meneviä päästöjä?
- Kuinka paljon tärkeämpää on toiminnan taloudellisuuden parantaminen kuin toiminnan kehittäminen luonnonvaroja säästävemmäksi?

Arvottamisen lähtökohtana oli Helsingin, Tampereen ja Turun vesilaitoksia kuvaava aineisto. Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta arvioiville jaetut indikaattoreiden aikasarjat ja arvofunktiot oli saatu yhdistämällä talousveden valmistuksen ja jätevesien käsittelyä kuvaava aineisto. Indikaattoreiden aikasarjojen ja arvofunktioiden sisältöä ja merkitystä kuvattiin koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta arvioiville jaetussa aineistossa myös seuraavasti:

#### **Talousveden laadun parantaminen**

Indikaattorina käytetyn  $\text{KMnO}_4$ -luvun suuruus talousvedessä vaihteli välillä 2,9–6,1 mg/l 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Kehityssuunta on ollut laskeva. Indikaattori saa maksimi-arvon (100), jos  $\text{KMnO}_4$ -luku on pienempi tai yhtä suuri kuin 2 mg/l. Sosiaali- ja terveysministeriö on päätöksellään vuonna 1994 asettanut  $\text{KMnO}_4$ -luvulle tavoitearvon 8 mg/l.

#### **Vesihuollon toimivuuden parantaminen**

Indikaattorina käytetyn vesijohtovuotojen määrä vaihteli välillä 0,1–0,24 vuotoa katujohtokilometriä kohti vuodessa 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Kehityssuunta on ollut laskeva. Indikaattori saa maksimi-arvon (100), jos vesijohtovuotojen määrä on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,05 vuotoa katujohtokilometriä kohti vuodessa.

#### **Päästöjen veteen ja ilmaan vähentäminen**

Alakriteeri ”päästöjen veteen ja ilmaan vähentäminen” muodostuu käsiteltyjen jätevesien sisältämistä haitta-aineista ja vesihuollossa kulutetun energian tuotannon päästöistä ilmaan. Alakriteerissä ”päästöjen veteen ja ilmaan vähentäminen” otetaan huomioon lisäksi myös hyötykäyttöön menevällä lietteellä korvatus lannoitteen valmistuksen päästöt (vähennetään kokonaispäästöistä), lietteistä tuotetulla energialla korvatus muun energiantuotannon päästöt (vähennetään kokonaispäästöistä) ja kaatopaikalle menevän lietteen metaanipäästöt. Veteen meneviä päästöjä ovat fosfori, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi ja happea kuluttava orgaaninen aines. Fosforin määrä lähtevässä jätevedessä vaihteli välillä 0,3–0,8 mg/l, kokonaistyyppien määrä 15–35 mg/l, ammoniumtyypin 9–22 mg/l ja biologisen hapenkulutuksen 7–16 mg/l 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Kehityssuunta on ollut laskeva fosforin ja biologisen hapenkulutuksen osalta Helsingissä ja Tampereella. Kokonaistyyppien määrä on vähentynyt voimakkaasti Helsingissä. Muilta osin selvää parannusta ei 90-luvulla ole tapahtunut.

Tampereella vuonna 1996 veteen menevät päästöt aiheuttivat noin 70 % koko vesi- ja viemärlaitoksen vaikutuksista ympäristöön, kun tyyppiä ei otettu huomioon. Helsingissä ja Turussa veteen menevät jätevedet aiheuttavat todennäköisesti vielä suuremman osuuden laitosten ympäristövaikutuksista kuin Tampereella, koska myös tyyppi on rehevöittävä tekijä merialueella. Tampereella vuonna 1996 energiantuotannon päästöt aiheuttivat noin 20 % koko vesi- ja viemärlaitoksen vaikutuksista ympäristöön.

Mädättämökaasua polttamalla saadaan energiaa, jonka päästöt ovat pienemmät kuin energiantuotannon päästöt keskimäärin. Tampereella vuonna 1996 jäteveden käsittelystä aiheutuvat kokonaishaitat pienenevät teoreettisesti noin 30–40 % mädättämökaasusta saatavan energian ansiosta.

Lietteiden hyötykäytöllä korvataan lannoitteiden valmistusta. Tampereella vuonna 1996 jäteveden käsittelystä aiheutuvat kokonaishaitat pienenevät teoreettisesti noin 20 % lietteiden lannoitekäytön ansiosta.

Alakriteerin ”päästöjen veteen ja ilmaan vähentäminen” indikaattorina käytetään elinkaariarviointiin perustuvia haittapisteitä. Helsingin haittapisteet vaihtelivat välillä 61–129 haittapistettä/m<sup>3</sup>, Turun 68–94 ja Tampereen 85–101. Päästöistä veteen ja ilmaan aiheutuvan haitan kehityssuunta 90-luvulla on ollut Helsingissä ja Tampe-

reella laskeva. Turussa muutosta on tapahtunut myös huonompaan suuntaan. Päästöjen veteen ja ilmaan vaikutuksia kuvaava indikaattori saa maksimiarvon (100), jos haittapisteitä/m<sup>3</sup> muodostuu vähemmän tai yhtä paljon kuin 30 haittapisteitä/m<sup>3</sup>.

#### **Maaperään menevien päästöjen vähentäminen**

Indikaattorina käytetään lietteen sisältämien haitallisten metallien (kadmium, kromi, kupari, elohopea, nikkeli, lyijy ja sinkki) määrää. Näiden metallien pitoisuudet muutetaan elohopeaekvivalenteiksi metalleille annettujen raja-arvopitoisuuksien avulla. Haitallisten metallien pitoisuudet vaihtelivat 90-luvulla Helsingissä, Tampereella ja Turussa välillä 1,1–5,1 Hg-ekv. mg/jätevesi m<sup>3</sup>. Kehityssuunta on ollut laskeva. Lietteiden maanviljelykäytölle asetetut raja-arvot eivät nykyisin yleensä ylity. Indikaattori saa maksimiarvon (100), jos elohopeaekvivalenttimäärä lietteissä on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,5 Hg-ekv mg/m<sup>3</sup>.

#### **Veden käytön vähentäminen**

Indikaattorina käytetään veden ominaiskulutusta. Veden ominaiskulutus on 90-luvulla vaihdellut 260–340 litrasta asukasta kohti vuorokaudessa Helsingissä, Turussa ja Tampereella. Kehityssuunta on ollut voimakkaasti laskeva 90-luvulla. Indikaattori saa maksimiarvon (100), jos ominaiskulutus on pienempi tai yhtä suuri kuin 180 l/(as · vrk).

#### **Energiatehokkuuden parantaminen**

Indikaattorina käytetään vesi- ja viemärlaitoksen energiankulutusta, joka vaihteli tutkituissa laitoksissa välillä 0,93–1,34 kWh/m<sup>3</sup>. Kulutettu energiamäärä on muutettu myös energiapolttoaineiksi. Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- viemärlaitosten tarvitsemien energiapolttoaineiden määrä 90-luvulla vaihteli välillä 0,21–0,33 kg/m<sup>3</sup>. Kehityssuunta on ollut lievästi kasvava. Indikaattori saa maksimiarvon (100), jos energiapolttoaineiden kulutus on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,8 kWh/m<sup>3</sup>.

#### **Kemikaalien käytön tehokkuuden parantaminen**

Indikaattorina käytetään vesi- ja viemärlaitoksen kemikaalien kulutusta. Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten tarvitsemien kemikaalien määrä 90-luvulla vaihteli välillä 0,16–0,31 kg/m<sup>3</sup>. Kehityssuunta on ollut Tampereella ja Turussa laskeva. Helsingissä kulutus on pysynyt samalla tasolla. Indikaattori saa maksimiarvon (100), jos kemikaalien kokonaiskulutus on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,12 kg/m<sup>3</sup>.

#### **Verkon rakenteen tehostaminen**

Indikaattorina käytetään verkoston pituutta asukasta koti. Sekä vesijohto- että viemäriverkoston pituus ei ole juurikaan muuttunut tutkituissa laitoksissa 90-luvun aikana. Vesijohtoverkoston pituus Helsingissä on 2 m/asukas, Tampereella 3,5 m/asukas ja Turussa 4,5 m/asukas. Viemäriverkoston pituudet Helsingissä 3,3 m/asukas, Tampereella 5,8 m/asukas ja Turussa 5,8 m/asukas. Indikaattori saa maksimiarvon (100), jos verkoston yhteenlaskettu pituus on pienempi tai yhtä suuri kuin 4 m/asukas.

#### **Kustannustehokkuuden parantaminen**

Indikaattorina käytetään talousvedestä ja jätevedestä aiheutuvia kustannuksia m<sup>3</sup> kohti. Kustannukset ovat 90-luvulla Helsingissä lievästi laskeneet ja Tampereella pysyneet vakaina. Turussa talousveden kustannukset ovat laskeneet ja jäteveden vastaavasti kasvaneet. Talousveden kustannukset vaihtelevat keskimäärin välillä 1–3 mk/m<sup>3</sup> ja jäteveden 0,8–1,6 mk/m<sup>3</sup>. Indikaattori saa maksimiarvon (100), jos talousveden ja jäteveden yhteenlasketut kustannukset ovat vähemmän tai yhtä paljon kuin 1,5 mk/m<sup>3</sup>.



## 5.2 Arvottamisen tulokset

Arvottaminen toteutettiin noin 1,5–2 tunnin tilaisuuksissa, joissa etukäteen lähetetyn aineiston läpikäynnin lisäksi keskusteltiin tehtävän suorittamiseen liittyvistä kysymyksistä. Arvottamisen tehneillä henkilöillä (liite 7) oli mahdollisuus tehdä tarkentavia kysymyksiä esimerkiksi kriteerien määrittelyistä ja rajauksista. Arvottamistilaisuuksiin osallistuneet henkilöt eivät kokeneet arvottamistehtävän tekemistä erityisen vaikeaksi. Saadut vastaukset edustavat jokaisen asiantuntijan omaa henkilökohtaista näkemystä. Asiantuntijoiden antamat painot normalisoitiin siten, että nii-

Taulukko 2. Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden kriteereiden painot. Arvottamiseen osallistui asiantuntijoita Helsingin Veden, Tampereen ja Turun vesilaitosten lisäksi Helsingin ympäristökeskuksesta, Tampereen kaupungin ympäristövalvontatoimistosta, Turun ympäristövirastosta, Uudenmaan ympäristökeskuksesta, Lounais-Suomen ympäristökeskuksesta, maa- ja metsätalousministeriöstä, Teknillisestä korkeakoulusta, Kemira Chemicalsista ja Suomen ympäristökeskuksesta (liite 7).

Kriteeri Alakriteeri	Helsingin Vesi	Tampereen vesilaitos	Turun vesilaitos	Muut asiantuntijat	Keskiarvo
Tuotteiden ja palvelujen parantaminen					
Talousveden laatu	0,10	0,14	0,14	0,11	0,12
Vesihuollon toimivuus	0,24	0,20	0,14	0,09	0,16
Päästöjen vähentäminen					
Päästöt veteen ja ilmaan	0,41	0,25	0,21	0,37	0,32
Päästöt maaperään	0,00	0,07	0,10	0,07	0,06
Luonnonvarojen käytön vähentäminen					
Vedenkulutus	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
Energiankulutus	0,06	0,09	0,03	0,08	0,07
Kemikaalien kulutus	0,03	0,04	0,02	0,06	0,04
Verkoston rakenne	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
Taloudellisuuden parantaminen					
Kustannukset	0,13	0,16	0,30	0,16	0,17
Yhteensä					

Taulukko 3. Talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn ekotehokkuuden kriteereiden keskiarvopainot. Arvottamiseen osallistuvivat liitteessä 7 mainitut Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoryhmään kuuluvat asiantuntijat.

Kriteeri Alakriteeri	Talousveden valmistus	Jäteveden käsittely
Tuotteiden ja palvelujen parantaminen		
Talousveden laatu	0,22	
Vesihuollon toimivuus	0,14	
Päästöjen vähentäminen		
Päästöt veteen ja ilmaan	0,18	0,40
Päästöt maaperään		0,09
Luonnonvarojen käytön vähentäminen		
Vedenkulutus	0,07	
Energiankulutus	0,08	0,10
Kemikaalien kulutus	0,06	0,10
Verkoston rakenne	0,05	0,05
Taloudellisuuden parantaminen		
Kustannukset	0,21	0,25
Yhteensä		

den summa on yksi. Taulukossa 2 on esitetty koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden kriteereiden saamat painot vastaajaryhmittäin. Taulukossa 3 on talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn ekotehokkuuden kriteereille annetut painot.

Tärkeimmäksi koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden kriteeriksi nousi päästöjen vähentäminen (keskiarvopaino 0,38). Tuotteiden ja palvelujen parantaminen nähtiin toiseksi tärkeimpänä kriteerinä (0,28). Taloudellisuuden parantaminen ja luonnonvarojen käytön vähentäminen nähtiin jotakuinkin yhtä tärkeinä ekotehokkuuden kriteereinä keskiarvotarkastelun perusteella (taulukko 2). Yksittäisten vastaajien antamien painojen erot olivat melko suuret, mutta kriteerien tärkeysjärjestys oli samansuuntainen eri vastaajilla. Arvottamisen tulos kuvaa myös vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteiden keskinäistä tärkeyttä, sillä arvottamistilaisuuksissa korostettiin, että lähtökohtana on vesi- ja viemärlaitoksen toiminta ja sille asetetut tavoitteet. Tarkasteltaessa vesihuollon ekotehokkuuden alakriteerejä selvästi suurimman keskiarvopainon saa veteen ja ilmaan menevien päästöjen vähentäminen. Seuraavaksi tärkeimpiä indikaattoreita ovat kustannustehokkuuden parantaminen, vesihuollon toimivuuden parantaminen ja talousveden laadun parantaminen (taulukko 2).

Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoryhmän asiantuntijat arvioivat talousveden valmistuksen ekotehokkuuden tärkeimmiksi kriteereiksi tuotteiden ja palvelujen parantamisen (0,36) ja luonnonvarojen käytön vähentämisen (0,26) (taulukko 3). Jäteveden käsittelyn ekotehokkuuden tärkein kriteeri oli päästöjen vähentäminen (0,49) (taulukko 3).

# 6

## Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuus

Ekotehokkuuskäsitteen lähtökohtana on tavoite kestävä kehityksen periaatteiden soveltamisesta yrityksiin. Kestävällä kehityksellä on monta ulottuvuutta, joiden suhteen pitäisi tapahtua myönteistä kehitystä. Tarkasteltaessa yrityksiä ja laitoksia voidaan havaita, että ekotehokkuuden lisääminen joillakin alueilla aiheuttaa kielteisiä vaikutuksia toisaalla. Esimerkiksi päästöjen lisäpuhdistaminen aiheuttaa kustannuspaineita ja lisää luonnonvarojen kulutusta. Tässä tutkimuksessa esitetään menetelmä, jossa ekotehokkuuden kehitystä voidaan arvioida kokonaisuutena. Kokonaistarkastelun etuna on se, että pystytään havaitsemaan, onko jollakin osa-alueella kannattavaksi todettu investointi myös kokonaisuuden kannalta järkevä.

Ekotehokkuuden kokonaisarviointi perustuu valittujen ekotehokkuusindikaattoreiden ja arvottamistutkimuksella saatujen ekotehokkuuden kriteerien painojen hyödyntämiseen. Indikaattoreiden arvot skaalataan indeksiarvoiksi välille 0–100 arvofunktioiden avulla (luku 4). Arvofunktiot määrittävät tavoitearvon, johon indikaattorin arvon tulisi noin 15–20 vuoden kuluessa päätyä. Arvofunktiolla otetaan huomioon myös kehitys, joka on tapahtunut 90-luvulla. Skaalatut indikaattoreiden arvot ovat vertailukelpoisia keskenään ja ne voidaan yhdistää painokerrointen avulla ekotehokkuutta kuvaavaksi tunnusluvuiksi. Painokerrointen määrittäminen käsitelty luvussa 5.

Vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden tunnusluku  $E$  lasketaan kaavalla

$$E = \sum_{i=1}^n w_i \sum_{j=1}^m v_{ij} x_{ij}$$

missä  $w_i$  = ekotehokkuuskriteerin  $i$  paino,

$v_{ij}$  = ekotehokkuuskriteerin  $i$  indikaattorin  $j$  paino,

$x_{ij}$  = ekotehokkuuskriteerin  $i$  indikaattorin  $j$  saama indeksiarvo,

$n$  = ekotehokkuuskriteerien lukumäärä ja

$m$  = ekotehokkuuskriteerin  $i$  indikaattoreiden lukumäärä.

### 6.1 Koko vesi- ja viemärlaitos

Laskettaessa koko vesi- ja viemärlaitokselle ekotehokkuuden tunnuslukuja käytetään liitteen 2 indikaattoreiden indeksiarvoja koko vesilaitokselle ja taulukon 2 indikaattoreiden keskiarvopainoja. Kuvissa 20, 21 ja 22 sekä liitteessä 9 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden tunnusluvun ( $E$ ) kehitys 90-luvulla. Kuvissa ekotehokkuus on jaettu indikaattoreiden mukaisiin osiin. Koko laitoksen ekotehokkuus muodostuu indikaattoreiden tunnuslukujen summasta. Indikaattoreiden tunnusluvut on muodostettu siten, että mitä suurempi on tunnusluvun arvo sitä parempi on myös ekotehokkuus. Jos koko laitoksen ekotehokkuus on esimerkiksi 70, tarkoittaa se, että laitos on saavuttanut 70 % sille indikaattoreiden arviofunktioissa (liite 1) asetetuista ekotehokkuustavoitteista. Indikaattoreiden arvottamisen kautta saadut painot osoittavat kunkin indikaattorin osuuden ekotehokkuuden arvosta. Jos laitos saavuttaa ekotehokkuustavoitteen (tunnusluku = 100 %), jakaantuu tunnusluvun arvo indikaattoreiden painojen suhteessa seuraavasti: talousveden laatu 12 %, vesihuollon toimintavarmuus 16 %, päästöt ilmaan ja

veteen 32 %, päästöt maaperään 6 %, vedenkulutuksen vähentäminen 2 %, energia- polttoaineiden kulutuksen vähentäminen 7 %, kemikaalien kulutuksen vähentäminen 4 %, verkoston rakenteen tehostaminen 3 % ja kustannustehokkuuden parantaminen 18 %. Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuusindeksin arvosta yli kolme neljäsosaa muodostuu siten indeksien päästöt veteen ja ilmaan, kustannukset, vesihuollon toimintavarmuus ja talousveden laatu arvoista. Kuvien 20–21 aikasarjat on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 9.

Helsingin vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden tunnusluku on parantunut 90-luvun alusta noin 40 prosentilla (kuva 20). Hyvä kehitys on pääosin seurausta typenpoiston tehostamisesta vuodesta 1998 alkaen. Myös talousveden laatu ja kustannustehokkuus ovat indikaattoreilla mitattuna selvästi parantuneet 90-luvulla. Suurin ekotehokkuuden lisäämispotentiaali Helsingissä on edelleen veteen menevien päästöjen vähentämisessä. Energian ja kemikaalien kulutus on Helsingissä 90-luvulla kasvanut, joten niitä kuvaavien indikaattoreiden kehitys on ollut negatiivista.

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuuden tunnusluku on parantunut 90-luvun alusta noin 40 prosentilla (kuva 21). Kehitys on pääosin ollut seurausta vesihuollon toimintavarmuuden ja talousveden laadun paranemisesta. Myös muut indikaattorit ovat kehittyneet jonkin verran myönteiseen suuntaan. Ainoastaan kustannukset ovat hienoisesti kasvaneet.

Turun vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuudessa ei 90-luvun alun tilanteeseen verrattuna ole tapahtunut suuria muutoksia koko laitosta kuvaavalla tunnusluvulla mitaten (kuva 22). Maaperään menevät päästöt ovat kuitenkin vähentyneet Turussa voimakkaasti. Myös kemikaalien käyttö on selvästi vähentynyt.

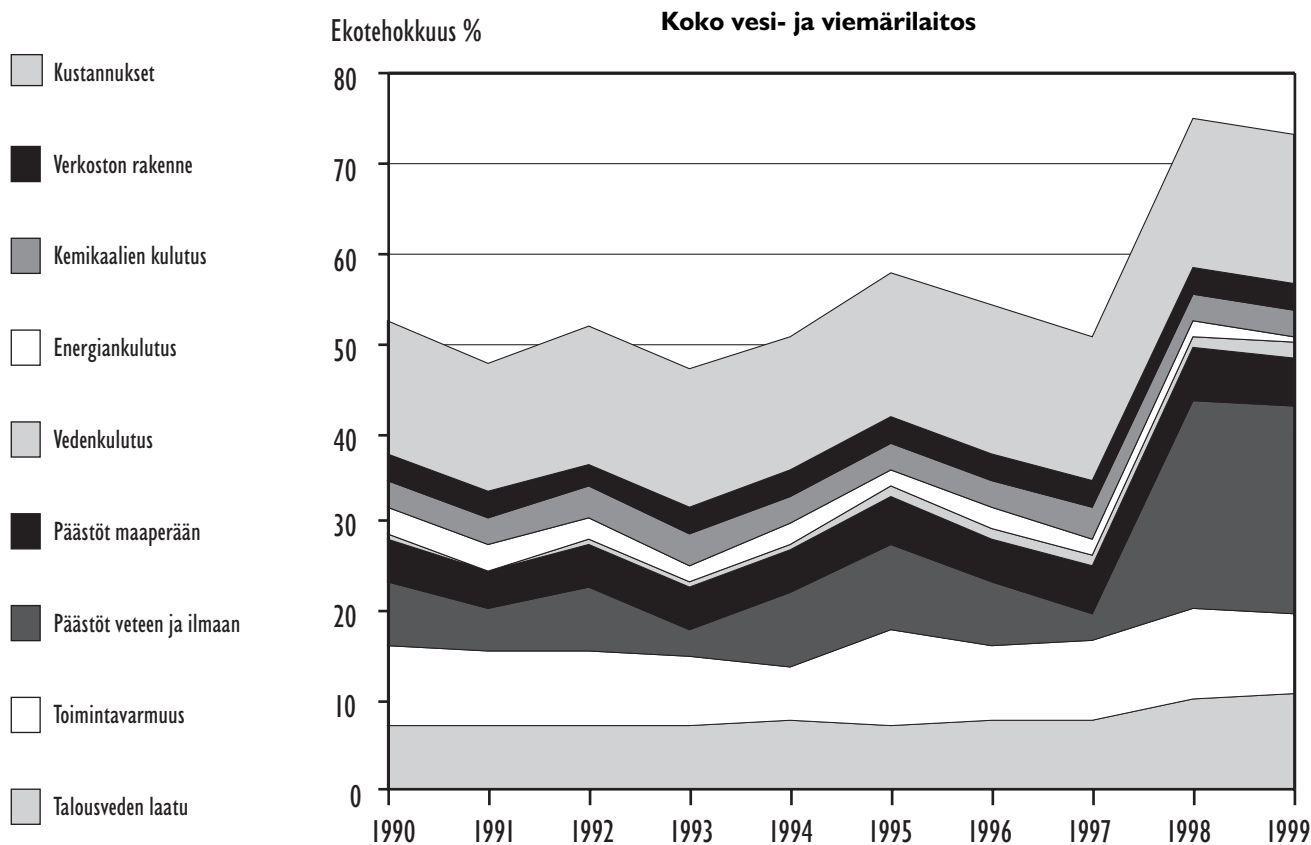
## 6.2 Talousveden valmistus

Talousveden valmistuksen ekotehokkuuden tunnusluku vesi- ja viemärlaitokselle lasketaan käyttäen liitteen 2 indikaattoreiden indeksiarvoja talousveden valmistukselle ja taulukon 3 keskiarvopainoja talousveden valmistukselle. Kuvissa 23, 24 ja 25 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden tunnusluvun aikasarjat talousveden valmistukselle 90-luvulla. Kuvissa talousveden valmistuksen ekotehokkuus on jaettu indikaattoreiden mukaisiin osiin. Talousveden valmistuksen ekotehokkuus muodostuu indikaattoreiden tunnuslukujen summasta. Kuvien 23–25 aikasarjat ja indikaattoreiden maksimiarvot on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 9.

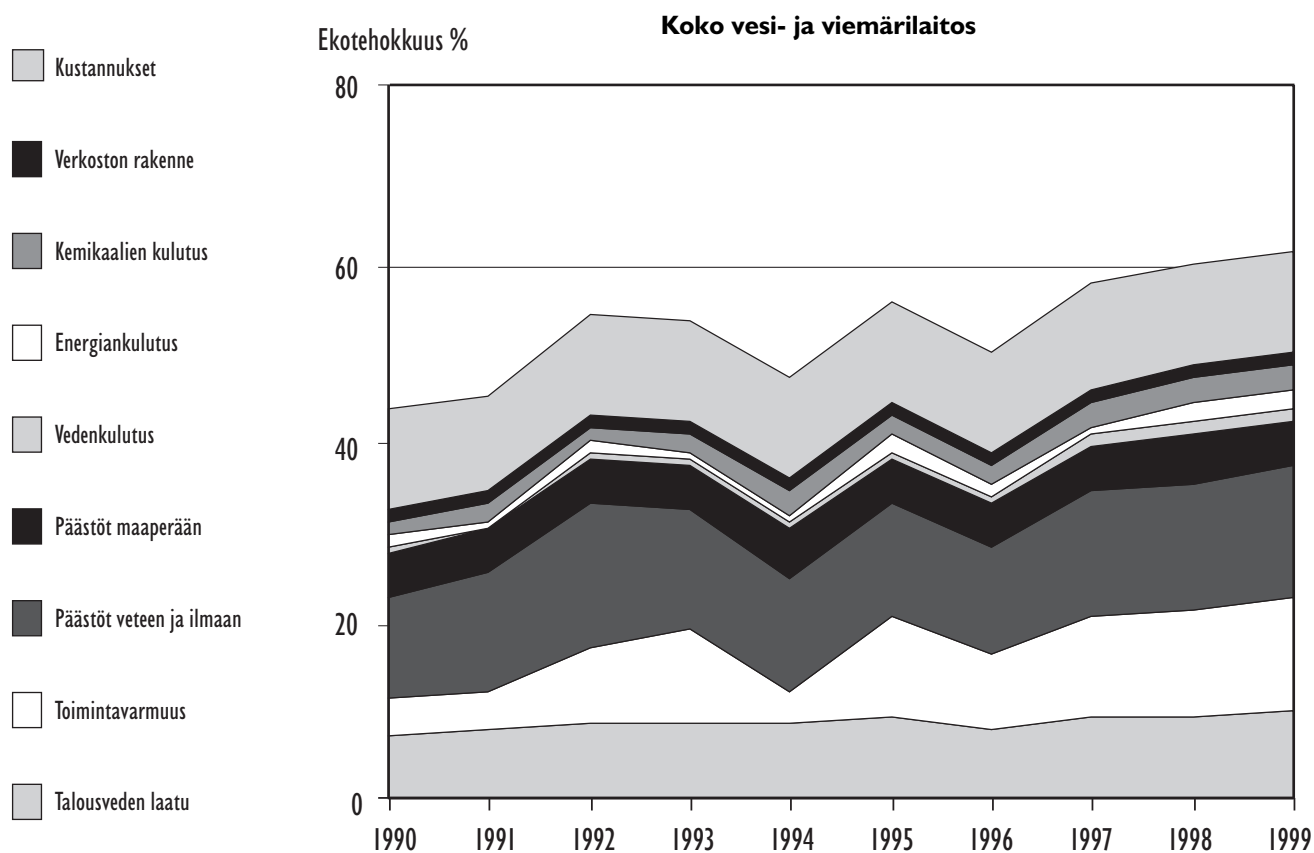
Helsingin vesi- ja viemärlaitoksen talousveden valmistuksen ekotehokkuustunnusluku on parantunut 90-luvun alusta lähes 20 prosentilla (kuva 23). Positiivinen kehitys on seurausta talousveden laadun paranemisesta (aktiivihiihluodattimen käyttöönotto), vedenkulutuksen vähenemisestä ja kustannustehokkuuden paranemisesta. Vedenkulutus on vähentynyt voimakkaasti Helsingissä samoin kuin Tampereella ja Turussa. Kemikaalien ja energiankulutuksen osalta Helsingissä on tapahtunut lievää kasvua.

Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen talousveden valmistuksen ekotehokkuustunnusluku on parantunut 90-luvun alusta lähes 30 prosentilla (kuva 24). Kehitys on pääosin ollut seurausta vesihuollon toimintavarmuuden ja talousveden laadun selvästi paranemisesta sekä vedenkulutuksen vähenemisestä. Myös muut indikaattorit energiankulutusta lukuun ottamatta ovat kehittyneet jonkin verran myönteiseen suuntaan.

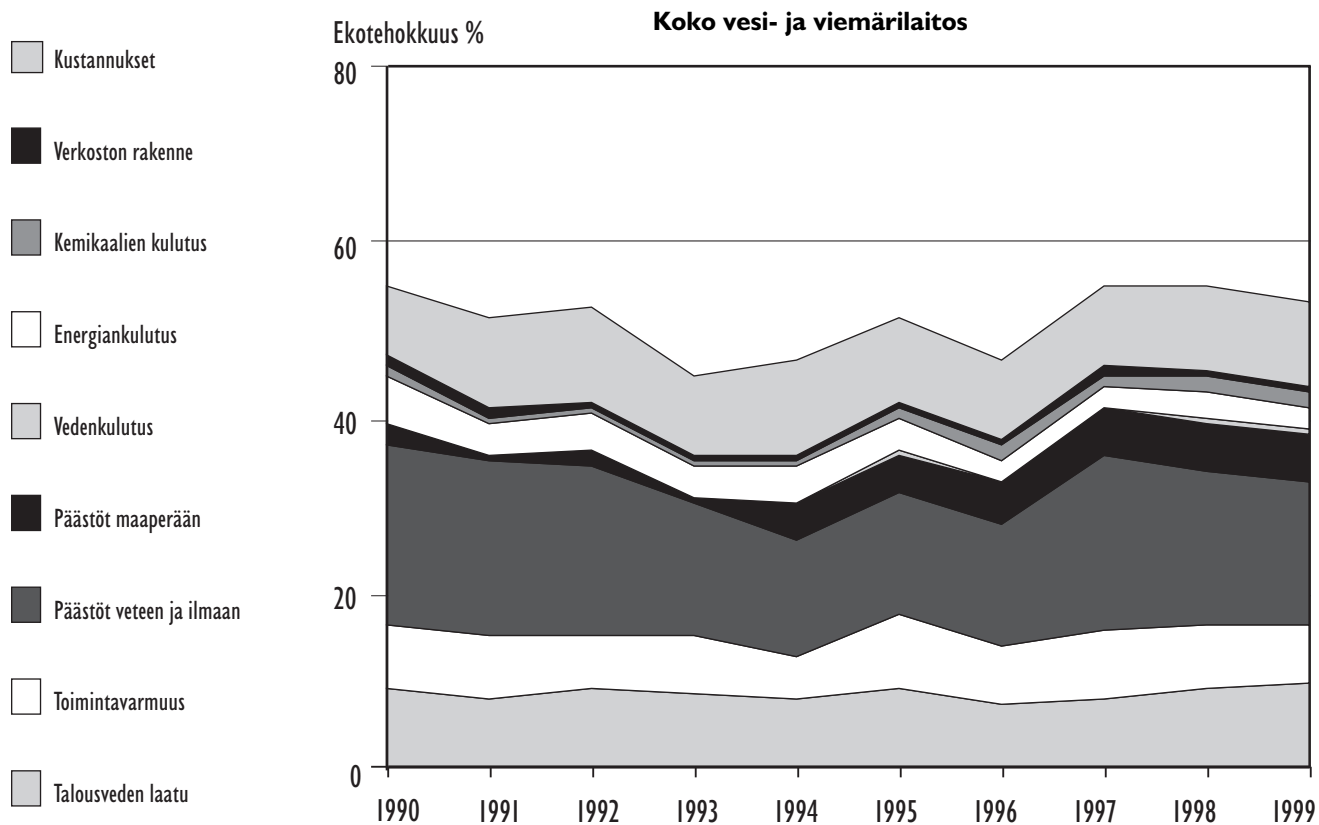
Turun vesi- ja viemärlaitoksen talousveden valmistuksen ekotehokkuus on 90-luvun alun tilanteeseen verrattuna pysynyt jotakuinkin samalla tasolla (kuva 25). (Vuosien 1990 ja 1991 kustannustiedoissa voi olla virheellisyyksiä.) Turussa päästöt ilmaan ovat kokonaan toisella tasolla kuin Helsingissä ja Tampereella. Turun suuremmat päästöt ovat seurausta energiantuotannon päästöistä. Turun vesilaitoksen energian kulutuksessa on tapahtunut 90-luvulla myös selvää kasvua.



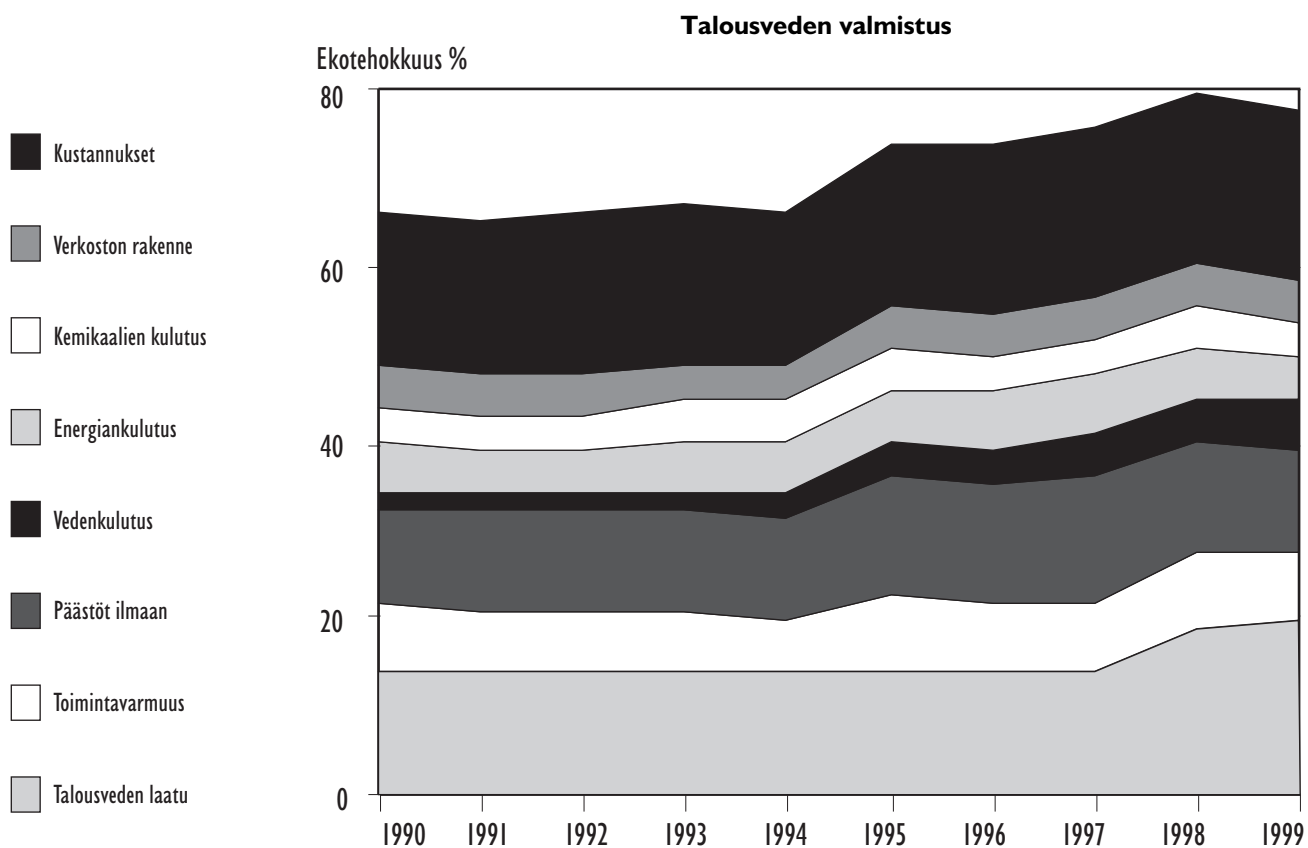
Kuva 20. Helsingin vesi- ja viemärilaitoksen (Helsingin Vesi) ekotehokkuuden aikasarjat.



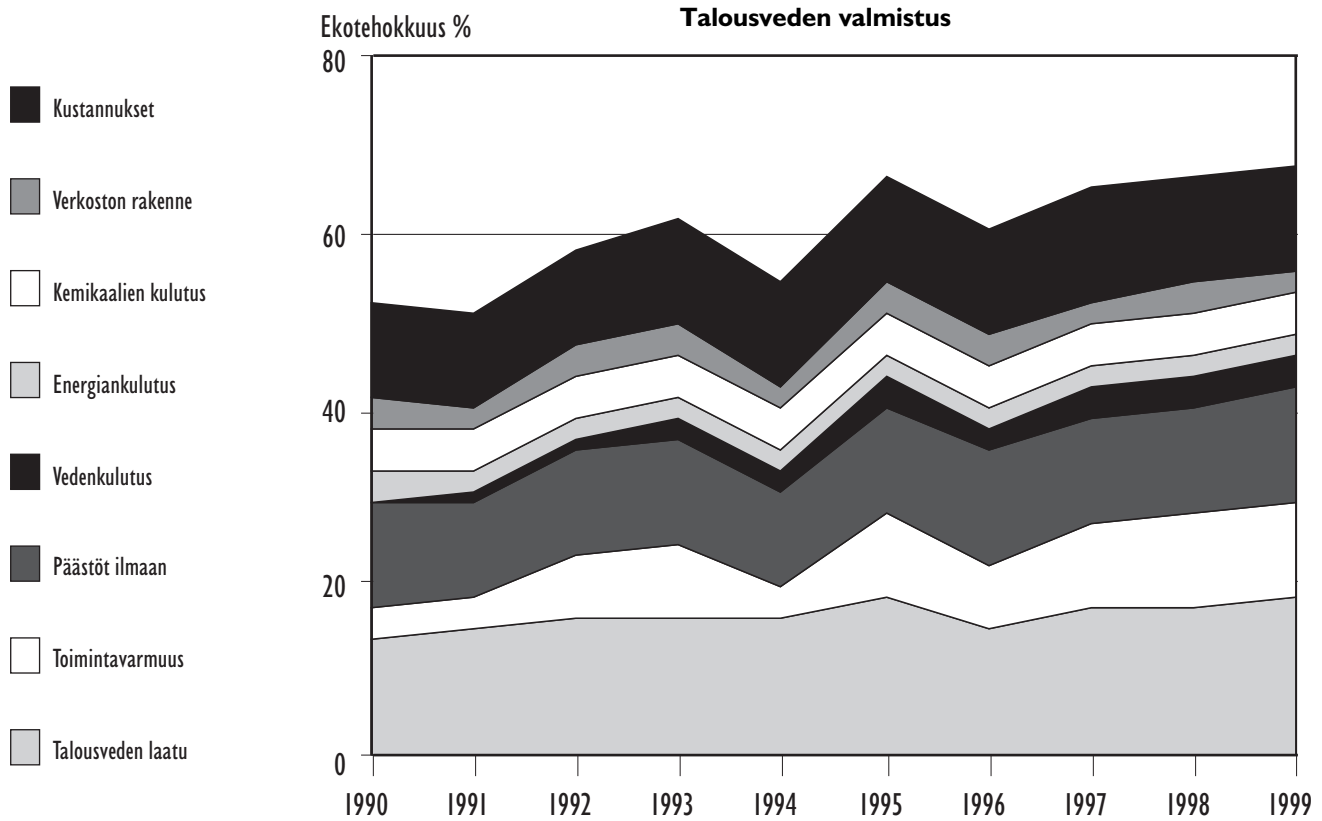
Kuva 21. Tampereen vesi- ja viemärilaitoksen (Tampereen vesilaitos) ekotehokkuuden aikasarjat.



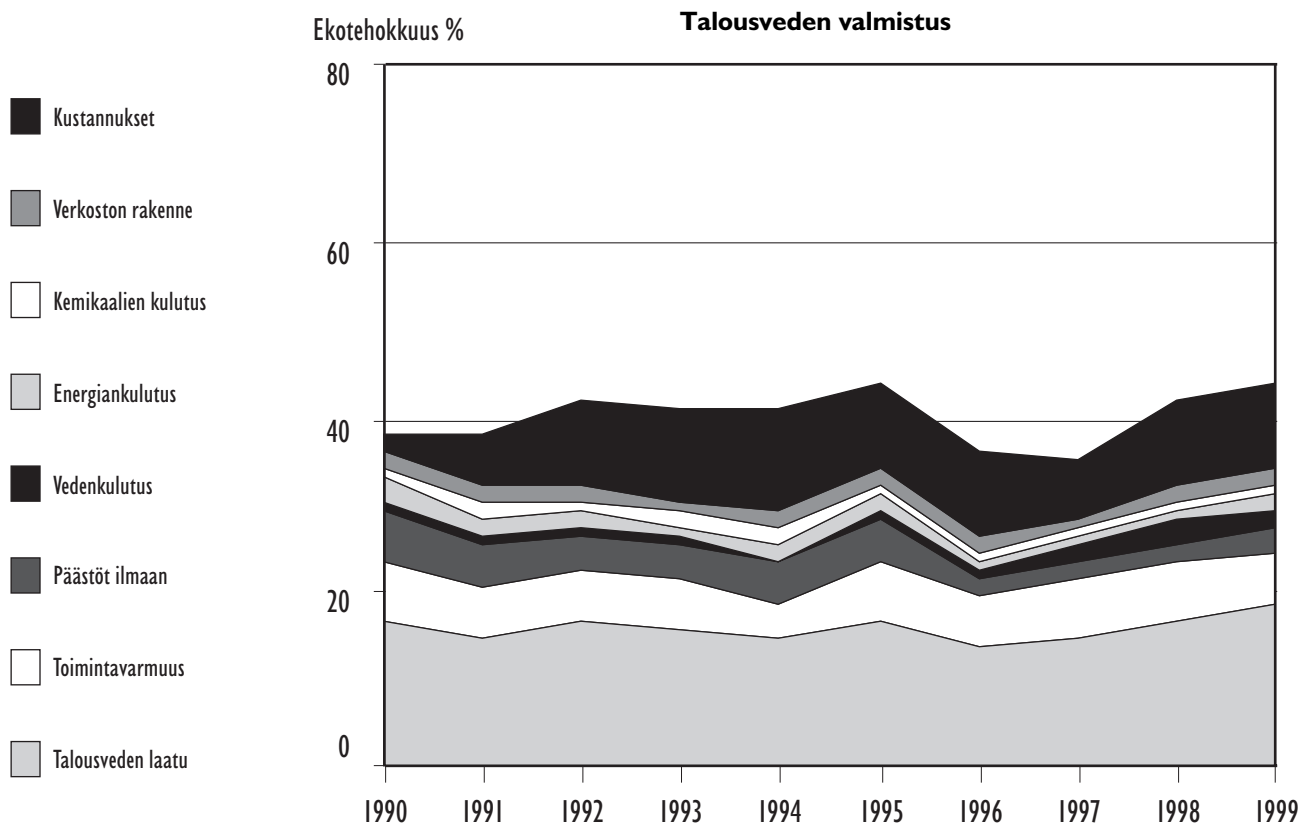
Kuva 22. Turun vesi- ja viemärilaitoksen (Turun vesilaitos) ekotehokkuuden aikasarjat.



Kuva 23. Talousveden valmistuksen ekotehokkuus Helsingissä.



Kuva 24. Talousveden valmistuksen ekotehokkuus Tampereella.

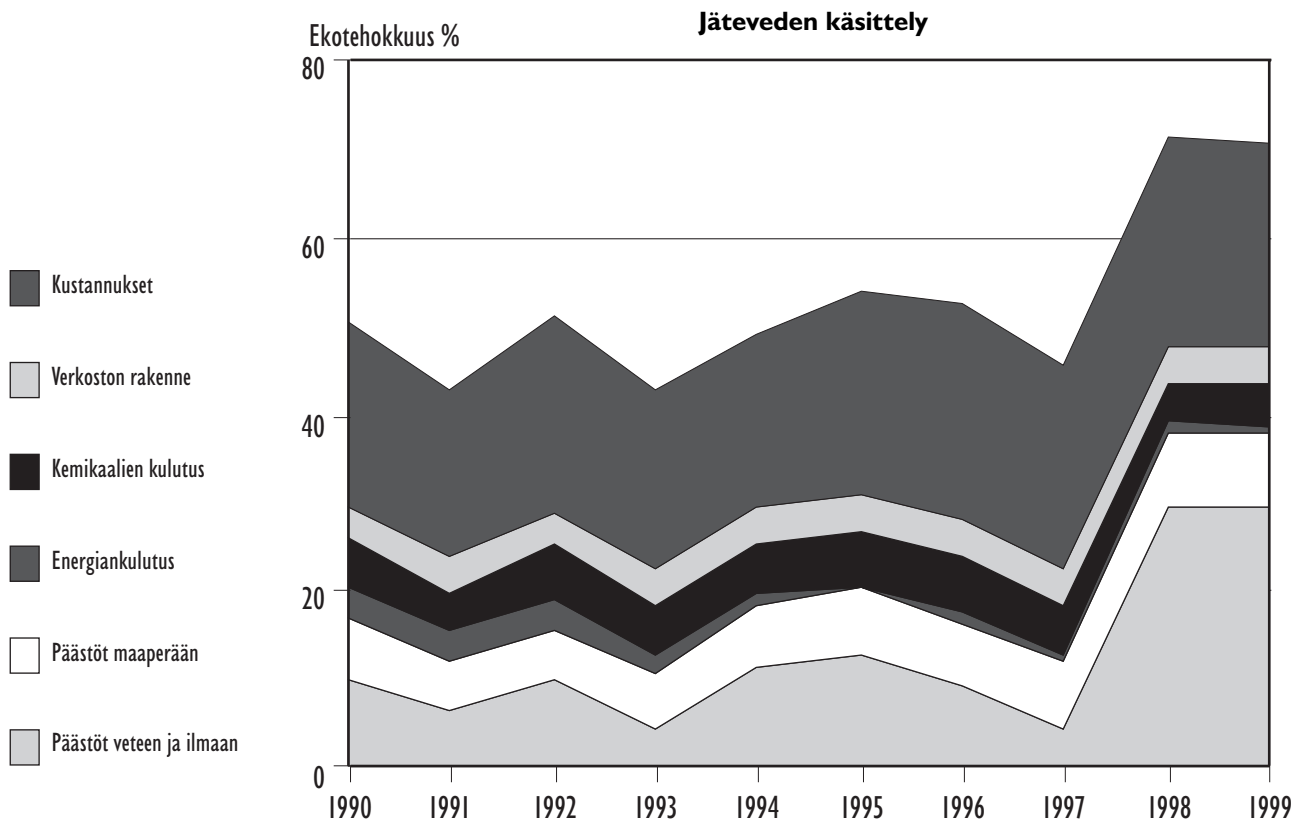


Kuva 25. Talousveden valmistuksen ekotehokkuus Turussa.

## 6.3 Jäteveden käsittely

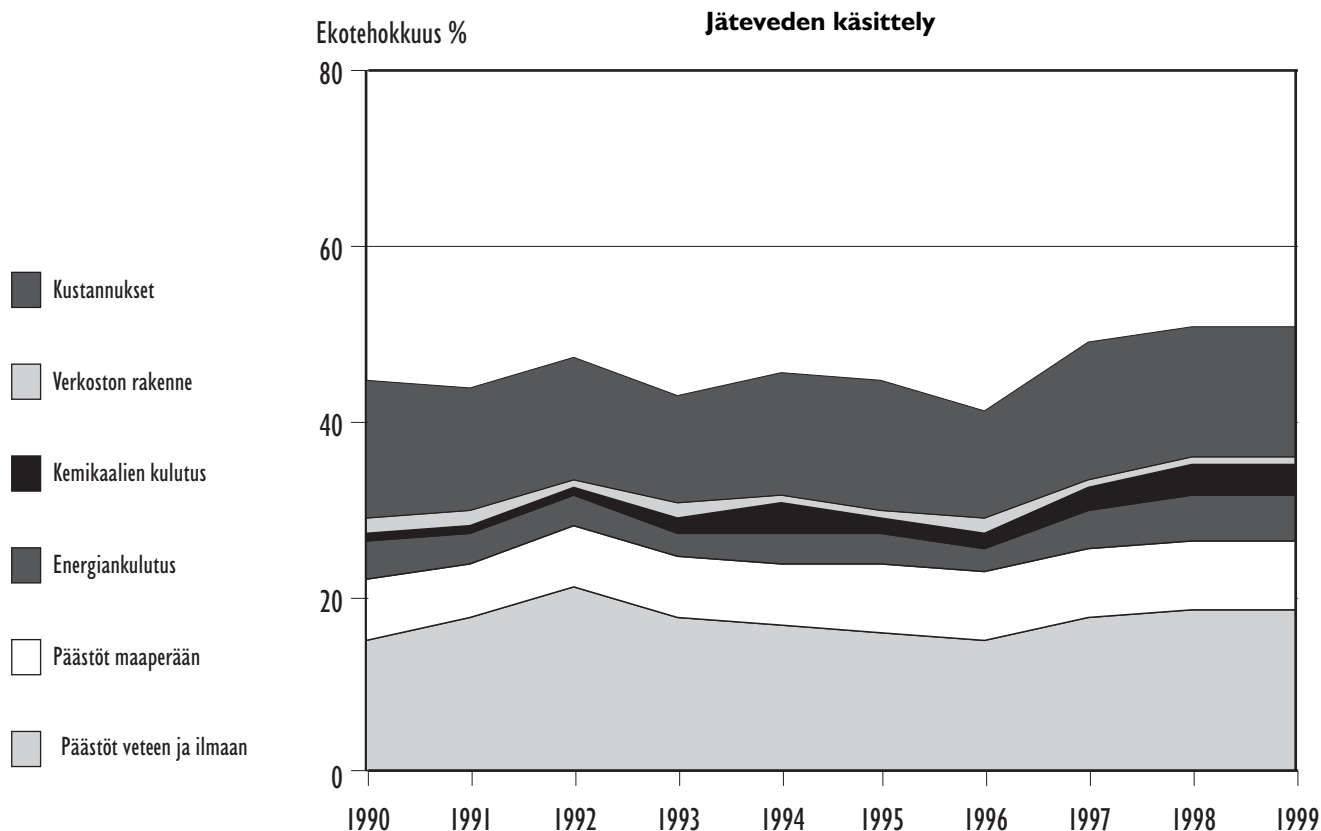
Jäteveden käsittelyssä päätuote on käsitelty jätevesi, joka sisältyy kriteeriin ”päästöjen vähentäminen”. Myös jäteveden ohjuoksutukset, jotka kuvaavat tietyiltä osin jätevesihuollon toimintavarmuutta, sisältyvät veteen meneviin päästöihin. Kriteeriä ”tuotteiden ja palvelujen parantaminen” ei siten tarvita. Myöskään indikaattoria ”veden käytön vähentäminen” ei käytetä jäteveden käsittelyn ekotehokkuutta kuvaattaessa. Jäteveden käsittelyn ekotehokkuuden tunnusluku vesi- ja viemärlaitokselle lasketaan käyttäen liitteen 2 indikaattoreiden indeksiarvoja jäteveden käsittelylle ja taulukossa 3 esitettyjä keskiarvopainoja jäteveden käsittelylle. Kuvissa 26, 27 ja 28 on esitetty Helsingin, Tampereen ja Turun vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden tunnusluvun aikasarjat jäteveden käsittelylle 90-luvulla. Kuvissa jäteveden käsittelyn ekotehokkuus on jaettu indikaattoreiden mukaisiin osiin. Jäteveden käsittelyn ekotehokkuus muodostuu indikaattoreiden tunnuslukujen summasta. Kuvien 26–28 aikasarjat ja indikaattoreiden maksimiarvot on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 9.

Helsingin vesi- ja viemärlaitoksen jäteveden käsittelyn ekotehokkuustunnusluku on parantunut 90-luvun alusta noin 40 prosentilla (kuva 26). Kehitys on seurausta typen poiston tehostamisesta. Tampereen vesi- ja viemärlaitoksen jäteveden käsittelyn ekotehokkuustunnusluku on parantunut 90-luvun alusta noin 15 prosentilla (kuva 27). Kehitys on pääosin ollut seurausta kemikaalien kulutuksen sekä päästöjen veteen ja ilmaan vähenemisestä. Turun vesi- ja viemärlaitoksen jäteveden käsittelyn ekotehokkuudessa ei ole 90-luvun alun tilanteeseen verrattuna tapahtunut paranemista huolimatta maaperään menevien päästöjen selvästä vähenemisestä (kuva 28).

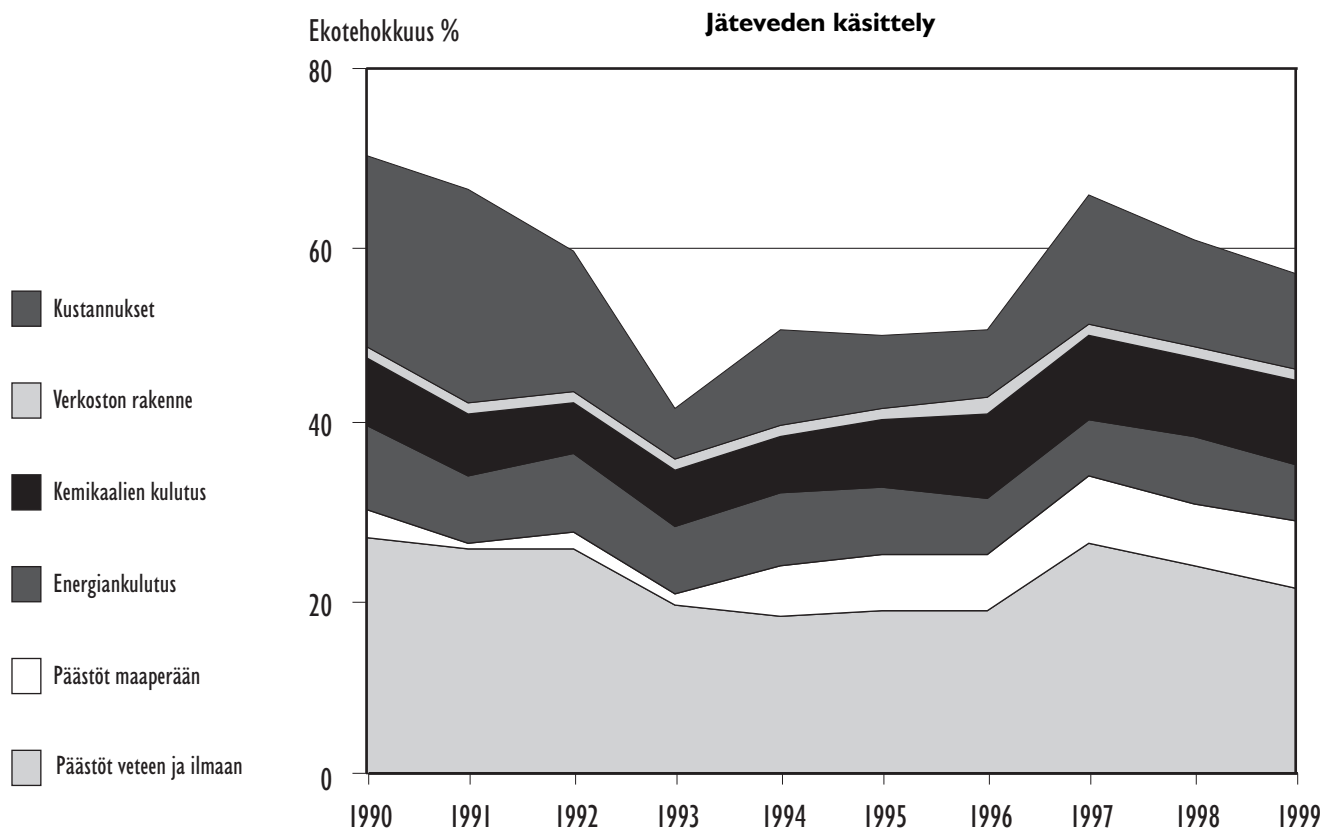


Kuva 26. Jäteveden käsittelyn ekotehokkuus Helsingissä.





Kuva 27. Jäteveden käsittelyn ekotehokkuus Tampereella.



Kuva 28. Jäteveden käsittelyn ekotehokkuus Turussa.

# Ekotehokkuuden arviointimallin herkkyys

# 7

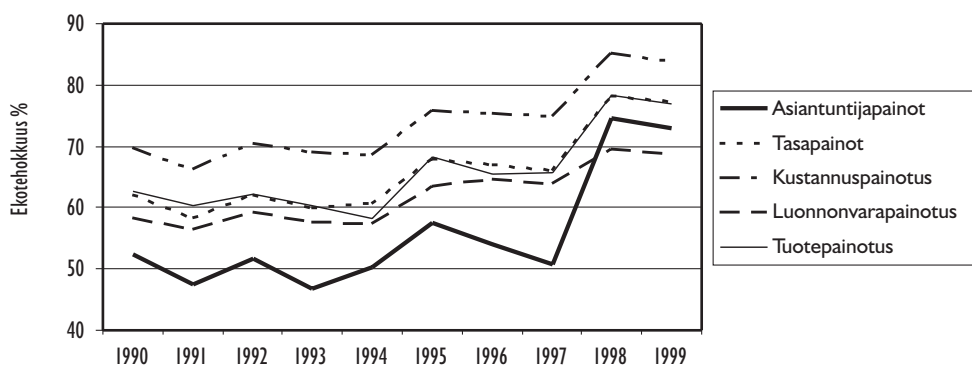
## 7.1 Arvofunktiot

Ekotehokkuuden tunnusluvun suuruuteen vaikuttavat keskeisesti indikaattoreiden arvofunktiot. Vesi- ja viemärlaitoksen tavoitteet ilmaistaan arvofunktioilla. Jos tarkastellaan laitoksen toimintaa lyhyellä aikavälillä, indikaattoreiden tavoitearvot voidaan asettaa kohtuullisen lähelle tarkasteluajankohdan arvoja. Tällöin ekotehokkuuden tunnusluku koko laitoksen osalta on lähellä tavoitearvoaan. Tässä tutkimuksessa arvofunktiot on asetettu noin 10–15 vuoden päähän tarkasteluajankohdasta, koska lähtökohdana on kymmenen vuoden aikana tapahtunut kehitys. Jos tavoitteet asetetaan kunnianhimoisiksi, näyttää myös koko laitoksen ekotehokkuuden tunnusluku olevan kaukana tavoitteesta.

Ekotehokkuusmalli ei ole erityisen herkkä arvofunktioiden muodolle, koska arvofunktiolla ei voida muuttaa indikaattorin kehityksen suuntaa. Jos joillekin indikaattoreille asetetaan selvästi muita tiukemmat tai väljemmät tavoitteet, aiheutuu ekotehokkuuden tunnuslukuun vääristymää. Tärkeiksi koettujen indikaattoreiden arvofunktioilla on tietenkin suurempi merkitys kuin muilla. Arvofunktioiden muutosten vaikutusten tutkiminen ekotehokkuuden arvoon on hankalaa, koska laitoksen tavoitteita kuvaavia arvofunktiovaihtoehtoja voidaan asettaa perustellusti hyvin monella eri tavalla. Tässä tutkimuksessa tyydytään havainnollistamaan kriteerien painojen vaikutusta ekotehokkuuteen.

## 7.2 Kriteerien painot

Kuvassa 29 on esitetty Helsingin Veden koko laitoksen ekotehokkuuden kehitys viidellä eri painovektorilla (taulukko 4). Asiantuntijapainot ovat arvottamisen tehneiden henkilöiden antamien painojen keskiarvot, joilla kuvien 20–22 ekotehokkuuden aikasarjat on laskettu. Asiantuntijapainot korostavat päästöjen vähentämisen merkitystä. Muissa painojakaumissa korostetaan joko kustannuksia, luonnonvarojen sääs-



Kuva 29. Helsingin Veden ekotehokkuus 90-luvulla laskettuna viidellä kriteerien painotuksella.

tämistä tai vesihuollon tuotteita/palvelua. Lisäksi tarkastelussa on mukana painovektori, jossa jokaisella kriteerillä on yhtä suuri merkitys. Tässä tarkastelussa kriteereiden alakriteereitä eli indikaattoreita on pidetty yhtä tärkeinä, jolloin indikaattoreille saadaan taulukon 4 mukaiset painot.

Taulukko 4. Herkkyystarkastelussa käytetyt kriteerien painojakaumat.

Kriteeri	Asiantuntija-	Tasapainot	Kustannus-	Luonnonvara-	Tuote-
Alakriteeri	painot		painotus	painotus	painotus
Tuotteiden ja palvelujen parantaminen					
Talousveden laatu	0,12	0,1250	0,100	0,100	0,300
Vesihuollon toimivuus	0,16	0,1250	0,100	0,100	0,300
Päästöjen vähentäminen					
Päästöt veteen ja ilmaan	0,32	0,1250	0,100	0,050	0,050
Päästöt maaperään	0,06	0,1250	0,100	0,050	0,050
Luonnonvarojen käytön vähentäminen					
Vedenkulutus	0,02	0,0625	0,025	0,150	0,025
Energiankulutus	0,07	0,0625	0,025	0,150	0,025
Kemikaalien kulutus	0,04	0,0625	0,025	0,150	0,025
Verkoston rakenne	0,03	0,0625	0,025	0,150	0,025
Taloudellisuuden parantaminen					
Kustannukset	0,17	0,2500	0,500	0,100	0,200
Yhteensä					

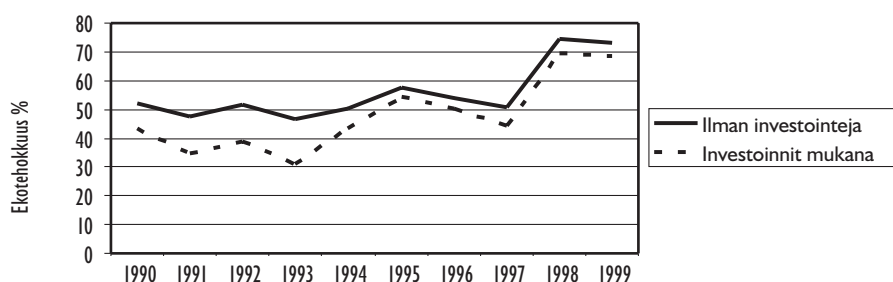
## Ekotehokkuuden arviointimallin soveltaminen

### 8.1 Toiminnan jatkuva seuranta

Vesi- ja viemärilaitosten toimintaa seurataan useilla tuotetun palvelun laatua ja määrää mittaavilla tunnusluvuilla. Vastaavasti toiminnan kustannusten ja kannattavuuden mittaamiseksi käytetään omia tunnuslukujaan. Yleensä tunnuslukujen sisältämää informaatiota ei pyritä yhdistämään tehtyjen toimenpiteiden kokonaisvaikutusten selvittämiseksi. Vesi- ja viemärilaitosten tulosta arvioidaan suhteessa sille asetettuihin tavoitteisiin kullakin osa-alueilla erikseen. Näin saadaankin usein riittävästi tietoa esimerkiksi toiminnan kehittämishankkeiden kustannusvaikutuksista. Tässä tutkimuksessa tehty vesi- ja viemärilaitosten toiminnan tuloksia mittaavien tunnuslukujen samanaikainen arviointi antaa uutta tietoa eri tekijöiden yhteisvaikutuksesta. Ekotehokkuusmallilla arvioidaan keskeisimpien vesi- ja viemärilaitosta kuvaavien tunnuslukujen avulla laitoksen toimintaa kokonaisuutena. Tunnuslukujen antaman informaation lisäksi ekotehokkuusmalli perustuu myös vesihuollon asiantuntijoiden tekemään vesi- ja viemärilaitoksen tavoitteiden priorisointiin ja keskinäisen merkittävyyden arviointiin. Ekotehokkuuden arvioinnissa on kysymys vesi- ja viemärilaitosten jatkuvasti keräämän aineiston lisähyödyntämisestä. Ekotehokkuusmallin soveltaminen ei edellytä muutoksia nykykäytäntöön.

### 8.2 Vesi- ja viemärilaitosinvestointien kannattavuuden arviointi

Ekotehokkuusmallissa toiminnan taloudellisuuden parantamisen indikaattorina käytetään kustannuksia, jotka eivät sisällä investointikustannuksia ja niistä aiheutuneita korkomenoja. Lisäämällä investointien aiheuttamat kustannukset ekotehokkuusmalliin voidaan arvioida myös investointien kannattavuutta ekotehokkuusnäkökulmasta. Jos investoinnit sisältävä ekotehokkuuden tunnusluku paranee, voidaan investointeja pitää kannattavina käytetyillä poistoajoilla. Kuvassa 30 on Helsingin Veden ekotehokkuutta kuvaava aikasarja, kun vuosittaiset investointikustannukset on laskettu mukaan.



Kuva 30. Helsingin Veden ekotehokkuuden kehitys, kun investointikustannukset ovat mukana.

Ekotehokkuusmallilla voidaan tarkastella myös yksittäisten investointien kokonaiskannattavuutta kestäväen kehityksen näkökulmasta. Tällöin käytetään ekotehokkuusmallia, jossa investointikustannukset eivät ole mukana. Taulukossa 5 on esimerkkilaskelma Helsingin Veden typenpoistoinvestoinnin kannattavuuden arvioinnista jäteveden käsittelyn ekotehokkuusmallilla. Vuoden 1998 alussa Helsingissä otettiin käyttöön typenpoiston tehostamisprosessi, jonka tavoitteena oli 50 % reduktio. Investointikustannukset siitä olivat vuosina 1997–1999 noin 33,7 miljoonaa markkaa. Taulukon 5 laskelman mukaan ekotehokkuus on parantunut noin 55 % vuodesta 1997, vaikka investoinnin kustannukset on kohdennettu kokonaisuudessaan vuodelle 1998. Todellisuudessa investoinnin poistoaika on 10 vuotta, jolloin vuotuinen kustannus on korkokuluista riippuen noin 12–14 % investoinnin kokonaiskustannuksista. Lisäksi on syytä huomata, että typenpoistosta saadaan hyötyä niin kauan kuin laitosta käytetään. Ekotehokkuusmallilla laskien typenpoistoinvestointi on ollut siten erittäin edullinen ja kannattava. Mallissa käytetyt indikaattoreiden painot, päästöt veteen ja ilmaan 0,40 ja kustannukset 0,25, lisäävät typenpoiston kannattavuutta. Tosin investointi olisi silti erittäin kannattava, vaikka kustannuksilla olisi esimerkiksi kaksi kertaa suurempi paino kuin päästöillä. Laskelmasta on jätetty pois indikaattorit ”päästöt maaperään” ja ”verkoston rakenne”, koska typenpoiston tehostamisella ei ole niihin vaikutusta.

Taulukko 5. Ekotehokkuuspisteiden muutos vuodesta 1997 vuoteen 1998, kun typenpoistoinvestoinnin kustannukset on kohdistettu kokonaisuudessaan vuodelle 1998.

Indikaattori	1997	1998	Erotus
Päästöt veteen ja ilmaan	4,5	29,5	25,0
Energiankulutus	0,5	1,4	0,9
Kemikaalit	5,6	4,4	- 1,2
Kustannukset	23,1	17,1	- 6,0
<b>Yhteensä</b>	<b>33,7</b>	<b>52,4</b>	<b>18,7</b>

## Yhteenveto ja päätelmät

Ekotehokkuus on käsite, jonka avulla tuodaan kestävä kehityksen periaatteita ohjaamaan yritysten ja laitosten toimintaa. Monet kansanväliset ja kansalliset organisaatiot ovat määritelleet ekotehokkuuden sisältöä ja tavoitteita. Suomessa ekotehokkuustermi on nykyään varsin yleisessä käytössä. Ekotehokkuuden arviointi lähtee tässä tutkimuksessa vesilaitoksen tavoitteista. Vesilaitoksen toiminnan ydin otettiin lähtökohdaksi työstettäessä ekotehokkuudesta hierarkkista arviointimenetelmää ja -mallia. Vesilaitoksen ekotehokkuuden kriteereiksi pelkistettiin tuotteiden/palvelujen parantaminen, päästöjen vähentäminen, luonnonvarojen käytön vähentäminen ja taloudellisuuden parantaminen. Näiden tavoitteiden toteutumista mitattiin indikaattoreilla.

Vesilaitokset tuottavat runsaasti muun muassa talousveden ja jäteveden laatuun liittyviä tunnuslukuja. Sopivien indikaattoreiden valinta oli keskeinen ekotehokkuuden arviointiin liittyvä tutkimusongelma. Valittu päätösanalyttinen tutkimusmenetelmä asetti varsin tiukat reunaehdot indikaattoreille. Niiden täytyi olla toisistaan riippumattomia ja niiden tuli kuvata keskeisiltä osin kriteerien sisältö. Myös kriteerien tuli olla toisistaan riippumattomia. Valituista indikaattoreista tuli olla saatavilla riittävän kattavat aikasarjat. Päästöjen ympäristövaikutuksia kuvattiin elinkaariarvioinnin vaikutusarviointimallilla lasketuilla haittapisteillä. Päästöistä otettiin mukaan suorat päästöt veteen, kulutetun energian tuotannon päästöt ilmaan, raskasmetallipäästöt maaperään ja metaanipäästöt kaatopaikoille viedyistä lietteistä.

Indikaattoreista muodostettiin 90-luvun kattavat aikasarjat Helsingin Vedelle, Tampereen ja Turun vesilaitoksille. Vesilaitosten toiminnassa tapahtuvan vuosittaisen vaihtelun poistamiseksi indikaattoreiden aikasarjat normalisoitiin yleensä kyseisenä vuotena valmistetun talousveden tai käsitellyn jäteveden määrällä. Indikaattoreiden normalisoidut aikasarjat muutettiin ekotehokkuutta kuvaaviksi indeksoiduksi aikasarjoiksi välille 0–100 arvofunktioiden avulla. Indeksien arvo 100 merkitsee kyseiselle indikaattorille asetetun tavoitearvon saavuttamista.

Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta kuvaavan tunnusluvun laskeminen edellytti ekotehokkuusindeksien painottamista. Vesi- ja viemärlaitoksen toiminnan tavoitteiden priorisoimiseksi ja tavoitteiden keskinäisen merkityksen selville saamiseksi järjestettiin päätösanalyysiin perustuva arvottamistutkimus. Noin 30 Helsingin Veden, Tampereen ja Turun vesilaitosten asiantuntijaa sekä vesihuolto-tuntevaa ympäristöasiantuntijaa vastasi kyselyyn, jonka perusteella ekotehokkuuden kriteereille ja indekseille määritettiin painot. Vesilaitoksen toiminnan kannalta tärkeimmäksi ekotehokkuuden kriteeriksi saatiin päästöjen vähentäminen (keskiarvopaino 0,38) ja toiseksi tärkeimmäksi kriteeriksi tuotteiden/palvelujen parantaminen (keskiarvopaino 0,28). Taloudellisuuden parantamisen sekä luonnonvarojen käytön vähentämisen keskiarvopainoiksi arvottamistutkimuksessa saatiin 0,17. Ekotehokkuusindeksien saamien arvojen ja indeksien painokerrointen avulla laskettiin ekotehokkuuden aikasarjat tutkimuksessa mukana olleille laitoksille. Lisäksi laskettiin omat ekotehokkuustunnusluvut talousveden valmistukselle ja jäteveden käsitel-lylle Suomen ympäristökeskuksen vesihuoltoasiantuntijoiden tekemän arvottamisen perusteella.

Ekotehokkuuden arviointimallilla laskien ekotehokkuudessa koko laitoksen osalta on tapahtunut selvää myönteistä kehitystä Helsingissä ja Tampereella. Myös talousveden valmistuksen ja jäteveden käsittelyn ekotehokkuustunnuslukujen kehitys on ollut 90-luvulla positiivista Helsingissä ja Tampereella. Kaikkien indikaattoreiden osalta kehitys ei ole ollut myönteistä. Energian ja kemikaalien kulutus on ollut 90-luvulla kasvussa. Ekotehokkuusmallin indikaattoreista suurin painoarvo on päästöjen ympäristövaikutuksilla, kustannuksilla, vesihuollon toimivuudella ja talousveden laadulla. Näistä päästöjen ympäristövaikutukset, vesihuollon toimivuus ja talousveden laatu ovat kehittyneet hyvään suuntaan ja kustannukset ovat pysyneet jokseenkin samalla tasolla. Turun vesilaitokselle laskettu ekotehokkuustunnusluvun aikasarja ei noudata samoja kehityslinjoja Helsingin ja Tampereen kanssa. Turussa ekotehokkuus on mallilla tarkasteltuna pysynyt ennallaan 90-luvulla. Joidenkin indikaattoreiden osalta positiivista kehitystä on kuitenkin tapahtunut. Esimerkiksi haitallisten metallien määrä lietteessä on vähentynyt voimakkaasti. Helsingin ja Tampereen tilanteesta poiketen myös kemikaalien käyttö Turussa on vähentynyt 90-luvulla.

Vesilaitokset joutuvat esimerkiksi kiristyvien lupaehtojen takia tehostamaan jäteveden käsittelyä. Myös talousveden laadun kohentaminen saattaa aiheuttaa investointitarvetta. Ekotehokkuuden arviointien eräs tapa laskea investointien kannattavuutta. Kustannusten ja esimerkiksi typen ympäristövaikutusten samanaikainen vertaaminen ekotehokkuusmallilla on mahdollista, koska vesilaitoksen tavoitteet on arvoitettu kvantitatiivisesti. Helsingin Vesi tehosti typenpoistoa vuoden 1998 alusta. Ekotehokkuusmallilla tehdyn arvion perusteella investointia voidaan pitää erittäin kannattavana. Lähtöoletuksena tällöin tietyksi on, että fosforin lisäksi myös typpi on levien kasvua rajoittava tekijä purkuvesistöissä.

Vesilaitokset voivat käyttää ekotehokkuuden arviointia apuvälineenä kehittäessään itselleen standardin mukaisia ympäristö- ja laatujärjestelmiä. Toiminnan jatkuva parantaminen on lähtökohtana laatujärjestelmissä. Ekotehokkuuden arviointi on konkreettinen tapa mitata saavutettuja tuloksia ympäristö- ja laatuasioissa. Ekotehokkuusmallilla voidaan myös havainnollistaa vesilaitoksessa tapahtunutta kehitystä ulkopuolisille sidosryhmille ja omalle henkilöstölle. Lisäksi vesilaitosten toiminnan suunnittelussa ja raportoinnissa voidaan hyödyntää ekotehokkuuden arviointituloksia.

Tässä tutkimuksessa esitetty ratkaisu vesilaitosten ekotehokkuuden arvioimiseksi on ensimmäinen yritys hallita kvantitatiivisesti monimutkaisia syy- ja seuraussuhteita vesilaitosten toimintaa kehitettäessä. Usein päästöjen vähentämiseksi tehtävillä toimenpiteillä lisätään ympäristöön kohdistuvaa kuormitusta toisaalla. Esimerkiksi fosforin poiston tehostaminen voi aiheuttaa energian tai kemikaalien kulutuksen kasvua, josta taas on seurauksena luonnonvarojen kulutuksen ja energian ja kemikaalien valmistuksen päästöjen lisääntyminen. Kaikilla vesilaitoksella tehtävillä tuotantoprosessia koskevilla muutoksilla on myös kustannus- ja laatuvaikutuksia. Kaikkien näiden tekijöiden yhteisvaikutuksen huomioon ottaminen päätöksenteossa on vaikeaa. Tässä tutkimuksessa kehitetty ekotehokkuusmalli on systemaattinen menetelmä arvioida vesilaitosten toimintaa ja sen kehittämistä, kun kaikki keskeiset päätökseen vaikuttavat tekijät otetaan huomioon. Vaikka malli on yksinkertainen, se antaa lähtökohdan toiminnan kehittämisvaihtoehtojen kokonaistarkastelulle kestävä kehityksen näkökulmasta.

Vesilaitoksen toiminnan ja tavoitteiden arviointi ja vesilaitoksen ekotehokkuuden kehittäminen ovat hyvin lähellä toisiaan olevia tehtäviä. Kriteerit ja indikaattorit ovat samoja arvioitiinpa vesilaitoksen strategisten tavoitteiden tai ekotehokkuuden tavoitteiden toteutumista. Mahdolliset erot tulevat esiin kriteerien painotuksessa. Ekotehokkuutta arvioitaessa saattavat painottua enemmän päästö- ja luonnonvarakriteerit kuin kustannus- ja laatu-kriteerit. Tässä tutkimuksessa vesilaitoksen tavoitteita arvioitiin ekotehokkuuden parantamisen näkökulmasta. Tämä näkyikin arviointitutkimuksen tuloksessa: päästöjen vähentäminen oli selvästi tärkein kriteeri.

Arvottamiseen tässä tutkimuksessa osallistuneet henkilöt edustivat pääosin vesilaitosten päättäjiä ja asiantuntijoita. Mukana oli myös vesihuoltoa tuntevia ympäristöalan asiantuntijoita. Näkökulma oli vesilaitos- ja ympäristölähtöinen. Jos arvottamisen olivat tehneet esimerkiksi vesilaitosten asiakkaat tulos olisi voinut olla selvästi erilainen. Tuotteen hintaan ja laatuun liittyvät kysymykset olisivat hyvinkin voineet nousta vesilaitoksen asiakkaan näkökulmasta tärkeimmiksi kriteereiksi varsinkin, jos vesilaitoksen toiminnan tavoitteita olisi käsitelty yleisellä tasolla.

Ekotehokkuusmallin jatkokehittämiseen olisi tarvetta useillakin mallin osalla. Esimerkiksi mallin arvofunktiot ja ekotehokkuuden kriteerien painot olisi mahdollista analysoida tarkemmin. Mallin kriteerit voitaisiin arvottaa laajemmalla ja monipuolisemmalla kohderyhmällä. Arvofunktiot tulisi arvioida ja määrittää erittäin huolellisesti jokaisen laitoksen omien tavoitteiden pohjalta. Myös mallin indikaattorivalikoimaa tulisi tapauskohtaisesti laajentaa. Parhaan hyödyn aikaansaamiseksi kehitystyön olisi tapahduttava vesilaitoksen sisällä. Ekotehokkuusmalli tulisikin räätälöidä jokaiselle laitokselle erikseen.

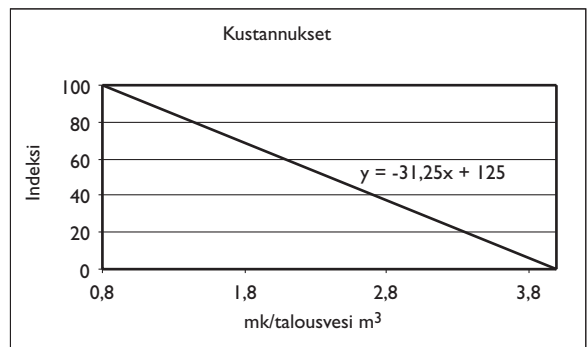
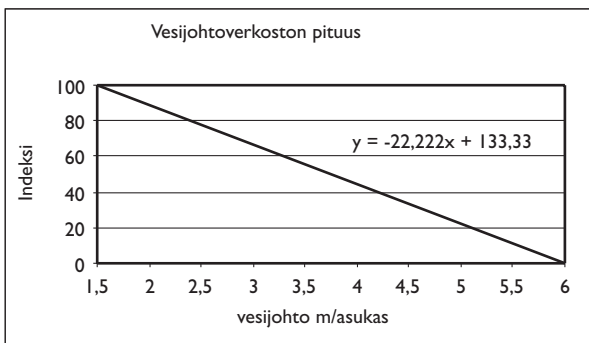
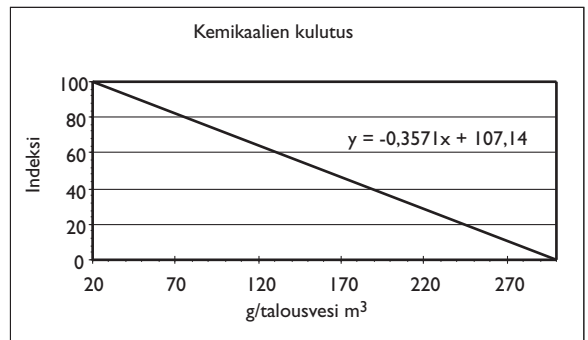
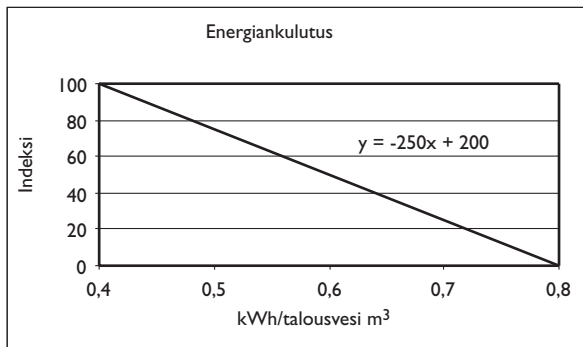
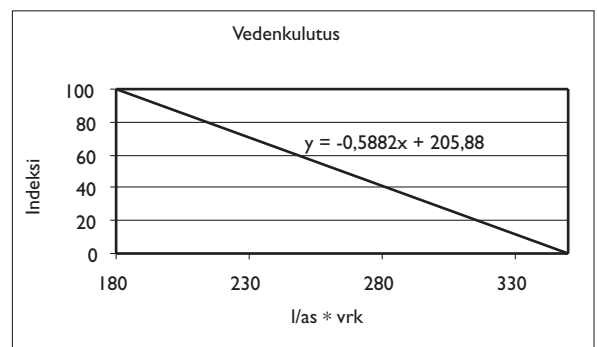
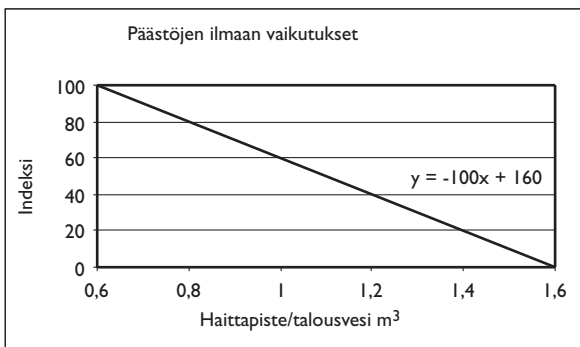
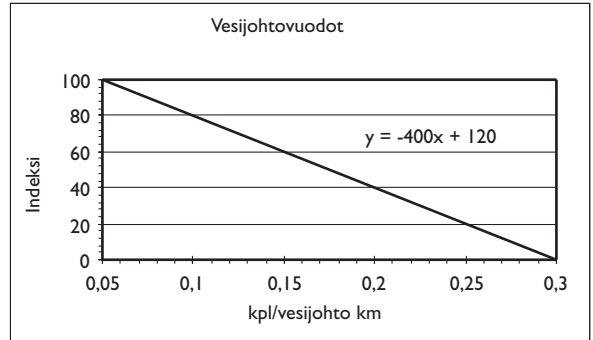
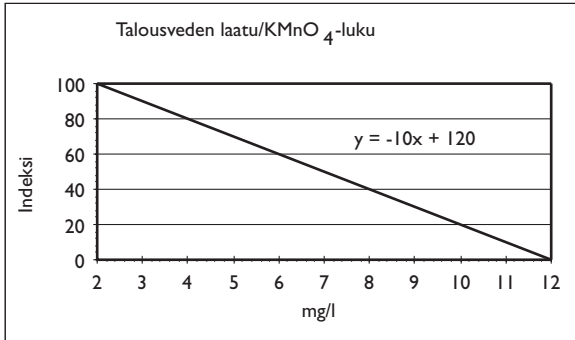


# Kirjallisuutta

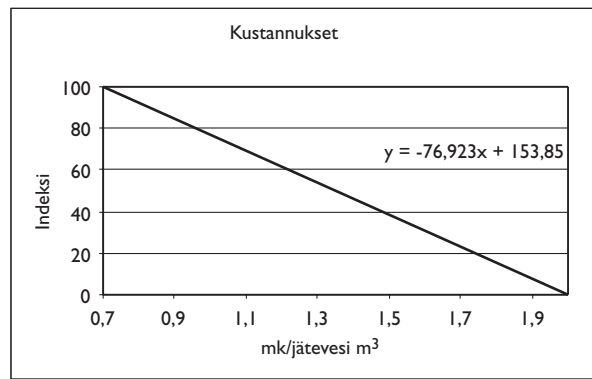
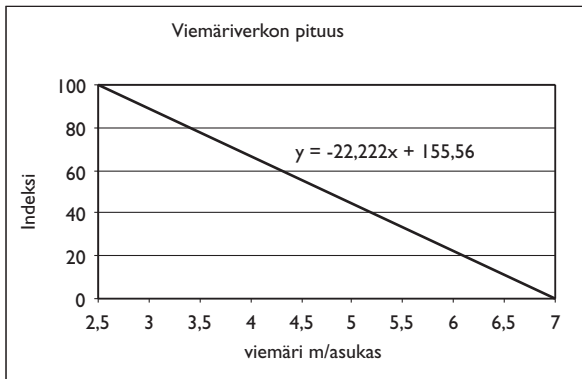
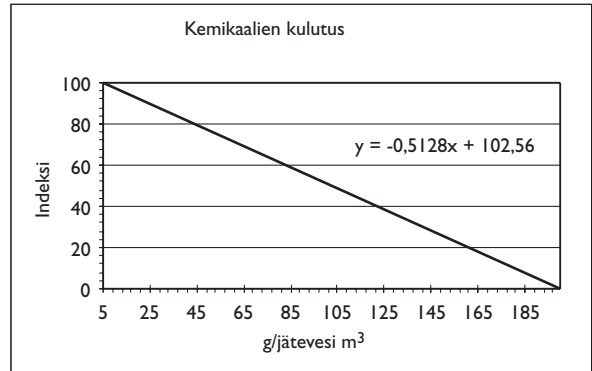
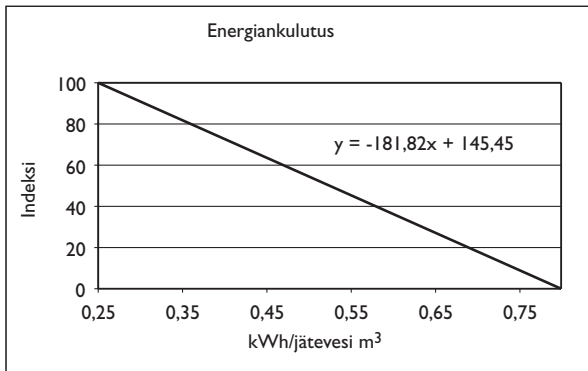
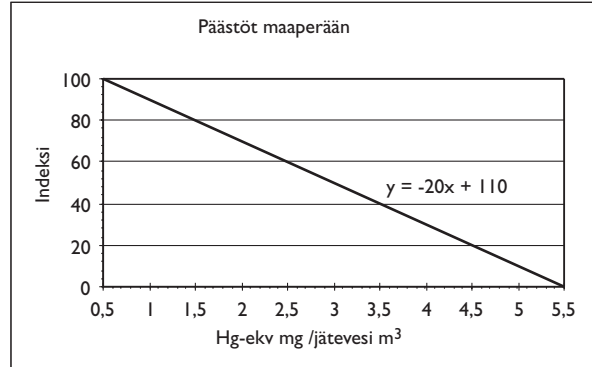
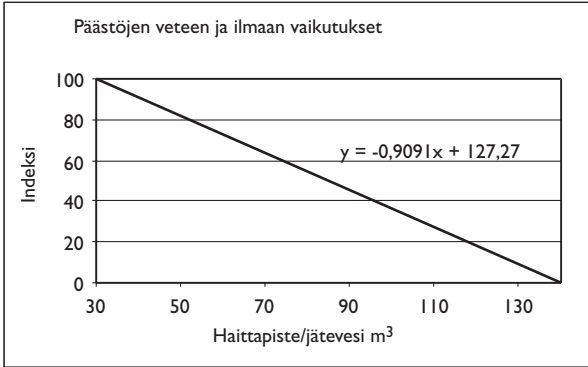
- Bengtsson, M., Lundin, M. & Molander, S. 1997. Life Cycle Assessment of Wastewater Systems. Case Studies of Conventional Treatment, Urine Sorting and Liquid Composting in Three Swedish Municipalities. Göteborg. Chalmers University of Technology, Technical environmental planning report 1997:9. 99 s.
- Chechile R. A. 1991. Probability, Utility and Decision Trees in Environmental Decision Analysis. Julk.: Chechile R. A. & Carlisle S. (eds.). Environmental Decision Making. A Multidisciplinary Perspective. Massachusetts. Tufts University Center for the Study of Decision Making. S. 64–91.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1998. Ekotehokkuus ja factor-ajattelu. Helsinki. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Työryhmä- ja toimikuntaraportti 1/1998. 43 s.
- Lehni, M. 1998. WBCSD Project on Eco-efficiency Metrics & Reporting, State-of-Play Report. WBCSD.
- OECD. 1997. OECD programme on sustainable consumption and production. Review of the 1995–1996 programme of work: Draft Report to OECD Ministers. (OECD/EPOC(97)3/REV1). 40 p.
- Oravainen, R. 1997. Selvitys typen poiston tarpeellisuudesta vesistötarkkailun tulosten perusteella. Tampere. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry. Kirje no 1854/RO 13 s.
- SFS-EN ISO 9001.1994. Laatu järjestelmät. Suunnittelun, tuotekehityksen, tuotannon, asennuksen ja huollon laadunvarmistusmalli. 31 s.
- SFS-EN ISO 14001.1996. Ympäristö järjestelmät. Spesifikaatio ja ohjeita sen käyttämiseksi. 38 s.
- Seppälä, J. 1999. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. In: Klöpffer, W. & Hutzinger, O. (Eds.), LCA Documents, Vol 4. Eco-Inforna Press, Landsberg. 174 p.
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen päätös talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. N:o 74/1994. Helsinki 21.1.1994.
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen asetukset talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. 461/2000. Helsinki 19.5.2000.
- Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen päätös sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen päätös. Suomen Kuntaliitto, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Helsinki 1994. 20 s.
- Tenhunen J. 1997. Päätösanalyysi vesi- ja viemärlaitosten suunnittelussa, käytössä ja ylläpidossa. Vesitalous 4/1997. S. 14–16.
- Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Helsinki. Suomen ympäristö 434. 107 s.
- Tenhunen J. & Seppälä J. 1996. Turun seudun vedenhankinta – parhaan ratkaisun valinta päätösanalyysillä. Vesitalous 6/1996. S. 16–21.
- Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. N:o 282/1994. Helsinki 14.4.1994.
- Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 2000. Soveltamisopas talousvesiasetukseen 461/2000. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Suomen kuntaliitto. Helsinki 2000.
- 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.
- von Winterfeldt, D. & Edwards W. 1986. Decision analysis and behavioral research. Cambridge. Cambridge University Press. 604 s.

# Liite I. Arvofunktiot.

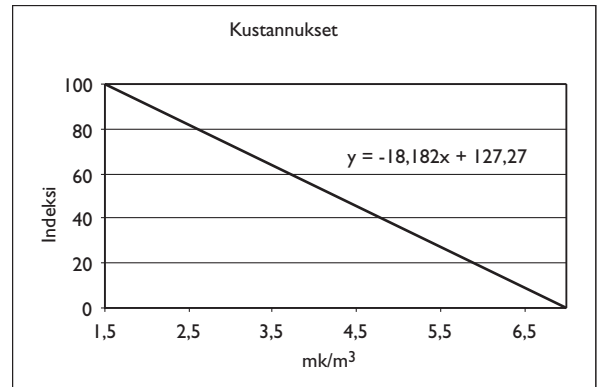
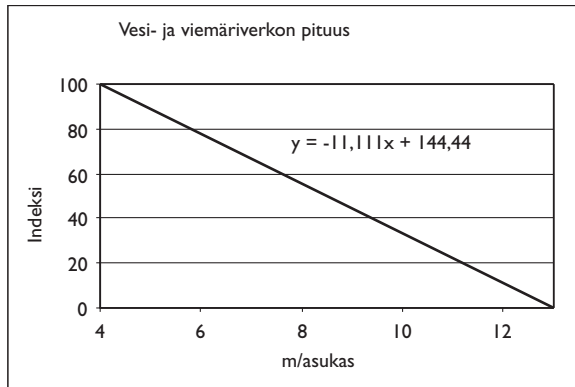
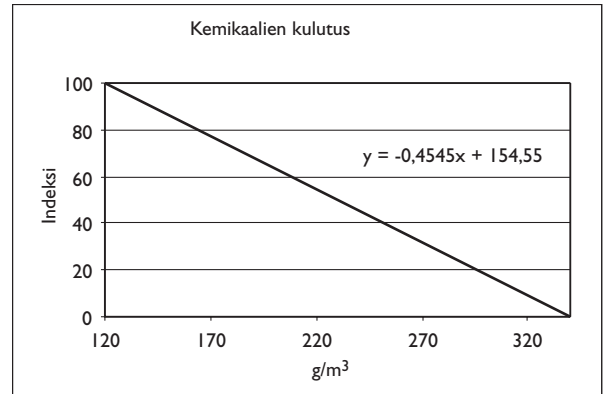
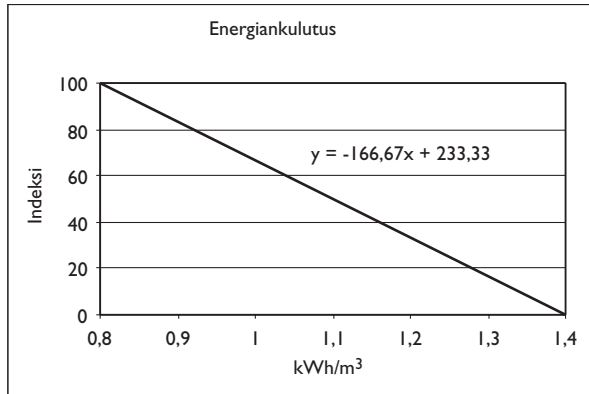
## Talousveden valmistus



## Jäteveden käsittely



## Koko vesi- ja viemärlaitos



Koko vesi- ja viemärlaitoksen arvofunktiot ovat samat kuin talousveden valmistuksessa

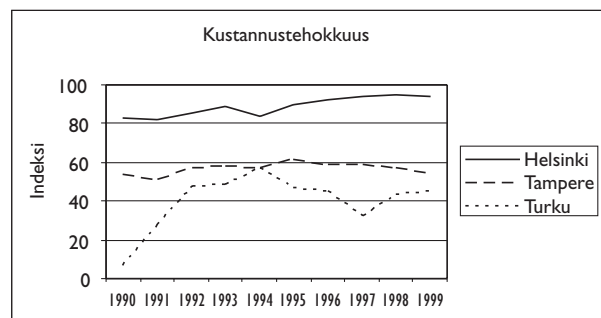
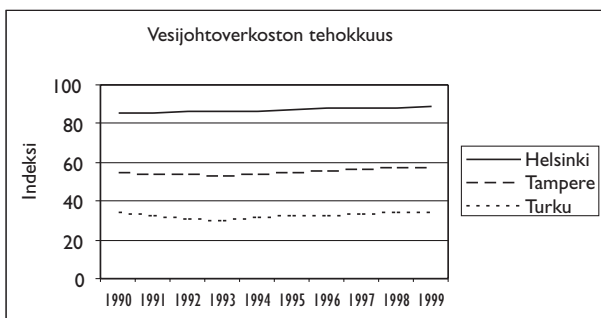
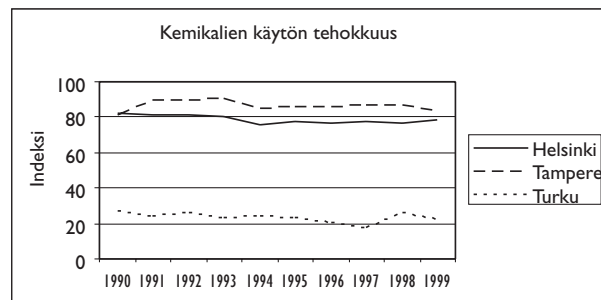
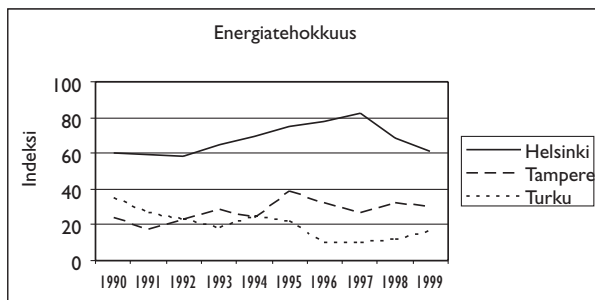
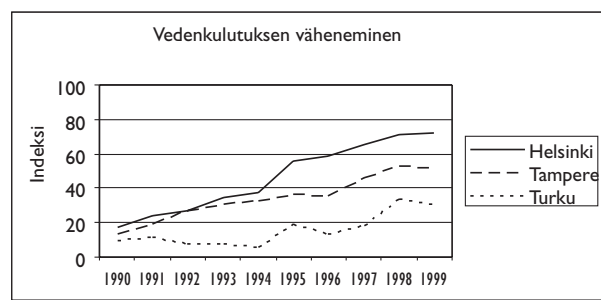
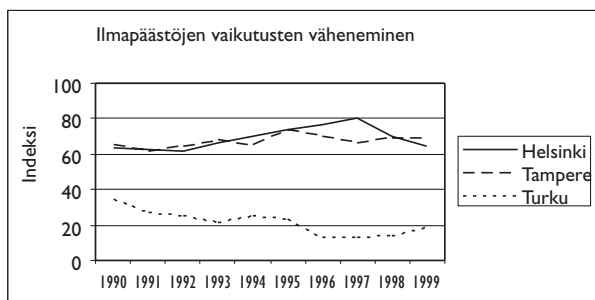
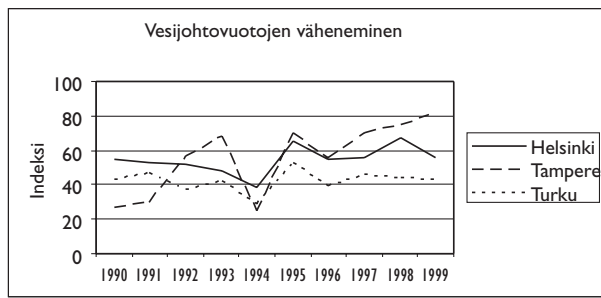
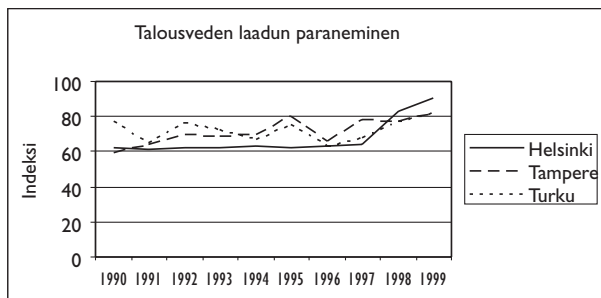
- talousveden laadun,
- vesijohtovuotojen ja
- vedenkulutuksen osalta.

Koko vesi- ja viemärlaitoksen arvofunktiot ovat samat kuin jäteveden käsittelyssä

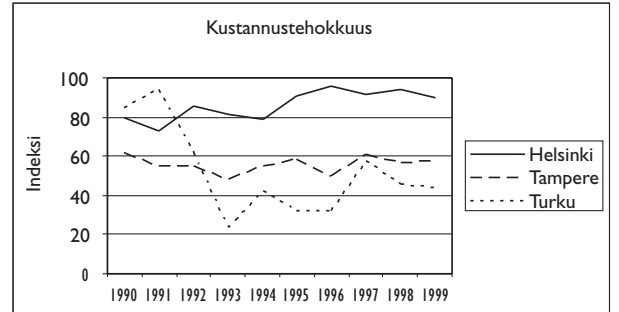
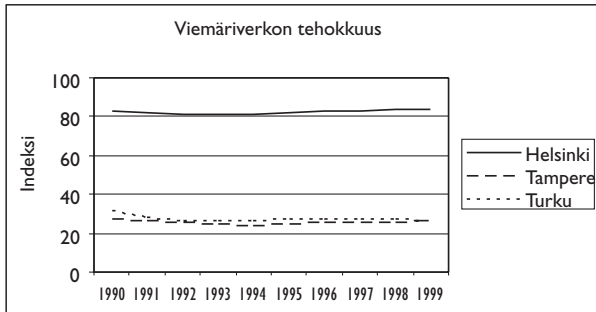
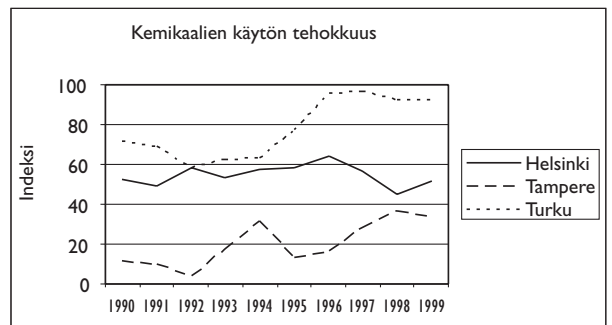
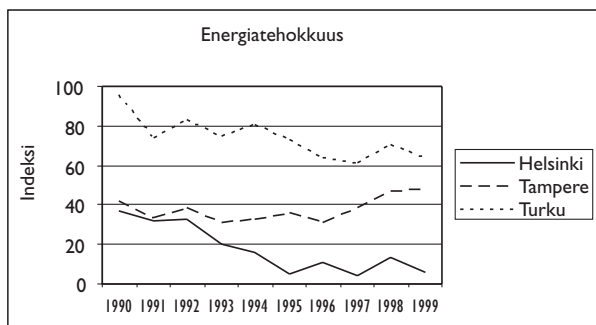
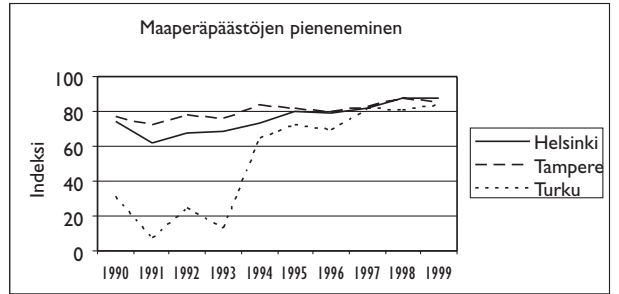
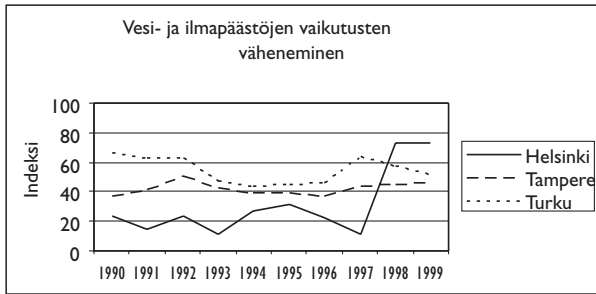
- veteen ja ilmaan menevien päästöjen ja
- maaperään menevien päästöjen osalta.

## Liite 2. Indikaattoreiden indeksoidut aikasarjat.

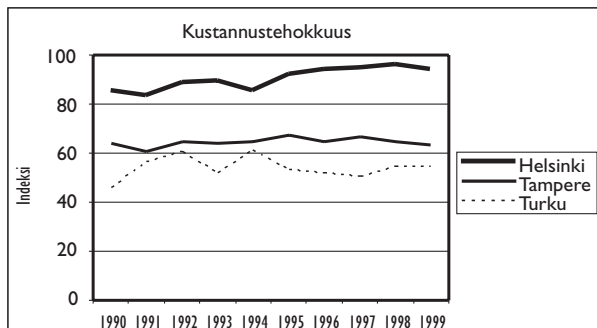
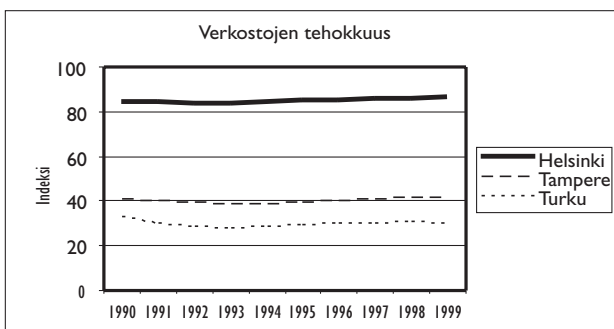
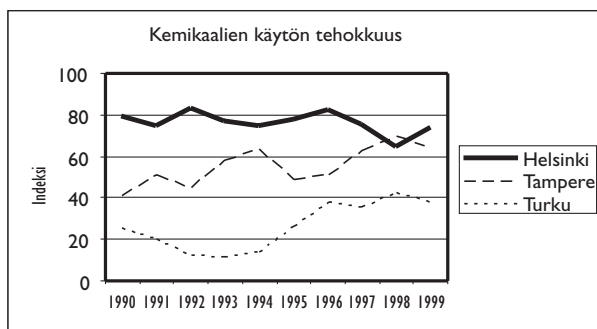
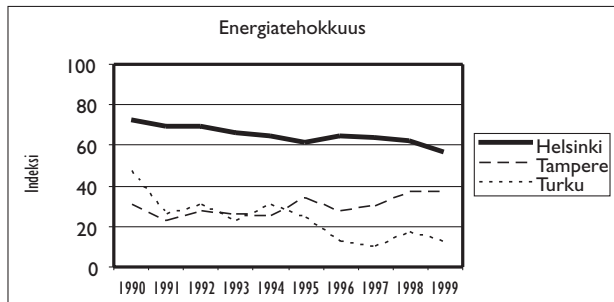
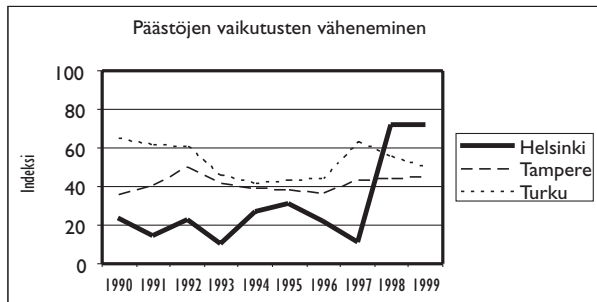
### Talousveden valmistus



# Jäteveden käsittely



## Koko vesi- ja viemärlaitos



Koko vesi- ja viemärlaitoksen indeksoidut indikaattoriarvot ovat samat kuin talousveden valmistuksessa

- talousveden laadun paranemisen,
- vesijohtovuotojen vähenemisen ja
- vedenkulutuksen vähenemisen osalta.

Koko vesi- ja viemärlaitoksen arvofunkiot ovat samat kuin jäteveden käsittelyssä

- maaperään päästöjen pienenemisen osalta.

## Liite 3. Ominaispäästökertoimet

Sähkön- ja lämmöntuotannon päästöt vuonna 1997 (g/kWh)

	Sähkön tuotanto			Lämmön tuotanto		
	Helsinki	Tampere	Turku	Helsinki	Tampere	Turku
CO <sub>2</sub>	342	296	321	357	326	394
CH <sub>4</sub>	0,016	0,012	0,014	0,018	0,012	0,029
N <sub>2</sub> O	0,009	0,007	0,013	0,008	0,006	0,010
CO	0,042	0,069	0,030	0,042	0,068	0,032
SO <sub>2</sub>	0,448	0,217	0,633	0,681	0,330	0,954
NO <sub>x</sub>	0,599	0,395	0,599	0,655	0,479	0,830

Lähde: J. Petäjä. 7/2000. Suomen ympäristökeskus

Polttoaineen kulutus (kg/kWh)

	Helsinki	Tampere	Turku
Sähkön tuotanto	0,181	0,225	0,290
Lämmön tuotanto	0,148	0,231	0,198

Lähde: J. Petäjä. 7/2000. Suomen ympäristökeskus

Mädättäjäkaasun polton päästöt (g/kWh)

CO <sub>2</sub> kierr.	262
CH <sub>4</sub>	0,031
N <sub>2</sub> O	0,052
CO	0,174
NO <sub>x</sub>	0,741

Lähde: Bengtson ym. 1997, M. Ekqvist 2/98 Suomen ympäristökeskus

Korvatun lannoitteen (Pellon Y5) valmistuksen päästöt (kg / kg lannoitetta)

CO <sub>2</sub>	7,071
CH <sub>4</sub>	0,001
N <sub>2</sub> O	0,019
CO	0,004
SO <sub>2</sub>	0,011
NO <sub>x</sub>	0,003

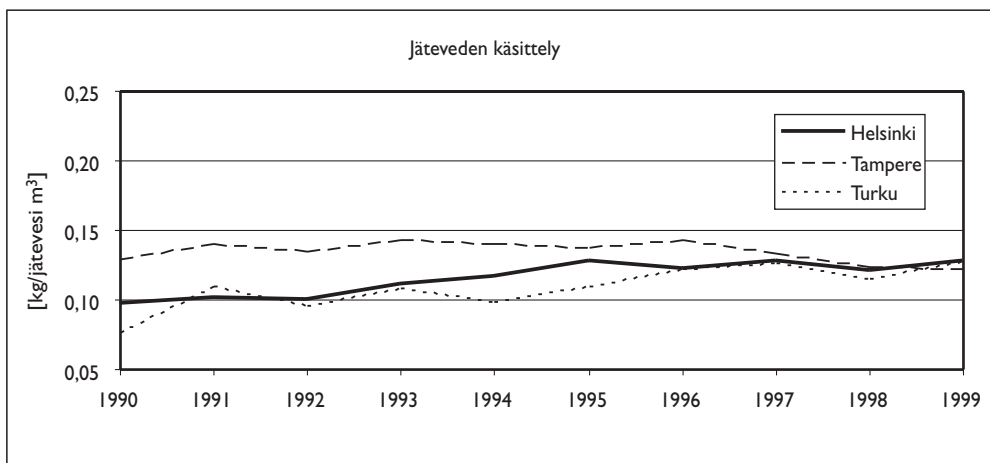
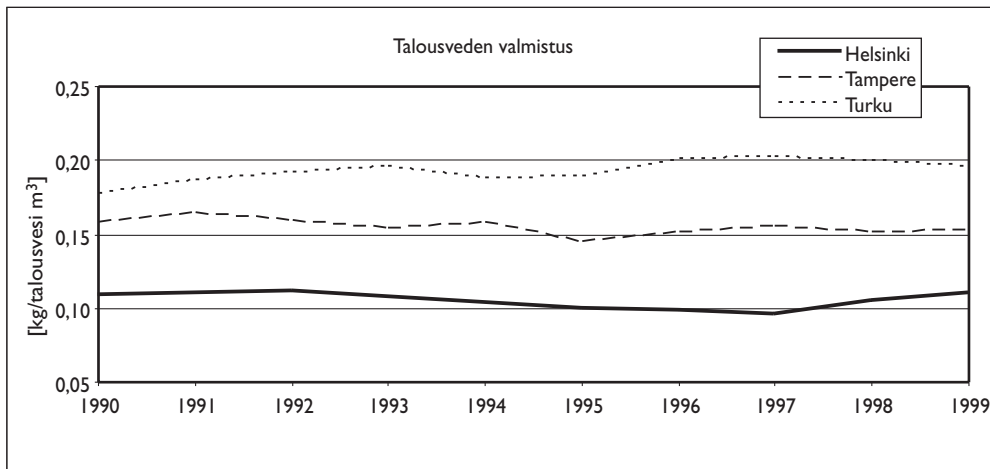
Lähde: Kemira



## Liite 4. Vaikutusarviointimallin kertoimet

Kuormitustekijä	Kerroin
CO <sub>2</sub>	0,003
N <sub>2</sub> O	0,950
CH <sub>4</sub>	0,064
SO <sub>2</sub>	0,696
NO <sub>x</sub>	0,587
NH <sub>3</sub>	1,134
NMVOC	0,068
CO	0,021
P(w)	11,678
N(w)	3,606
BOD <sub>7</sub>	0,006
NH <sub>4</sub> (w)	0,028

## Liite 5. Energiantuotannon polttoaineiden kulutus



## Liite 6. Talousveden valmistuksessa ja jäteveden käsittelyssä käytetyt kemikaalit

Talousveden valmistukseen käytetyt kemikaalit vuosina 1990–1999 Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Taulukkoon on merkitty myös liuoksesta poistetun veden osuus, kun kemikaalien yhteismäärää on laskettu. Kaikkia taulukon kemikaaleja ei ole käytetty joka vuosi.

Kemikaali	Vesipitoisuus	Huomautuksia
<b>Helsingin vesilaitos</b>		
Alumiinisulfaatti, 17/18 %, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$		Pitkäkosken ja Vanhakaupungin määrät [t] laskettu yhteen ja jaettu verkkoon pumpatulla vedellä. – Toimitetaan kiinteänä, liuotetaan ennen käyttöä. – Kidevesi painossa mukana. – Teollisuushienokalkkia → valmistetaan kalkkimaitoa.
Kalkki, 80 %, $Ca(OH)_2$		
Hiilidioksidi, $CO_2$		
Natriumhypokloriitti (100 % NaOCl)		– Natriumhypokloriitti on toimintakertomuksissa ilmoitettu NaOCl (100% $Cl_2$ ). – On laskettu → 100 % NaOCl.
Ammoniakkivesi (100% $NH_3$ )		– Ammoniakkivesi on vuoden 1990 toimintakertomuksessa ilmoitettu $NH_3$ 25 %, muina vuosina ilmoitettu $NH_3$ 100 %. – Vuosi 1990 on laskettu → 100 % $NH_3$ .
Ferrisulfaatti, $Fe_2(SO_4)_3$	0,59	– PIX-322 on juomavesilaatu, Fe-pit. 12,7%, sis. kidevettä ja vapaata vettä. – Vesipitoisuuden laskennallinen osuus on noin 59% (todellinen irtovesi on pieni). – Koe v. 1999.
<b>Tampereen vesilaitos</b>		
Alumiinisulfaatti, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$		– Toimitetaan kiinteänä, liuotetaan ennen käyttöä. – Kidevesi painossa mukana.
Poltettu kalkki, CaO		
Sammutettu kalkki, $Ca(OH)_2$		
Vesilasi		– Tulee säkkitavarana, liuotetaan.
Hiilidioksidi, $CO_2$		
Aktiivihiili		– Pulveri.
Kempac	0,68	– Polyalumiinikloridi. – Liuos, vettä 68 %.
Oulupac	0,62	– Polyalumiinikloridi. – Liuoksena $Al_2O_3$ 18 paino-%, pitoisuus 38 paino-%, vettä 62 %.
Kaliumpermanganaatti, $KMnO_4$		– Kiinteä hapetin.
Kloori, $Cl_2$		
Natriumhypokloriitti, NaOCl	0,90	– 10 paino-% liuos, vettä 90 %. – Lasketaan → 100% NaOCl.
Sooda, $Na_2CO_3$		– Natriumkarbonaatti. – Kidevedetön.
Natriumkloriitti, $NaClO_2$	0,70	– Käytetään kloorioksidin valmistukseen. – 40 til-% / 30 paino-% liuos, vettä 70%.
Natriumhydroksidi, NaOH	0,50	– 50 paino-% liuos.

Kemikaali	Vesipitoisuus	Huomautuksia
<b>Turun vesilaitos</b>		
Rautasuola, Finnferri		– Liuos, ilmoitetaan 100 %:sena.
Kalkki, Ca(OH) <sub>2</sub>		
Kloori Cl <sub>2</sub>		
Natriumkloriitti (30 %) NaClO <sub>2</sub>	0,70	– 40 til% / 30 paino-% liuos – Lasketaan vesi pois liuoksesta, vettä 70 %.
Aktiivihiilijauhe		
Lipeä (50%) NaOH	0,50	– Vettä 50%.
Apukoagulantti, Magnafloc	0,00	– Liuos, 100 %.
Ammoniumkloridi NH <sub>4</sub> Cl		– Kiinteä suola.
Rikkihappo	0,07	– Vettä 7 %.
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub>		
Polymeerit (lietteenkäsittely)		– Tulee säkkitavarana, liuotetaan. – Lietteenkäsittelystä luovuttiin huhtikuussa 1994, jonka jälkeen liete pumpattiin viemäriin. – Lietteenkäsittelyssä on käytetty eri vuosina sanaa polymeeri tai apukoagulantti.

Jäteveden puhdistukseen käytetyt kemikaalit vuosina 1990-1999 Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Taulukkoon on merkitty myös liuoksesta poistetun veden osuus, kun kemikaalien yhteismäärää on laskettu. Kaikkia taulukon kemikaaleja ei ole käytetty joka vuosi.

Kemikaali	Vesipitoisuus	Huomautuksia
<b>Helsingin Vesi</b>		
Ferrosulfaatti, $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$		– Kiinteä kiteinen aine, rakenne- ja kidevesi yht. 40%.
Finnferri (ferrikloridi-nimellä toimintakertomuksissa)	0,05	– Finnferri on $\text{FeClSO}_4$ -liuos, jossa tehoaineen $\text{Fe}^{3+}$ :n osuus on n. 13 p-%. – Vettä 5%.
Polyelektrolyytti		
Kalkki, sammutettu, $\text{Ca}(\text{OH})_2$		
<b>Tampereen vesilaitos</b>		
Ferrosulfaatti, $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$		– Kiinteä kiteinen aine, rakenne- ja kidevesi yht. 40%.
Meesakalkki		– Kiinteä, hienojakoinen jauhe, jota saadaan sellutehtaan sivuvirrasta sähkösuotimilla. On $\text{CaO}$ :n ja $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :n seos. Ca-pitoisuus $\text{CaO}$ :ksi laskettuna n. 70 p-%. Määrä on tonnimääriä meesakalkkia.
Kalkkikivifilleri		– Jauhettua kalkkikiveä (liitua), n. 10 % inerttiä kiviainesta.
Jauhettu kalkki		
Polyelektrolyytti		
Ferrisulfaatti (PIX-105), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	0,65	– $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ -liuos. – Jätevesilaaatu PIX-105, Fe-pit. 11,5. – Vettä 65 %.
Kempac 18	0,68	– Polyalumiinikloridi. – Liuos, Al-pitoisuus 18 p-%. – Kempac 20:n vesipit. 68%.
Finnferri, $\text{FeClSO}_4$	0,05	– $\text{FeClSO}_4$ -liuos, jossa tehoaineen $\text{Fe}^{3+}$ :n osuus on n. 13 p-%. – Vettä 5 %.
<b>Turun vesilaitos</b>		
Polymeerit		
Ferrosulfaatti, $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$		– Kiinteä kiteinen aine, rakenne- ja kidevesi yht. 40%. Vuodesta 1995 käyttö vähentynyt, koska aktiivista rautaa on tullut puhtaan veden lietteen mukana.
Polyalumiinikloridi, $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{(3n-m)}$		– Vastaava kuin Kempac, mutta ei laskettu vettä pois, koska tietoa ei ollut ja sitä käytetty koeluontoisesti vain v. 1995.

## Liite 7. Ekotehokkuuden kriteerien arvottamiseen osallistuneet henkilöt

---

### Koko vesi- ja viemärlaitosta kuvaava malli

---

Aapro Simo	Helsingin Vesi
Fred Tommi	Helsingin Vesi
Häikiö Eero	Helsingin Vesi
Lehtonen Sini	Helsingin Vesi
Tiainen Esko	Helsingin Vesi
Haume Esko	Tampereen vesilaitos
Heinonen Timo	Tampereen vesilaitos
Jokela Harri	Tampereen vesilaitos
Leinonen Markku	Tampereen vesilaitos
Mäkinen Terttu	Tampereen vesilaitos
Rasi Katja	Tampereen vesilaitos
Vaahtera Matti	Tampereen vesilaitos
Vesola Risto	Tampereen vesilaitos
Anttila Timo	Turun vesilaitos
Pajakko Pirkko	Turun vesilaitos
Mäkinen Ritva-Liisa	Turun vesilaitos
Mäkinen Terttu	Turun vesilaitos
Elomaa Heikki	Lounais-Suomen ympäristökeskus
Estlander Alec	Suomen ympäristökeskus
Jantunen Aija	Kemira Chemicals
Kiuru Heikki	Teknillinen korkeakoulu
Maunula Markku	Maa- ja metsätalousministeriö
Mäki Olli-Pekka	Turun kaupungin ympäristövirasto
Purhonen Osmo	Lounais-Suomen ympäristökeskus
Rönkkö Janne	Helsingin ympäristökeskus
Siitari Marja-Leena	Tampereen kaupungin ympäristövalvonta
Vaitomaa Kari	Uudenmaan ympäristökeskus
Willberg Harri	Tampereen kaupungin ympäristövalvonta

---

### Talousveden valmistusta ja jäteveden käsittelyä kuvaavat mallit

---

Autti Johanna	Suomen ympäristökeskus
Lapinlampi Toivo	Suomen ympäristökeskus
Palo Veikko	Suomen ympäristökeskus
Raassina Sami	Suomen ympäristökeskus
Santala Erkki	Suomen ympäristökeskus
Valve Matti	Suomen ympäristökeskus

---

## Liite 8. Arvottamistehtävän vastauslomake

### Arvottamistehtävän vastauslomake

Nimi: \_\_\_\_\_

#### Alakriteerien painotus

##### Tuotteiden ja palveluiden parantaminen

- A) Talousveden laadun parantaminen
- B) Vesihuollon toimivuuden parantaminen

Järjestys	Alakriteeri (tuote)	Paino
1.	_____	_____
2.	_____	10

##### Päästöjen vähentäminen

- A) Päästöjen veteen ja ilmaan vähentäminen
- B) Maaperään menevien päästöjen vähentäminen

Järjestys	Alakriteeri	Paino
1.	_____	_____
2.	_____	10

##### Luonnonvarojen käytön vähentäminen

- A) Veden kulutuksen vähentäminen
- B) Energiatehokkuuden parantaminen
- C) Kemikaalien käytön tehokkuuden parantaminen
- D) Verkoston rakenteen tehostaminen

Järjestys	Alakriteeri (keino)	Paino
1.	_____	_____
2.	_____	_____
3.	_____	_____
4.	_____	10

##### Taloudellisuuden parantaminen

Kriteerillä on vain yksi alakriteeri (kustannustehokkuuden parantaminen), joten arvottamista ei tarvita.

#### Kriteerien painotus

- A) Tuotteiden ja palveluiden parantaminen
- B) Päästöjen (veteen, ilmaan ja maaperään) vähentäminen
- C) Luonnonvarojen käytön vähentäminen
- D) Taloudellisuuden parantaminen.

Järjestys	Ekotehokkuuden kriteeri	Paino
1.	_____	_____
2.	_____	_____
3.	_____	_____
4.	_____	10

## Liite 9. Ekotehokkuuden aikasarjataulukot

### Koko vesi- ja viemärlaitos

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Helsingin Vesi</b>											
Talousveden laatu	7,4	7,3	7,4	7,4	7,5	7,3	7,5	7,6	9,9	10,7	12 %
Toimintavarmuus	8,6	8,3	8,1	7,5	6,0	10,3	8,5	8,7	10,5	8,7	16 %
Päästöt veteen ja ilmaan	7,4	4,5	7,2	3,1	8,5	9,8	6,9	3,3	23,0	23,0	32 %
Päästöt maaperään	4,7	3,9	4,2	4,4	4,7	5,1	5,0	5,2	5,6	5,5	6 %
Vedenkulutus	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8	1,3	1,3	1,5	1,6	1,6	2 %
Energiankulutus	2,8	2,5	2,5	2,0	1,9	1,5	2,0	1,8	1,7	0,9	7 %
Kemikaalien kulutus	3,3	3,1	3,5	3,2	3,1	3,2	3,4	3,1	2,7	3,1	4 %
Verkoston rakenne	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	3 %
Kustannukset	14,9	14,5	15,5	15,6	15,0	16,1	16,5	16,5	16,8	16,5	17 %
<b>Yhteensä</b>	<b>52,3</b>	<b>47,5</b>	<b>51,8</b>	<b>46,7</b>	<b>50,3</b>	<b>57,4</b>	<b>54,0</b>	<b>50,7</b>	<b>74,6</b>	<b>72,9</b>	<b>100 %</b>

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Tampereen vesilaitos</b>											
Talousveden laatu	7,0	7,6	8,2	8,1	8,3	9,5	7,8	9,2	9,2	9,7	12 %
Toimintavarmuus	4,2	4,7	8,9	10,7	4,0	11,0	8,7	11,0	11,8	12,8	16 %
Päästöt veteen ja ilmaan	11,4	13,1	15,9	13,2	12,4	12,3	11,7	13,8	14,0	14,4	32 %
Päästöt maaperään	4,9	4,6	5,0	4,8	5,3	5,2	5,1	5,2	5,6	5,4	6 %
Vedenkulutus	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	1,0	1,2	1,2	2 %
Energiankulutus	1,5	0,6	1,2	1,0	0,9	1,8	1,2	1,4	2,2	2,2	7 %
Kemikaalien kulutus	1,7	2,1	1,9	2,4	2,7	2,0	2,1	2,6	2,9	2,7	4 %
Verkoston rakenne	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	3 %
Kustannukset	11,2	10,7	11,3	11,1	11,3	11,8	11,3	11,7	11,4	11,1	17 %
<b>Yhteensä</b>	<b>43,6</b>	<b>45,2</b>	<b>54,3</b>	<b>53,4</b>	<b>46,9</b>	<b>55,7</b>	<b>49,9</b>	<b>57,4</b>	<b>59,6</b>	<b>60,8</b>	<b>100 %</b>

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Turun vesilaitos</b>											
Talousveden laatu	9,2	7,7	9,0	8,5	8,0	8,9	7,5	8,1	9,2	9,7	12 %
Toimintavarmuus	6,9	7,4	5,9	6,7	4,5	8,3	6,2	7,3	6,9	6,8	16 %
Päästöt veteen ja ilmaan	20,8	19,6	19,5	14,6	13,4	14,0	14,1	20,1	17,9	16,0	32 %
Päästöt maaperään	2,0	0,5	1,6	0,9	4,1	4,6	4,4	5,2	5,1	5,3	6 %
Vedenkulutus	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,4	0,8	0,7	2 %
Energiankulutus	5,4	3,7	4,1	3,3	4,0	3,4	2,3	2,1	2,7	2,5	7 %
Kemikaalien kulutus	1,1	0,8	0,5	0,5	0,6	1,1	1,6	1,5	1,8	1,6	4 %
Verkoston rakenne	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	3 %
Kustannukset	8,0	9,9	10,6	9,1	10,7	9,3	9,1	8,9	9,5	9,6	17 %
<b>Yhteensä</b>	<b>54,7</b>	<b>50,9</b>	<b>52,4</b>	<b>44,7</b>	<b>46,4</b>	<b>51,0</b>	<b>46,5</b>	<b>54,5</b>	<b>54,9</b>	<b>53,1</b>	<b>100 %</b>



## Talousveden valmistus

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Helsingin Vesi</b>											
Talousveden laatu	13,6	13,3	13,6	13,6	13,8	13,5	13,7	13,9	18,1	19,6	22 %
Toimintavarmuus	7,5	7,3	7,1	6,6	5,3	9,0	7,5	7,7	9,2	7,7	14 %
Päästöt ilmaan	11,1	11,0	10,8	11,6	12,3	13,0	13,4	14,0	12,3	11,4	18 %
Vedenkulutus	1,2	1,8	1,9	2,5	2,7	4,0	4,2	4,7	5,1	5,1	7 %
Energiankulutus	5,7	4,8	4,7	5,3	5,7	6,1	6,3	6,7	5,6	5,0	8 %
Kemikaalien kulutus	4,7	4,6	4,6	4,5	4,3	4,4	4,3	4,4	4,3	4,5	6 %
Verkoston rakenne	4,5	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	5 %
Kustannukset	17,2	17,0	17,8	18,4	17,4	18,7	19,1	19,6	19,8	19,5	21 %
<b>Yhteensä</b>	<b>65,6</b>	<b>64,4</b>	<b>65,2</b>	<b>67,0</b>	<b>65,9</b>	<b>73,3</b>	<b>73,1</b>	<b>75,5</b>	<b>79,1</b>	<b>77,5</b>	<b>100 %</b>

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Tampereen vesilaitos</b>											
Talousveden laatu	12,9	13,9	15,1	14,9	15,2	17,4	14,3	17,0	16,8	17,8	22 %
Toimintavarmuus	3,7	4,1	7,9	9,4	3,5	9,7	7,6	9,7	10,4	11,3	14 %
Päästöt ilmaan	11,5	10,9	11,4	11,9	11,5	12,9	12,3	11,7	12,2	12,1	18 %
Vedenkulutus	1,0	1,3	1,9	2,2	2,4	2,6	2,6	3,3	3,8	3,8	7 %
Energiankulutus	3,7	1,4	1,9	2,3	2,0	3,1	2,6	2,2	2,6	2,5	8 %
Kemikaalien kulutus	4,6	5,1	5,1	5,1	4,8	4,9	4,9	4,9	4,9	4,7	6 %
Verkoston rakenne	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	5 %
Kustannukset	11,2	10,6	11,8	12,1	11,9	12,7	12,3	12,2	11,9	11,3	21 %
<b>Yhteensä</b>	<b>51,4</b>	<b>50,3</b>	<b>57,9</b>	<b>60,9</b>	<b>54,1</b>	<b>66,1</b>	<b>59,5</b>	<b>63,9</b>	<b>65,6</b>	<b>66,5</b>	<b>100 %</b>

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Turun vesilaitos</b>											
Talousveden laatu	16,8	14,1	16,5	15,7	14,6	16,3	13,7	14,8	16,8	17,8	22 %
Toimintavarmuus	6,0	6,5	5,2	5,9	4,0	7,3	5,5	6,4	6,1	5,9	14 %
Päästöt ilmaan	6,0	4,8	4,4	3,7	4,5	4,1	2,3	2,3	2,5	3,2	18 %
Vedenkulutus	0,7	0,8	0,5	0,6	0,4	1,4	1,0	1,3	2,4	2,2	7 %
Energiankulutus	2,9	2,2	1,9	1,5	2,0	1,8	0,8	0,8	1,0	1,3	8 %
Kemikaalien kulutus	1,5	1,4	1,5	1,3	1,4	1,3	1,2	1,0	1,5	1,3	6 %
Verkoston rakenne	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	5 %
Kustannukset	1,5	5,8	9,9	10,1	11,9	9,8	9,4	6,8	9,1	9,3	21 %
<b>Yhteensä</b>	<b>37,4</b>	<b>37,3</b>	<b>41,6</b>	<b>40,3</b>	<b>40,4</b>	<b>43,7</b>	<b>35,6</b>	<b>35,2</b>	<b>41,2</b>	<b>42,9</b>	<b>100 %</b>

**Jäteveden käsittely**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Helsingin Vesi</b>											
Päästöt veteen ja ilmaan	9,7	6,0	9,5	4,3	11,1	12,8	9,0	4,5	29,5	29,5	40 %
Päästöt maaperään	6,7	5,6	6,1	6,2	6,7	7,2	7,2	7,4	7,9	7,9	9 %
Energiankulutus	3,8	3,3	3,4	2,1	1,7	0,5	1,1	0,5	1,4	0,6	10 %
Kemikaalien kulutus	5,2	4,9	5,8	5,4	5,7	5,8	6,4	5,6	4,4	5,2	10 %
Verkoston rakenne	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,1	5 %
Kustannukset	20,3	18,5	21,7	20,7	19,9	23,1	24,2	23,1	23,9	22,8	25 %
<b>Yhteensä</b>	<b>49,7</b>	<b>42,3</b>	<b>50,5</b>	<b>42,6</b>	<b>49,0</b>	<b>53,4</b>	<b>52,0</b>	<b>45,2</b>	<b>71,2</b>	<b>70,0</b>	<b>100 %</b>

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Tampereen vesilaitos</b>											
Päästöt veteen ja ilmaan	14,8	17,0	20,5	17,1	16,1	15,9	15,1	17,8	18,1	18,5	40 %
Päästöt maaperään	6,9	6,5	7,1	6,9	7,5	7,4	7,2	7,5	7,9	7,7	9 %
Energiankulutus	4,3	3,5	4,0	3,2	3,4	3,7	3,2	4,0	4,9	5,0	10 %
Kemikaalien kulutus	1,2	1,0	0,4	1,7	3,1	1,3	1,7	2,8	3,6	3,4	10 %
Verkoston rakenne	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	5 %
Kustannukset	15,6	14,0	13,9	12,3	14,0	14,7	12,6	15,4	14,4	14,6	25 %
<b>Yhteensä</b>	<b>44,2</b>	<b>43,3</b>	<b>47,2</b>	<b>42,4</b>	<b>45,4</b>	<b>44,3</b>	<b>41,0</b>	<b>48,8</b>	<b>50,2</b>	<b>50,4</b>	<b>100 %</b>

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Tavoite(max)
<b>Turun vesilaitos</b>											
Päästöt veteen ja ilmaan	26,8	25,3	25,3	19,0	17,5	18,2	18,5	26,0	23,2	20,8	40 %
Päästöt maaperään	2,9	0,7	2,3	1,2	5,8	6,6	6,3	7,4	7,3	7,6	9 %
Energiankulutus	9,9	7,7	8,6	7,7	8,3	7,6	6,6	6,3	7,3	6,6	10 %
Kemikaalien kulutus	7,2	6,9	5,8	6,2	6,3	7,7	9,6	9,6	9,2	9,2	10 %
Verkoston rakenne	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	5 %
Kustannukset	21,5	23,8	15,7	5,9	10,7	8,3	8,2	14,7	11,7	11,2	25 %
<b>Yhteensä</b>	<b>69,8</b>	<b>65,8</b>	<b>58,9</b>	<b>41,4</b>	<b>50,0</b>	<b>49,6</b>	<b>50,5</b>	<b>65,3</b>	<b>60,0</b>	<b>56,6</b>	<b>100 %</b>

# Kuvailulehti

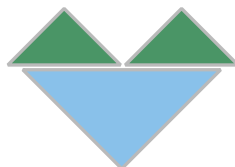
Julkaisija	Suomen ympäristökeskus	Julkaisu-aika heinäkuu 2001
Tekijä(t)	Jyrki Tenhunen ja Tiina-Kaisa Lohi	
Julkaisun nimi	Ekotehokkuus vesihuollossa. Menetelmä ja sovelluksia vesi- ja viemärlaitosten kestävä kehityksen arvioimiseksi	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on myös Internetissä: <a href="http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm">http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm</a> Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Helsinki. Suomen ympäristö 434.	
Tiivistelmä	<p>Ekotehokkuus on toimintatapa, jonka pyrkimyksenä on tuottaa korkealaatuisia tuotteita/palveluja aikaisempaa pienemmällä luonnonvarojen käytöllä ja ympäristökuormituksella. Ekotehokkuudessa keskeisenä pyrkimyksenä on myös taloudellisuuden parantaminen. Tässä tutkimuksessa on kehitetty vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden arviointimenetelmä. Ekotehokkaan toiminnan kriteereiksi on pelkistetty tuotteiden/palvelujen parantaminen, päästöjen vähentäminen, luonnonvarojen käytön vähentäminen ja taloudellisuuden parantaminen. Näiden tavoitteiden toteutumista mitataan indikaattoreilla, joiden täytyy olla toisistaan riippumattomia ja niiden tulee kuvata keskeisiltä osin ekotehokkuuden kriteerien sisältö. Indikaattoreista muodostettiin 90-luvun kattavat aikasarjat Helsingin Vedelle, Tampereen ja Turun vesilaitoksille. Koko vesi- ja viemärlaitoksen ekotehokkuutta kuvaavan tunnusluvun laskeminen edellyttää ekotehokkuusindeksien painottamista. Vesilaitoksen toiminnan tavoitteiden priorisoimiseksi ja tavoitteiden keskinäisen merkityksen selville saamiseksi järjestettiin arvottamistutkimus. Vesilaitoksen toiminnan kannalta tärkeimmäksi ekotehokkuuden kriteeriksi saatiin päästöjen vähentäminen (38 %) ja toiseksi tärkeimmäksi kriteeriksi tuotteiden/palvelujen parantaminen (28 %). Ekotehokkuuden arviointimallilla laskien ekotehokkuudessa koko laitoksen osalta on tapahtunut selvää myönteistä kehitystä Helsingissä ja Tampereella. Turussa ekotehokkuus on mallilla tarkasteltuna pysynyt ennallaan 90-luvulla. Helsingin Vesi tehosti typenpoistoa vuoden 1998 alusta. Ekotehokkuusmallilla tehdyn arvion perusteella investointia voidaan pitää erittäin kannattavana. Tässä tutkimuksessa kehitetty ekotehokkuusmalli on systemaattinen menetelmä arvioida vesilaitosten toimintaa ja sen kehittämistä, kun kaikki keskeiset päätökseen vaikuttavat tekijät otetaan huomioon.</p>	
Asiasanat	Vesihuolto, jätevedenkäsittely, vesilaitokset, analyysi, ekotehokkuus, indikaattorit, ympäristövaikutukset, päästöt, päätösteoria	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 488	
Julkaisun teema	ympäristönsuojelu	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Vesihuollon elinkaaritutkimus ja vesien käsittelyn ekotehokkuus, XC008	
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Suomen ympäristökeskus, Helsingin Vesi, Tampereen vesilaitos, Turun vesilaitos, ympäristöministeriö, maa- ja metsätalousministeriö, Tekes, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, Kemira Chemicals Oy	
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0914-9 (nid.), 952-11-0957-2 (PDF)
	Sivuja 68	Kieli Suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 56 mk
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Oyj, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Edita puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380, sähköpostiosoite: asiakaspalvelu@edita.fi www-palvelin: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>	
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki	
Painopaikka ja -aika	Edita Oyj, Helsinki 2001	

# Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral	Datum Juli 2001
Författare	Jyrki Tenhunen och Tiina-Kaisa Lohi	
Publikationens titel	Ekoeffektivitet i vattenförsörjningen. Metoder och tillämpningar för att bedöma vatten- och avloppsvverkens hållbara utveckling	
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma project	Publikationen finns på Internet: <a href="http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm">http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm</a> Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Helsinki. Suomen ympäristö 434.	
Sammandrag	<p>Ekoeffektivitet är ett handlingsmönster, vars huvudprincip är en strävan att producera högklassig service med mindre utnyttjande av naturresurserna och mindre miljöbelastning än tidigare. I denna undersökning har utvecklats en metod för bedömning av vatten- och avloppsvverkens hållbara utveckling. Som kriterium för ekoeffektiv verksamhet är renodlad förbättring av produkter/service, minskning av utsläpp, minskning av utnyttjande av naturresurserna och förbättring av ekonomin. Uppnåendet av dessa mål mäts med indikatorer, som måste vara oberoende av varandra och som skall beskriva det centrala innehållet i ekoeffektivitetskriterierna. Av indikatorerna gjordes täckande tidsserier av 90-talet för Helsingfors Vatten samt Tammerfors och Åbo vattenverk. Uträkandet nyckeltal för ett helt vatten- och avloppsvverks ekoeffektivitet förutsätter att ekoeffektivitetsindexet betonas. För att prioritera vattenverkets verksamhetsmål gjordes en bedömningsundersökning. Som det viktigaste kriteriet för ekoeffektivitet med tanke på vattenverkets verksamhet blev minskning av utsläppen (38%) och som det näst viktigaste kriteriet förbättring av produkter/service (28%). Räknat med bedömningsmodellen för ekoeffektiviteten har det skett en positiv utveckling i ekoeffektiviteten för hela verket i Helsingfors och Tammerfors. I Åbo har ekoeffektiviteten, bedömd enligt denna modell, stampat på stället på 90-talet. Helsingfors Vatten effektiverade borttagningen av kväve från början av år 1998. Enligt bedömningen som gjorts utgående från ekoeffektivitetsmodellen kan investeringen anses vara mycket lönsam. Den ekoeffektivitetsmodell som utvecklats i denna undersökning är en systematisk metod att bedöma vattenverkets verksamhet och dess utvecklande, när alla centrala faktorer som inverkar på beslutsfattandet tas i beaktande.</p>	
Nyckelord	Vattenförsörjning, avloppsvattenhantering, vattenverk, analyser, ekoeffektivitet, indikatorer, miljökonsekvenser, utsläpp, beslutsteori	
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 488	
Publicationens tema	miljövård	
Projektets namn och nummer	Undersökning av vattenförsörjningens livscykel och vattenhanteringens ekoeffektivitet, XC008	
Finansiär/ uppdragsgivare	Finlands miljöcentral, Tammerfors vattenverk, Helsingfors Vatten, Åbo vattenverk, miljöministeriet, Jord- och skogsbruksministeriet, Tekes, Vatten- och avloppsvverksföreningen i Finland, Kemira Chemicals Oy	
Organisationer i projektgruppen		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0914-9 (nid.), 952-11-0957-2 (PDF)
	Sidantal 68	Språk Finska
	Offentlighet Offentlig	Pris 56 mk
Beställningar/ distribution	Edita Abp, Kundservice, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380, e-mail: <a href="mailto:asiakaspalvelu@edita.fi">asiakaspalvelu@edita.fi</a> www-server: <a href="http://www.edita.fi/netmarket">http://www.edita.fi/netmarket</a>	
Förläggare	Finlands miljöcentralen, PB 140, FIN-00251 Helsingfors, Finland	
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Abp, Helsingfors 2001	



# Suomen ympäristö



## YMPÄRISTÖN- SUOJELU

### Ekotehokkuus vesihuollossa

Ekotehokkuus on toimintatapa, jonka pyrkimyksenä on tuottaa korkealaatuisia tuotteita ja palveluja aikaisempaa pienemmällä luonnonvarojen käytöllä ja ympäristökuormituksella. Ekotehokkuudessa pyrkimyksenä on myös taloudellisuuden parantaminen.

Tässä tutkimuksessa on kehitetty vesi- ja viemärlaitosten ekotehokkuuden arviointimalli, joka on systemaattinen menetelmä arvioida vesilaitosten toimintaa ja sen kehittämistä, kun tärkeimmät päätökseen vaikuttavat tekijät ympäristön, tuotteiden/palvelun, luonnonvarojen käytön ja taloudellisuuden osalta otetaan huomioon. Näiden tavoitteiden toteutumista mitataan indikaattoreilla, jotka kuvaavat keskeisiltä osin ekotehokkuuden sisällön. Ekotehokkuusmallia sovellettiin Helsingin, Tampereen ja Turun vesihuoltotoiminnan arviointiin. Indikaattoreista muodostettiin 90-luvun kattavat aikasarjat Helsingin Vedelle, Tampereen ja Turun vesilaitoksille.

Vesihuollon ekotehokkuudessa on tapahtunut selvää myönteistä kehitystä Helsingissä ja Tampereella. Näiden kaupunkien vesihuollon ekotehokkuuden tunnusluku on parantunut 1990-luvulla noin 40 prosentilla. Turun vesilaitoksen ekotehokkuus on koko laitosta kuvaavalla tunnusluvulla mitaten pysynyt jotakuinkin samana vuosikymmenen alussa ja loppussa. Tutkittujen kaupunkien vesihuollon suurin ekotehokkuuden lisämispotentialiaali on edelleen veteen menevien päästöjen vähentämisessä.

Julkaisu on saatavana myös Internetistä:

<http://www.vyh.fi/palvelut/julkaisu/elektro/sy488/sy488.htm>

ISBN 952-11-0914-9 (nid.)

ISBN 952-11-0957-2 (PDF)

ISSN 1238-7312

EDITA Oyj  
PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00  
ASIAKASPALVELU  
puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380  
EDITA-KIRJAKAUPPA HELSINGISSÄ  
Annankatu 44, puhelin 020 450 2566



9 789521 109140