

MTT RAPORTTI 37

Lähestymistapoja elintarvikkeiden vesijalanjäljen arvioimiseksi

Kirjallisuuskatsaus

Heli Lehtinen ja Kirsi Usva



Lähestymistapoja elintarvikkeiden vesijalanjäljen arvioimiseksi

Kirjallisuuskatsaus

Heli Lehtinen ja Kirsi Usva

ISBN: 978-952-487-354-3

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mtraportti/pdf/mtraportti37.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Heli Lehtinen ja Kirsi Usva

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisu vuosi: 2011

Kannen kuva: Maurizio Sajeve

Lähestymistapoja elintarvikkeiden vesijalanjäljen arvioimiseksi

Heli Lehtinen ja Kirsi Usva¹⁾

¹⁾Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Biotekniikka ja elintarviketutkimus, 31600 Jokioinen

Tiivistelmä

Makean veden kulutuksesta on tullut tärkeä kestävyys ulottuvuus mitattaessa kulutuksen ja tuotannon kestävyttä. Tämä kirjallisuuteen perustuva katsaus käsittelee elintarviketuotteiden makean veden kulutuksen ja sen vaikutusten mittaamista. Monitahoinen vesikriisi koettelee elintarvikesektoria: ilmastonmuutos vähentää alueellisesti veden saatavuutta, toisaalta kastelun lisääminen kasvattaa energiankulutusta ja sitä kautta ilmakehän hiilidioksidipäästöjä. Kriisin merkkejä ovat myös veden niukkuudesta aiheutuva ekosysteemien köyhtyminen sekä kilpailu vesivaroista maatalouden ja muiden toimijoiden sekä ruuantuotannon ja non-food-tuotannon välillä. Kansainvälinen vesitilastoinnin suositus IRWS (International Recommendations for Water Statistics) pyrkii harmonisoimaan vesitilastointia mm. kansantalouden tilinpidon kehittämiseksi. Vesitilastointi tarjoaa globaalisti suhteellisen kattavan tietolähteen vedenkulutuksen arvioimiseen. Kansalliset vesitilastot eivät kuitenkaan yleensä huomioi piiloveden tuontia maan ulkopuolelta eivätkä kasvien haihduttamaa vettä. Hoekstran ja Hungin vuonna 2002 esittelemä vesijalanjälkikonsepti pohjautuu virtuaali- eli piiloveden käsitteeseen, laajentaen ja syventäen sitä makean veden kulutuksen globaaliksi mittariksi. Kansainvälinen verkosto Water Footprint Network (WFN) tukee konseptia, joka erottelee sinisen eli ns. teknisen ihmisen käyttöönsä ottaman veden, vihreän eli kasvien käyttöönsä ottaman maaperän veden sekä harmaan veden, jolla tarkoitetaan sen laimennusveden määrää, jolla pilaantunut vesi saataisiin laimennettua referenssitilanteelle. Elintarvikkeiden vesijalanjäljestä merkittävin osa on yleensä peräisin elinkaaren alkuvaiheesta, kasvintuotannosta. Vesijalanjälkikonseptin on todettu soveltuvan hyvin yrityksen riskien tunnistamiseen ja strategiseen suunnitteluun. Konseptin vahvuutena on pidetty sinisen ja vihreän veden erottelua erityisesti maatalouteen perustuvilla tuotannonaloilla. World Business Council on Sustainable Development (WBCSD) ja UNEP/SETAC Life Cycle Initiative ovat olleet aloitteellisia menetelmäkehityksessä vedenkulutuksen arvioimiseksi osana elinkaariarviointia. ISO on puolestaan aloittanut työn standardin tuottamiseksi vesijalanjäljen laskennasta. Elinkaariarvioinnissa vedenkulutus suhteutetaan useimmiten alueelliseen niukkuuteen. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative esittää vaikutusarvioinnin viitekehityksessään mm. että veden kulumista resurssina voidaan käyttää indikaattorina (ns. keskipiste), kun taas vaikutukset ihmisen terveyteen ja ekosysteemiin ovat lopullisia tarkasteltavia haittoja (loppupisteitä). Näihin haittoihin päästään kiinni ns. vaikutusketjumalleilla, joilla hahmotetaan veden kulutuksen syy-seuraus-suhteet. Elinkaariarviointia pidetään tieteellisesti kehittyneenä menetelmänä, joka soveltuu hyvin vertaamaan makean veden käyttöä vaikutuksineen koko tuotteen elinkaaren ja toisaalta laajojen alueiden välillä. Hankaluutena pidetään sitä, että mitkään LCA-menetelmät eivät ole vielä laajasti hyväksytyjä ja toisaalta arviointitulosten viestimistä pidetään vaativana teknisen monimutkaisuuden vuoksi. Vedenkulutusta on tarkasteltu myös osana talouden materiaalivirtoja ja panos-tuotos-malleja, kuten Mäenpää kehittämässään Suomen kansantalouden mallissa. Suomalaisen elintarviketuotannon näkökulmasta haasteita elintarvikkeen vesijalanjäljen arvioimiseksi riittää sekä datan hankinnan että menetelmäkehityksen puolella. Globaali vesikriisi kuitenkin haastaa yritykset luomaan omat vesistrategiansa sekä vastuullisen hankinnan periaatteensa, joissa veden kulutus ja sen vaikutukset ovat mukana.

Avainsanat:

vesijalanjälki, elintarvike, veden kulutus, LCA, elinkaariarviointi

Methodological approaches to the assessment of water footprint of food products

Heli Lehtinen ja Kirsi Usva¹⁾

¹⁾MTT Agrifood Research Finland, Biotechnology and Food Research, 31600 Jokioinen, FINLAND

Abstract

Fresh water consumption has become an important dimension of sustainability assessing sustainability of consumption and production. This literature based review deals with measuring the consumption of fresh water and its impacts in production. Water crisis is a complex phenomenon, which strains the food sector: climate change decreases the availability of water regionally, on the other hand irrigation increases energy consumption and CO₂ -emissions in the atmosphere. Also ecosystem degradation due to water scarcity and competition over water resources between agriculture and other sector and between food production and non-food production are signs of the crisis. International Recommendations for Water Statistics (IRWS) is aiming to harmonize water statistics for National Accounts among the other things. Water statistics provide globally relatively comprehensive data source for assessing water consumption. However the national water statistics do not normally take the import of virtual water or water evapotranspiration from crop production into account. Water footprint concept presented by Hoekstra and Hung in 2002 is based on virtual (embedded) water extended to a global index of fresh water consumption. International Water Footprint Network (WFN) supports the concept. In the concept the three different types of water use are distinguished: blue water is water technically put into operation by humans, green water is soil water used by plants and grey water is the theoretical amount of dilution water needed to dilute the low-quality water to the reference level. The significant proportion of water footprint of food stuffs is normally derived from the beginning of life cycle, agriculture. The concept of water footprint is found to be suitable for identifying the risks and strategic planning in companies. The strength of the concept especially in agriculture is the separation of blue and green water. World Business Council on Sustainable Development (WBCSD) and UNEP/SETAC Life Cycle Initiative have taken the initiative in methodology development to assess the water consumption as a part of life cycle assessment. ISO has launched a work to produce a standard of water footprint assessment. In life cycle assessment the consumption of water is normally put in proportion with regional scarcity. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative propose in their framework of impact assessment of LCA that water consumption (water as a resource) could be used as an indicator (so called middle point), and impacts on human health and ecosystem are final areas of protection (endpoints). These areas of protection are approached by so called impact-pathways, which are used to conceive the cause and effect relations of water consumption. Life cycle assessment is kept as scientifically advanced method, which is suitable for comparing fresh water use and its impacts in a product level and between wide areas. A difficulty is that none of the LCA methods are widely accepted and on the other hand communicating the results is challenging due their technical complexity. Water consumption is studied also as a part of material flows of national economy and input-output-models as Mäenpää in Finnish national economy –model. In the perspective of Finnish food production there are lots of challenges in assessing water footprint of food stuffs. Both data acquisition and methodology development are difficult tasks. However the global water crisis is challenging companies to develop their own water strategies and include the water consumption and its impacts into their principles of responsible purchasing.

Keywords:

Water footprint, Food stuff, Water consumption, LCA, Life cycle assessment

Alkusanat

Raportti vesijalanjäljen konseptista ja arviointimentelmistä on laadittu MTT:llä Kestävän biotalouden tiimissä, joka mm. tutkii elintarvikeketjujen kestävyyttä ja käyttää elinkaarianalyysiä ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmänä. Sain mahdollisuuden keskittyä elintarvikkeiden vesivirroista ja vedenkulutuksen ympäristövaikutuksista julkaistuu materiaaliin harjoittelujaksollani ympäristöalan erikoistumisohjelmassa. Osoitamme Kirsi Usvan kanssa kiitokset koko tiimille, erityisesti Sirpa Kurpalle sekä Tapio Salolle sekä muille keskusteluun osallistuneille MTT:llä. Kiitämme myös Helena Wessmannia VTT:ltä, Tuomas Mattilaa Suomen ympäristökeskuksesta, Suvi Sojamaa Aalto yliopistosta ja Jussi Nikulaa WWF:stä näkemysten vaihdosta.

Heli Lehtinen

Sisällysluettelo

Sisältö

1 Johdanto.....	10
2 Ravinnontuotanto ja monitahoinen globaali vesikriisi	12
3 Vesitilastot.....	17
3.1 Kansainvälinen vesitilastoinnin suositus.....	17
3.2 Suomalaiset vesitilastoissa	19
3.2.1 Elintarviketeollisuus.....	20
3.2.2 Alkutuotanto.....	21
4 Piilovesi ja vesijalanjälki.....	22
4.1 Taustaa	22
4.2 Käsitteet.....	23
4.2.1 Veden käyttö ja kuluminen	23
4.2.2 Sininen, vihreä ja harmaa vesijalanjälki.....	24
4.2.3 Vesijalanjäljen arviointi prosessina.....	25
4.3 Laskennan periaatteet.....	26
4.3.1 Vedenkulutuksen laskenta viljelykasveilla	26
4.3.2 Vedenkulutuksen laskenta tuotantoeläimillä.....	28
4.4 Keskeiset sovellukset elintarvikesektorilla	28
4.5 Tuotteen vesijalanjäljen kestävyuden arviointi	31
5 Elinkaarimetodiikat ja veden kulutus	33
5.1 Inventaario.....	33
5.2 Vesiresurssien kulutuksen ja käytön vaikutusten arviointi	35
5.2.1 Vesiresurssien kulutus ja niukkuusindeksit.....	35
5.2.2 UNEP/SETAC Life Cycle Initiative viitekehys vaikutusarviointiin.....	38
5.2.3 Milà-i-Canals:n vaikutusarviointimenetelmä.....	39
5.2.4 Pfister:n vaikutusarviointimenetelmä.....	40
5.2.5 Harris & Narayanaswamin sekä Weideman vaikutusarviointimenetelmät	40
6 Materiaalivirtojen analyysi.....	42
7 Lähestymistapojen vertailu.....	44
7.1.1 Tuotekohtainen lähestymistapa.....	46
8 Pohdinta.....	48
8.1 Vedenkulutus ja suomalaiset elintarvikeketjut.....	48
8.1.1 Suomalainen näkökulma	48
8.1.2 Yrityksen vesistrategia ja vastuullinen hankinta	49
8.2 Vedenkulutuksen arviointimenetelmät ja datat - kehitysnäkymiä.....	50
8.2.1 Veden saatavuus- ja kulutusdatat	50
8.2.2 Arviointimenetelmien kehitysnäkymiä	51
8.2.3 Globaalit vertailutiedot.....	51
8.3 Yhteenveto	53
Kirjallisuus	55

Lyhenteet

CSIRO = Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/ Tutkimuslaitos Australiassa

FAO = Food and Agriculture Organization/ YK:n alainen ravinto- ja maatalouskysymysten organisaatio

FINLCA = Suomalainen elinkaarimetodiikkojen foorumi yritysten päätöksenteon tueksi

FWF = Finnish Water Forum

ISO/PWI = ISO standardointiprosessin alustava vaihe (Preliminary Work Item)

IRWS = International Recommendations for Water Statistics/ Kansainvälinen suositus vesitilastointiin

IWRM = Integrated water resource management/ Integroitu vesivarojen hallinta

GEMI = Global Environmental Management Initiative

GWP = Global Water Partnership/ Vesialan alueellisten ja kansallisten verkostojen kansainvälinen, kokoava verkosto

LCA = Life Cycle Assessment/ Elinkaariarviointi

MFA = Material Flow Analysis/ Materiaalivirta-analyysi

MMM = Maa- ja metsätalousministeriö

MPC = Maximum Permissible Concentration/ Suurin sallittu tai hyväksytty pitoisuus

VTT = Valtion teknillinen tutkimuslaitos

WFN = Water Footprint Network

WBCSD = World Business Council for Sustainable Development

Sanasto

<i>Akviferi</i> - pohjavesivarasto	Aquifers are below ground reservoirs of water
<i>Haihtuva vesi</i> - poistuu tarkasteltavasta systeemistä ja ei-haihtuva vesi kiertää systeemin sisällä, haihtuva vedenkäyttö = veden kulutus	Evaporative water is consumed from the system, non-evaporative water is used inside the system
<i>Hydrologinen veden kierto</i> - veden luontainen liike sisävesien, ilmakehän, merien ja valtamerien välillä	Natural processes of water movement between the inland water resources, the atmosphere, the seas and oceans.
<i>Makea vesi</i> – suolapitoisuus alittaa raja-arvot (Erlaisia raja-arvoja suolaisuudelle: USA ja Kanada 1000 ppm, Australia 500 ppm)	Fresh water
<i>Makean veden kuluminen</i> - sisältää haihdunnan, veden siirron tuotteissa ja veden siirrot toisiin vesistöihin tai mereen	Fresh water consumptive use, which includes evaporative use, product integration and discharge into different watersheds or the sea
<i>Makean veden laatua heikentävä käyttö</i> - sisältää sellaisen veden oton, käytön ja purkamisen joka tapahtuu saman vesistö- tai valuma-alueen sisällä ja jossa veden laatu heikentyy kierron aikana	Freshwater degradative use
Makean veden väheneminen resurssina	Fresh water depletion
Palautuva virta	Return flow
<i>Piilovesi</i> - <i>virtuaalivesi</i> - kulutettu makean veden määrä tuotteen koko elinkaaren aikana	Virtual-water content, embedded water
<i>Potentiaalinen evapotranspiraatio</i> - laajalta alueelta tapahtuvaa haihduntaa olosuhteissa, joissa maa on lyhyen nurmikasvillisuuden täysin peittämää, eikä veden puute rajoita haihduntaa	Potential evapotranspiration, ET_0
Sadanta	Precipitation
<i>Tuotannon haihdunta</i> - tuotteen elinkaaren aikainen makean veden haihdunta	Production-related evapotranspiration
<i>Tuotteen vesipitoisuus</i> - tuotteesta määritetty veden määrä	Water content of a product (or water contained in a product)
Valuma-alue	Drainage basin, water shed, river basin
Valunta	Run-off
Valunta ja veden suotautuminen peltotasolla	Run-off and seeping at field level
<i>Veden käyttö</i> – veden käyttäminen ilman veden kulutusta (ks. makean veden kuluminen ja	Water use

vedenkulutus)	
Veden puute / veden fyysinen niukkuus	Water scarcity / physical water scarcity
Veden käyttö terrestrisessä ympäristössä eli maa-alueilla	Off-stream water use
Veden käyttö vesiympäristössä	In-stream water use
Veden siirto	Water transfer (or discharge)
<i>Vedenkulutus</i> - vettä ei palauteta samaan vesistöön	Water consumption
<i>Vedenotto</i> - sisältää pinta- tai pohjaveden oton joko pysyvästi tai tilapäisesti	Water abstraction (or withdrawal) from surface or ground water
Vedenoton suhde saatavuuteen	Withdrawal-to-Availability (WTA)
Vesijalanjalan kompensointi	Water neutrality / Water footprint offsetting
<i>Vesistressi</i> - veden niukkuustilanne, jossa veden käytön suhde käytettävissä oleviin vesivaroihin ylittää asetetun kestävyden rajan	Water stress
Vesivirrat ja vesivarannot vesitaseessa	Fluxes and storages in water balance
Viljelykasvin veden tarve	Crop water requirement (CWR)

1 Johdanto

Elintarvikeketjun kestävyys arviointiin käytetään lukuisia mittareita. Kestävyyden ulottuvuudet; talous, sosiaalinen hyvinvointi ja ympäristön hyvinvointi ansaitsevat kaikki omat mittarinsa. Ympäristöteemoista suurimman huomion ovat saaneet ilmastomuutos ja Suomessa myös rehevöityminen. Ilmaston muutos ja vesien rehevöityminen vaikuttavat molemmat osaltaan globaalille elintarviketuotannolle elintärkeän makean veden saatavuuteen. Makean veden saatavuus on monista syistä käymässä yhä epävarmemmaksi monilla ravinnontuotannolle tärkeillä alueilla. Siksi makean veden kulutuksesta on itsessäänkin noussut tärkeä kestävyys ulottuvuus, jonka mittaamiseen ja vaikutusten arviointiin ollaan kehittämässä työkaluja.

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan lähestymistapoja ja työkaluja, joita maailmalla on kehitetty elintarviketuotteiden makean veden kulutuksen kestävyysmittaamiseen. Keskiössä on piilovesi, jota on kehitetty kuvaamaan makean veden kulumista tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana ja siihen kytkeytyvä ns. vesijalanjälki, jossa lähestymistapana otetaan huomioon myös erilaiset kulutetun veden lähteet.

Katsauksen laatiminen liittyy mm. MTT:n Foodprint Tools -tutkimushankkeeseen, jonka yleisenä tavoitteena on elintarvikeketjun toiminnan kehittäminen jalanjäljen pienentämiseksi kehittämällä laskentamenettelyjä ja käytännön työkaluja. Hankkeen tavoitteena on kehittää kansalliset, tieteellisesti perustellut ja käytännössä toimivat harmonisoidut tiedonkeruu- ja laskentamenetelmät sekä näihin pohjautuvia käytännön työkaluja tuotekohtaisen jalanjäljen eri osa-alueille. Vesijalanjäljen osalta haluttiin kartoittaa laajaa ja kiivaasti muuttuvaa tarjontaa erilaisista lähestymistavoista.

Katsauksessamme vesijalanjälkikonseptien tieteellistä perustaa kuvataan viittaamalla sitä kehittäneiden tahojen raportteihin sekä vertailemalla vesijalanjälkeä perinteiseen vesitilastointiin sekä elinkaariarviointiin ja muihin systeemianalyttisiin menetelmiin. Lisäksi tarkastellaan makean veden käytön ja kulutuksen huomioimista elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnissa. Tarkoituksena on selvittää miten piilovesi- ja vesijalanjälkikonseptit soveltuvat suomalaisen elintarviketeollisuuden käyttöön ja erityisesti miten tuotekohtaisen vesijalanjäljen määrittäminen ja soveltaminen ovat kehittymässä.

Raportissa on pyritty käyttämään samoja termejä, kuin aikaisemmissa suomenkielisissä aihetta koskevissa selvityksissä. Termeistä ja lyhenteistä on myös koottu sanasto. Vuonna 2007 julkaistiin ensimmäiset suomenkieliset vesijalanjäljen laskurit ja oppaat (www.vesijalanjalki.org) Teknillisen korkeakoulun Vesi ja kehitys -tutkimusryhmän sekä vesialan ammattianeikerho AKVA:n yhteistyön tuloksena (Kuismin *et al.* 2008). Vuonna 2009 Raisio Oyj teki kansainvälisestikin ainutlaatuisen aloitteen merkitsemällä yhden tuotteensa pakkauksen vesijalanjäljellä. Vesijalanjälkeä tarkasteltiin myös FINLCA-hankkeessa, jossa yhtenä tavoitteena oli tuottaa suomalaisille yrityksille tietoa ja kokemusta erilaisista elinkaariarviointimenetelmistä (Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet 2010).

Viimeisen kymmenen vuoden aikana maailmalla on syntynyt runsaasti aloitteita makean veden kulutukseen tai yleisemmin vesivarojen kestäväan käyttöön liittyvien laskentatapojen ja työkalujen harmonisoimiseksi. Näitä aloitteita listaa mm. ISO standardia valmistelevan työryhmän puheenjohtaja Sebastian Humbert (2010) työpaja esityksessään Japanissa:

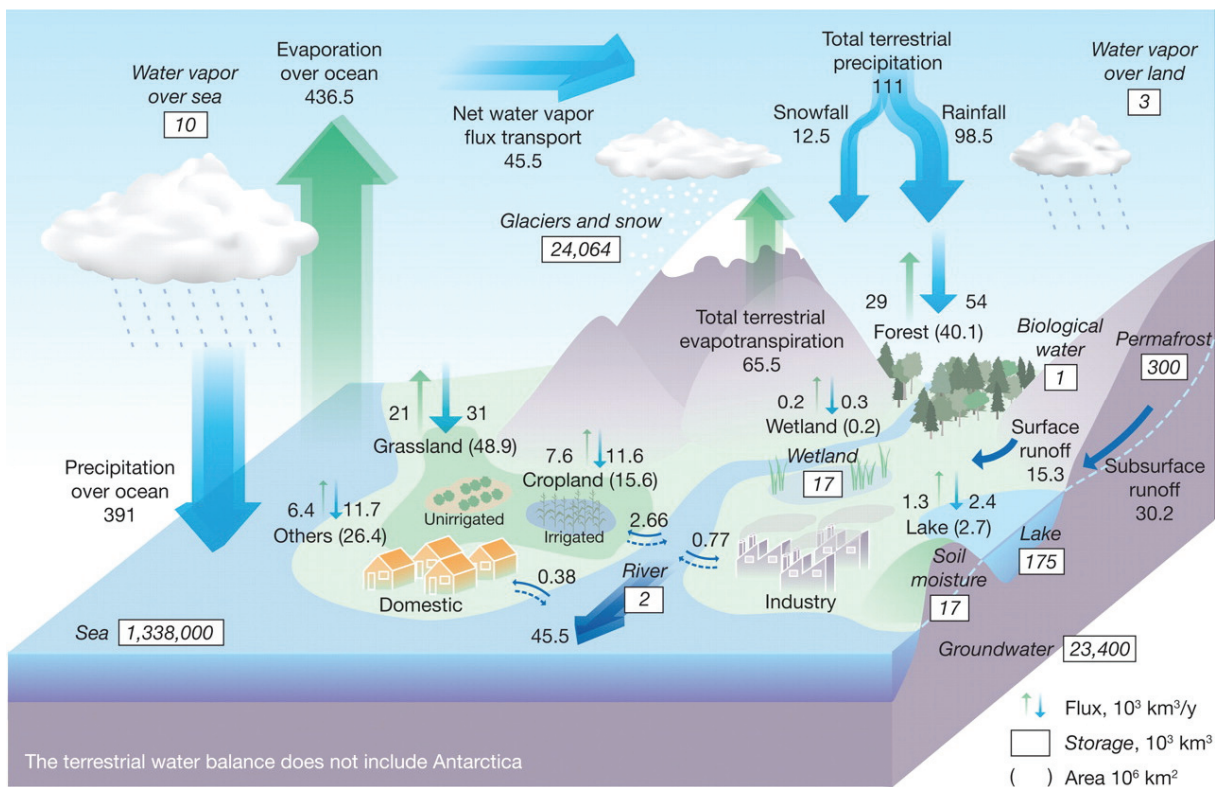
- ISO
- The CEO WATER MANDATE
- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative
- Global Reporting Initiative (GRI)
- Alliance for Water Stewardship
- WaterSense (U.S.EPA)
- Global Water Tool (WBCSD)
- Water Stewardship Initiative
- Aquawareness
- GEMI Water Sustainability Tool (yrityskohtainen)
- GEMI Water Sustainability Planner (tuotantolaitoskohtainen)
- Water Footprint Network (WFN)
- Water Neutral
- The Nature Conservancy

Vuoden 2009 lopulla aloitettiin ISO/PWI 14046 standardin valmistelu vesijalanjäljen laskennalle LCA -standardeihin pohjautuen. Alustavaa valmistelua tapahtuu ISO/TC 207 alakomitean SC 5 (*Life cycle assessment*) asettamassa työryhmässä WG 8 (*Water footprint*) ainakin vuoden 2011 loppuun. Suomesta työryhmään osallistuu VTT. Muita jäseniä on noin 40. Aloite ISO standardien valmistelusta on yleensä lähtöisin teollisuudesta, mutta valmistelussa on mukana teknisiä asiantuntijoita eri tahoilta. Työryhmän puheenjohtaja esittelee työn yleisiksi tavoitteiksi harmonisoida teollisuuden ja vesijalanjäljen arviointia toteuttavien toimijoiden arviointimenettelyjä ja raportointia. Laskentaa käsitellään tuotteiden, prosessien ja organisaatioiden näkökulmasta. Useimpia muita Humbertin listaamia aloitteita käsitellään myöhemmin tässä raportissa.

2 Ravinnontuotanto ja monitahoinen globaali vesikriisi

Mikään yksittäinen mittari tuskin voisi kuvata vesivarojen kulutuksen kestävyyttä elintarvikesektorilla kovin kattavasti globaalin vesikriisin monitahoisuudesta johtuen. Vesivarojen kulumisella on erilaiset kasvot eri puolilla maailmaa. Tämä on merkittävä haaste elintarvikkeen koko arvoketjun kestävyysarvioimisessa.

Hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli toteaa viimeisimmässä raportissaan (IPCC 2007), että kuivuushaitoista kärsivien alueiden pinta-alat todennäköisesti laajenevat ja toisaalta rankat sateet, joiden esiintymistiheys kasvaa suurella todennäköisyydellä, pahentavat tulvariskiä. Jäätiköihin ja lumeen on laskettu varastoituvan suunnilleen saman verran makeaa vettä kuin pohjavesiin (Kuva 1). Jäähän ja lumeen sidotut vesivarastot pienenevät ja tämä vähentää veden saatavuutta seuduilla, jotka saavat vettä merkittävilta vuoristoalueilta. Yli kuudesosa ihmiskunnasta asuu nykyään näillä seuduilla, joihin kuuluu laajoja alueita mm. Aasiassa. Toisaalta jokien keskivirtaamien ja veden saatavuuden ennakoidaan lisääntyvän 10–40 % korkeilla leveysasteilla ja paikoin kosteassa trooppisissa.



Kuva 1. Globaali terrestrinen vesitase (Oki ja Kanae 2006). Veden varastot ja vuosittaiset virrat sekä maankäyttöluokkien pinta-ala, jolle sadanta ja haihdunta kohdistuvat.

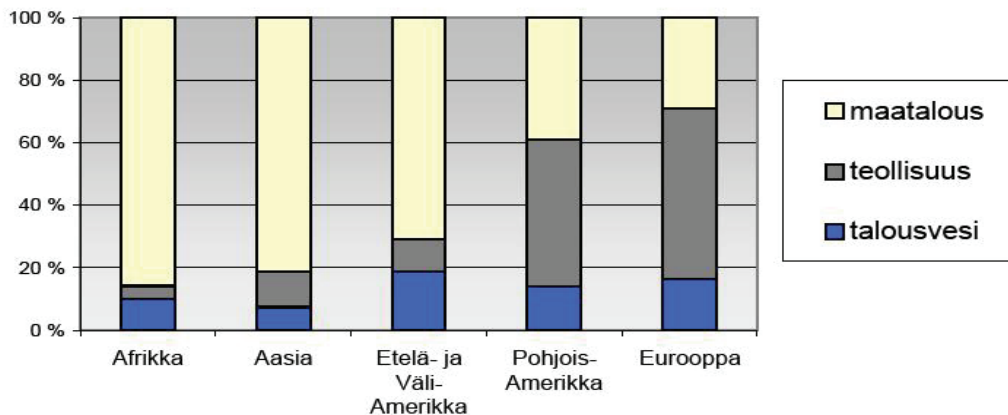
Veden varannot (*Storage*) tasapainottavat suuria ajallisia ja paikallisia vaihteluita sadannassa ja muissa vesivirroissa. Maaperän vesivarannon (*Soil moisture*) hallinta on kiinteä osa kasvinviljelyä. Pinta- ja pohjavesivarastojen hyödyntämiseksi tarvitaan usein teknisesti vaativia ratkaisuja, kuten erillisiä kastelujärjestelmiä pumppuineen. Paikoin veden laatu ei myöskään riitä käsittelemättömänä ravinnontuotantoon. Esimerkiksi suoloja voidaan poistaa vedestä tehokkaasti, mutta yleisimmin käytössä olevat tekniikat ovat energiantensiivisiä (Vince *et al.* 2007) ja siksi suhteellisen kalliita. Suolanpoistolaitokset sijaitsevat yleensä meren ääressä, mistä makea vesi on vielä kuljetettava käyttäjille.

Vähäinen keskilämpötilan nousu voi paikoin myös lisätä kasvien satoa. Pohjois-Euroopan satotasojen arvioidaan yleisesti kasvavan ja Etelä-Amerikassa arvioidaan soijasatojen kasvavan lauhkealla vyöhykkeellä (IPCC 2007). Myös Pohjois-Amerikassa arvioidaan sadantaan perustuvan maatalouden hyötyvän kohtuullisista muutoksista, mutta eri seutujen välillä on suurta vaihtelua. Kaikkiaan sadantaan perustuva maatalous on tulevaisuudessakin tärkeä tukipilari globaalissa ravinnontuotannossa. Vihreän veden merkitystä vesivarojen kestävässä hallinnassa nostetaan esiin myös laajan kansainvälisessä raportissa, joka käsittelee ravinnontuotantoa ja vesikriisiä (*Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Raportti ja siitä koottu 40-sivuinen tiivistelmä ovat saatavilla Internetissä: <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/Publications/books.htm>)

Edellä mainitussa raportissa päädytään joukkoon positiivisia, uhkaavia ja ristiriitaisia tulevaisuuden näkymiä. Uhkaavia näkymiä liittyy erityisesti ilmastonmuutokseen. Paikallisesti tästä on seurauksena äärevien olojen, kuten rankkasateiden ja pitkien kuivuusjaksojen lisääntymistä. Tämä on suuri haaste maatalouden kestävyydelle, niin kosteilla kuin kuivuudestakin kärsivillä alueilla. Kirjoittajat uskovat, että maaperään varastoituneen sadeveden eli ns. vihreän veden merkitys nousee taas sinisen veden rinnalle vesivarojen hallinnassa. Myös eri intressejä integroivat näkökulmat vahvistuvat vesivarojen hallinnassa. Raporttiin on kerätty trendien kuvaamiseksi laaja joukko erilaisia vesivarojen käyttöön ja veden kulutukseen liittyviä mittareita. Veden kulutusta kuvaava mittari on mm. globaali veden kuluminen kasvien haihduntaan viljelymailla, jonka ennustetaan lähes kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä nykyisestä (Katso kuva 1. Oki & Kanae 2006: *Cropland 7,6 cubic kilometers*). Positiivisena trendinä pidetään mm. elintarvikkeiden globaalien kaupan lisääntymistä, joka pitää sisällään virtuaalisen veden siirrot vesipulasta kärsiville alueille.

Globaalia ravinnontuotannon merkitystä makean veden ja energian kulutuksen kasvussa on pohtineet monet tahot, todetaan mm. australialaisten ja pakistanilaisten vesijalanjälki-tutkimuksissa (Khan & Hanjra 2009, Khan *et al.* 2009). Kastelu on erittäin merkittävä energiankuluttaja monissa maatalousvaltaisissa maissa. Esimerkiksi Intiassa kasteluveden pumppaus on muodostanut kolmasosan energiankulutuksesta (Kumar 2005). Tällaisissa maissa energiapolitiikallakin on merkittävä vaikutus kastelun toteutumiseen ja kestävyYTEEN. Useissa globaaleissa mallilaskelmissa on arvioitu, että noin 80 prosenttia maailman viljellyistä alueista on sadeveden varassa (Hoff *et al.* 2010) ja tuottaa mahdollisesti 60 prosenttia kaikesta ravinnosta. Loput tuotetaan keinokastelun avulla. Keinokastelun on arvioitu vastaavan noin 70 prosentista makean veden ottoa maailmanlaajuisesti, teollisuuden ja talousveden otton jakaessa lopun 30 prosenttia. (Khan & Hanjra 2009). Nämä veden käyttäjien osuudet vaihtelevat jyrkästi eri alueilla (Kuva 2). Samoin vaihtelee sadeveden ja toisaalta kastelun varaan perustuva maataloustuotannon osuus eri puolilla maailmaa (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007, sivu 7/kartta 1: *Regional variation in evapotranspiration in rainfed and irrigated agriculture*).

Maatalouden osuus keskimäärin 70 % veden käytöstä maailmalla



Kuva 2. Maatalouden, teollisuuden ja talousveden osuus veden käytöstä eri alueilla. Lähde: FAO. 2009. AQUASTAT database. <http://www.fao.org/nr/aquastat>

Energiapolitiikan kytkeä ravinnontuotannon vesien hallintaan on pohdittu myös globaalissa arviointiraportissa (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007). Raporttiin on kerätty trendien kuvaamiseksi laaja joukko erilaisia vesivarojen käyttöön ja veden kulutukseen liittyviä mittareita. Veden kulutusta kuvaava mittari on mm. globaali veden kuluminen kasvien haihduntaan viljelymailla, jonka ennustetaan lähes kaksinkertaistuvan vuoteen 2050 mennessä nykyisestä (Katso kuva 1. *Cropland 7,6 cubic kilometers*). Arvioinnissa päädytään joukkoon positiivisia, uhkaavia ja ristiriitaisia tulevaisuuden näkymiä. Uhkaavia näkymiä liittyy erityisesti ilmastonmuutokseen. Paikallisesti tästä on seurauksena äärevien olojen, kuten rankkasateiden ja pitkien kuivuusjaksojen lisääntymistä. Tämä on suuri haaste maatalouden kestävyydelle, niin kosteilla kuin kuivuudestakin kärsivillä alueilla. Kirjoittajat uskovat, että maaperään varastoituneen sadeveden eli ns. vihreän veden merkitys nousee taas sinisen veden rinnalle vesivarojen hallinnassa. Myös eri intressejä integroivat näkökulmat vahvistuvat vesivarojen hallinnassa. Positiivisena trendinä pidetään mm. elintarvikkeiden globaalin kaupan lisääntymistä, joka pitää sisällään virtuaalisen veden siirrot vesipulasta kärsiville alueille.

Lundqvist *et al.* (2008) nostavat esiin veden kulutuksessa mm. ruokaturvan, ruokavalion kasvis- tai lihapainotteisuuden ja hävikin merkityksen sekä edellä mainitut ilmastonmuutoksen tuomat haasteet. Lisäksi kirjoittajat kuvaavat tiiviissä raportissaan seuraavat, yleisesti esitetyt näkökulmat nykyiseen globaaliin vesikriisiin:

- Niukkuudesta aiheutuva kilpailu vesivaroista maatalouden ja muiden toimijoiden välillä
- Niukkuudesta aiheutuva ekosysteemien köyhtyminen
- Niukkuudesta aiheutuva kilpailu ravinnontuotannon, bioenergian ja muun non-food tuotannon välillä

Ravinnontuotannon välittömän veden käytön vähentäminen ei riitä tulevaisuuden haasteiden edessä, vaan tarvitaan laajempaa keinovalikoimaa sopeutumiseen. Rockström *et al.* (2009) arvioivat miten monet maat pystyisivät edelleen, ilmaston muuttuessa, vuonna 2050 tuottamaan kasvaneelle väestölleen 3000 kilokalorin päivittäisen ruokavalion, joka koostuu 20 % eläinperäisestä ja 80 % kasviperäisestä ravinnosta. He päätyvät ennusteeseen, jonka mukaan kolmasosa väestöstä asuisi vesirikkaissa maissa missä tällainen ravinnontuotanto olisi mahdollista. Suurin osa valtioista kärsisi jonkinasteisesta veden niukkuudesta ja jopa yli puolet väestöstä asuisi vakavan vesistressin alueilla. Tällaisia vesistressin alueita olisi mm. Kiinassa, Intiassa, Iranissa ja Pakistanissa.

Rockström *et al.* (2009) ennuste on huolestuttava. Taustalla on osaltaan maapallon väestönkasvun keskittyminen. Kummum *et al.* (2010) tutkivat fyysiseen veden niukkuuteen vaikuttavia tekijöitä useiden satojen vuosien aikana. Heidän tuloksensa osoittivat väestön määrän vaikuttavan nelinkertaisesti veden saatavuuteen verrattuna ilmaston muutoksen aiheuttamaan veden niukkuuteen. Maapallolla on nyt alueita,

joilla perinteiset tavat lisätä veden saatavuutta, kuten pohjavedenotto tai virtaavien vesien patoaminen, eivät enää riitä.

Ruotsalaiset tutkijat ovat (Falkenmark *et al.* 2009) arvioineet myös eri sopeutumiskeinojen mahdollisuuksia vähentää ravinnontuotannon vesipulaa pitkällä aikavälillä veden niukkuudesta kärsivillä alueilla ja toisaalta mahdollisuuksia lisätä ylijäämää suhteellisen vesirikkaissa maissa. Merkittävin vaikutus olisi maataloustuotannon vesitehokkuuden lisäämisellä – enemmän ravintoa pienemmällä vesimäärällä (2200–2800 km³ vuosittainen kompensatio laskennalliseen 5500–7500 km³ veden puutteeseen vuonna 2050). Muuta tarkastellut keinot tuottaisivat selvästi vähäisemmän vaikutuksen: kastelun lisääminen, pysyvien laidunten hyödyntäminen sekä elintarvikkeiden tuonti ja vienti. Viimeisenä keinona nämä tutkijat näkevät viljelyalueiden laajentamisen aikaisemmin muokkaamattomalle maalle. Tähän arvioidaan päädyttävän vielä hyvin laajoilla alueilla esimerkiksi Afrikassa ja Aasiassa.

Kastelun lisäämismahdollisuudet ovat monesta syystä rajalliset. Kasteluista alueista noin 10–20 prosenttia kärsii maaperän suolaantumisesta, vedellä kyllästymisestä, maan rakenteen heikkenemisestä tai pohjaveden pinnan pysyvästä alenemisesta niin, että sadot ovat heikentyneet. Kasteluun käytetään useissa maissa myös erittäin hitaasti uusiutuvia pohjavesivarjoja tai hyvin energiantensiivisen prosessin avulla puhdistettua merivettä. Valtavan kasvubuumin jälkeen, huippu 1978, koko kastelusektori on supistunut. Lähes ¾ kastelusta viljelyalueesta on kehitysmaissa, joissa sen kehittämiseen ei ole ollut riittäviä resursseja. (Khan & Hanjra 2009).

EU-maissa keinokastelun ruuan tuotantopinta-ala on viime vuosina kasvanut, samoin ovat kasvaneet kasteluun kulutetut vesimäärät eteläisessä Euroopassa ja Turkissa (EEA 2009). Ilmastonmuutos ja tuotannon keskittyminen tietyille alueille on useassa Euroopan maassa tuonut haasteita veden käytölle. Maatalouden asema makean veden ottajana vaihtelee suuresti. Maatalouden osuus tilastoidusta vedenotosta oli vuonna 2000 vain noin 3 prosenttia pohjoisessa Euroopassa. Tämän, pääasiassa kasteluun liittyvän vedenoton arvioidaan edelleen vähenevän mm. kasvukauden sadannan lisääntymisen myötä. Suomessa kasteluun käytetään suhteessa vielä vähemmän vettä (Taulukko 1). Eteläisessä Euroopassa laskennallisen kastelun tarpeen ennustetaan lisääntyvän 14 prosenttia vuoteen 2030 mennessä ja kastelun viljelyalueen ennustetaan laajenevan jopa 27 prosenttia. Kastelutekniikan kehittäminen kompensoi osin tätä kehitystä. (Dworak *et al.* 2007).

Taulukko 1. Keinokastelun indikaattoreita ja vertailutietoja Suomesta, Tanskasta ja Espanjasta. Lähde: Dworak *et al.* 2007.

Indikaattori	Suomi (2003)	Tanska (2003)	Espanja (2002)
Kastelulaittein varustettu ala, ha	103 800	476 000	3 020 458
Kasteltu ala, ha	64 000	447 000	3 020 458
Maataloustuotannon ala, ha	2 219 000	2 676 000	16 174 000
Kastelun alan suhde koko maataloustuotannon alaan	2,9 %	16,7 %	12,4 %
Maatalouden vedenotto, x10 ⁹ m ³ /vuosi	0,05093	0,1564	18,0892

Myös mahdollisuudet veden säästämiseen vaihtelevat alueittain, todetaan veden säästöpotentiaalia selvittäneessä raportissa. Teknologian muutosten arvioidaan jatkossa vaikuttavan hyvin vähän maataloussektorin vedenkulutukseen (alle 1 %). Teknologiaa tärkeämpinä muutostekijöinä nähdään mm. väestön määrän ja elintapojen muutokset, ilmastonmuutos, teollisuuden (ml. elintarviketeollisuus) tuotantovolyymit, jäähdytyksen tarve energiantuotannossa, maatalouden ympäristöpolitiikan muutokset ja maataloustuotannon rakenne, biomassan tuotantopolitiikka sekä matkailu. (Dworak *et al.* 2007).

Uusiutumattomat pohjavesivarat

Ilmastoltaan kuivilla alueilla joudutaan käyttämään myös erittäin hitaasti uusiutuvia pohjaveden esiintymiä, joita on kutsuttu myös lempinimellä fossiiliset pohjavesivarat. Hyvin hitaasti uusiutuvien vesivarojen kestävään hallintaan on paneuduttu esimerkiksi UNESCO:n kansainvälisen hydrologiaohjelman (IHP) ja Maailmanpankin tuella laaditussa raportissa: *Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially –sustainable management for water-policy makers* (UNESCO 2006a). Raportissa käytetään termiä uusiutumaton pohjavesivara, joka määritellään esiintymän (akviferin) nykyisen niukan vuosittaisen uusiutumisen ja toisaalta merkittävän koon perusteella. Luonnossa uusiutumisaika voi vaihdella isoilla pohjavesiesiintymillä jopa 10 ja 100 000 vuoden välillä, mutta täysin uusiutumaton pohjavettä ei ole. Lisäksi akviferin eri osissa ja eri syvyyksillä veden kiertoaika voi vaihdella ja usein niin, että syvimmissä kerroksissa on vanhinta vettä. Fossiilinen pohjavesi rajataan tarkoittamaan vettä, joka on suotautunut maaperäkerrosten läpi esiintymäänsä vähintään tuhat vuotta sitten, usein nykyisestä eroavissa ilmasto-oloissa.

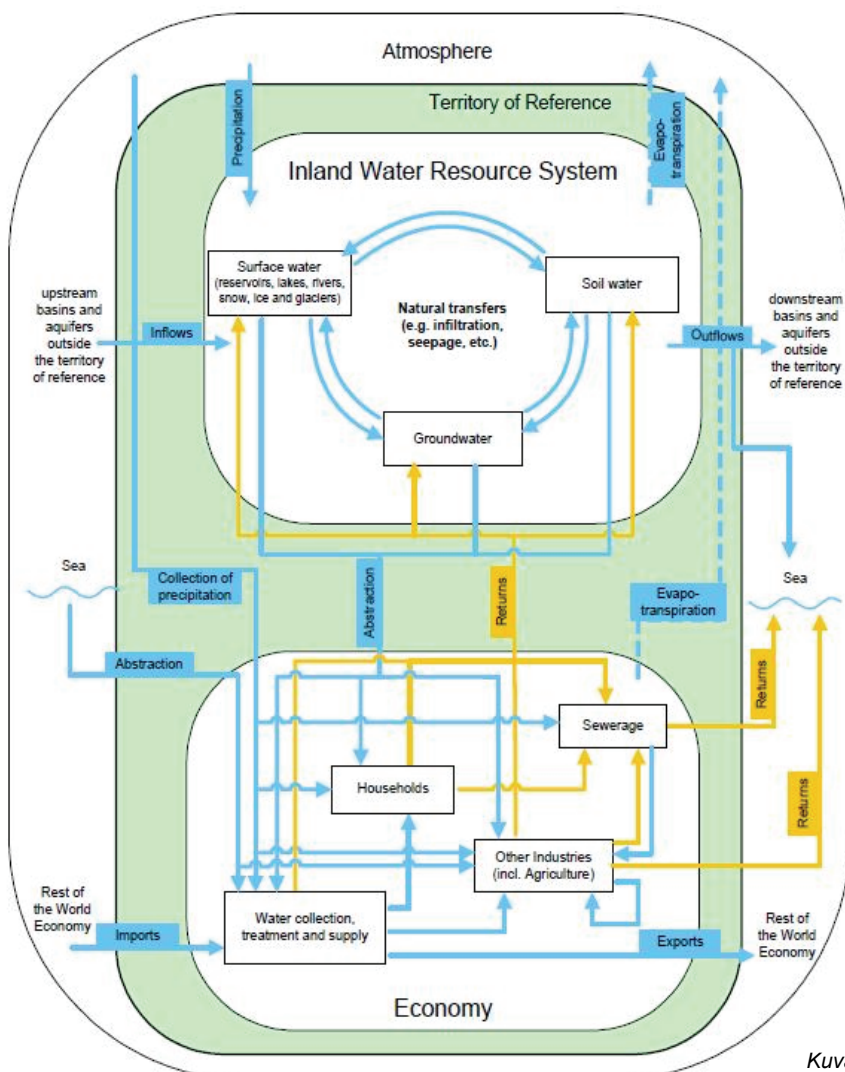
UNESCO:n raporttiin on koottu merkittävimmät uusiutumattomien pohjavesivarojen esiintymät, joita hyödynnetään. Nämä sijaitsevat Afrikassa, Arabian niemimaalla, Lähi-idässä ja Australiassa. Suurimmat laskennalliset vesivarat (14 460 000 Mm³) tässä listassa esiintyvät Nuubian hiekkakivialueella, joka ulottuu Egyptin, Libyan, Sudanin ja Tsadin alueille. Listan pienimpiä esiintymiä edustaa Murzukin alue Algerian, Libyan ja Nigerin alueella (60–80 000 Mm³). Esiintymille on arvioitu myös vuosittainen vedenoton määrä, joka ylittää 150 Mm³ (1,5 km³) kaikilla listan alueilla. Ilmastoltaan kosteammilla alueilla käytetään myös uusiutumattomia pohjavesivaroja, mutta niiden merkitys on yleensä huomattavasti vähäisempi. Arktisilla alueilla ikirouta hidastaa paikoin merkittävästi pohjavesien uusiutumista ja on luonut edellytykset iältään vanhoille pohjavesiesiintymille.

3 Vesitilastot

Tilastoja ei perinteisesti käytetä tuotekohtaiseen ympäristövaikutusten tarkasteluun. Tilastotiedot ovat kuitenkin tärkeitä vertailukohteita tuotekohtaiseenkin arviointiin. Lisäksi tilastointia ohjataan tarkoilla tiedonkeruun ohjeilla, jotka muodostavat yhdenlaisen standardin käsitteille ja niiden tietorajauksille. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan uudesta kansainvälisestä vesitilastoinnin suosituksesta rajauksineen ja käsitteineen sekä poimitaan Suomen elintarviketeollisuuden näkökulmasta kiinnostavia vesitilastoja referenssiksi.

3.1 Kansainvälinen vesitilastoinnin suositus

Kansainvälisellä tasolla EU:n, OECD:n ja YK:n piirissä on runsaan kymmenen viime vuoden aikana kehitetty valtioiden ympäristötilinpitojärjestelmiä, joissa luonnonvaroja, niiden käyttöä ja palautumista ympäristöön kuvataan systemaattisesti. Yksi näistä on ohje (IRWS) vesitilastoinnin harmonisoimiseksi ja kansantalouden tilinpidon kehittämiseksi. IRWS sisältää esimerkiksi tarkkaa veteen liittyvien käsitteiden ja tilastointiyksiköiden määrittelyä ja suosituksia kerättävistä tiedoista. Käsitteiden määrittely perustuu ns. SEEA-Water viitekehykseen (Kuva 3), jota on koostettu YK:n ja ns. *London Group on Environmental Accounting* -verkoston johdolla. Ohjeiden noudattaminen helpottaa tulevaisuudessa eri maiden vesitilastojen ja niistä tuotettujen indikaattorien, kuten vesijalanjälkien vertailua (International recommendations for water statistics (IRWS) 2010).



Kuva 3. SEEA-Water käsitteellisen viitekehyksen pääpiirteet.

IRWS tilinpitojärjestelmässä ajatuksena on kuvata kaikki fyysiset veden varannot ja virrat ympäristössä sekä osin myös niiden rahalliset arvot, virrat ympäristöstä talouteen (vedenotto) ja toisaalta vesivaroitukset ja -virrat talouden sisällä (veden käyttö) sekä vesivirrat taloudesta ympäristöön (veden palautuva virta). Veden kulutus käsitetään tässä vesitilastoinnin ohjeessa eri tavoin kuin perinteisissä valtioiden veden käyttöä kuvaavissa tilastoissa. Tavoitteena on kuvata kulutuksena sitä veden määrää, joka häviää taloudessa vettä käytettäessä niin, ettei se palaa vesiresurssiksi. Näin tapahtuu, kun vesi sitoutuu tuotteisiin, haihtuu tai kuluu kotitalouksissa tai kotieläintuotannossa. Vedenotto sisältää oton sisävesistä, meristä ja sadevettä keräämällä.

Ohje kattaa kaikki sisävedet, myös suolaisuudeltaan murtovesiksi tai suolavesiksi luokitellut vedet sekä pilaantuneet vedet. Merivesi huomioidaan vain, jos sitä otetaan käyttöön maaympäristöön esimerkiksi lauhdevedeksi tai suolanpoistolaitokseen. Sisävedet on luokiteltu varantoihin (*stocks*) ja virtoihin (*flow*). Varantoja ovat pintavedet, pohjavesi ja maaperän vesi (*soil water*). Ohjeessa todetaan, että maaperän vettä kutsutaan joskus myös vihreäksi vedeksi maataloustuotannon yhteydessä. Vihreä vesi viittaa laajalti ymmärrettynä käsitteenä myös veden virtaan sadannasta maaperään ja sieltä maa- ja metsätalouden kautta ilmakehään tai tuotteisiin. Maaperän vettä ei nähdä täysin välttämättömänä tilastoinnin yksikkönä, koska tietojen kerääminen on hyvin vaativaa jo menetelmällisten vaikeuksien vuoksi.

Vesijalanjäljen laskennassa tärkeä evapotranspiraatio on mukana myös tässä ohjeessa. Tavoitteena on kerätä tietoa todellisesta evapotranspiraatiosta, ei potentiaalisesta haihdunnasta. Kasvien kautta haihtuva vesi (transpiraatio) suositellaan otettavaksi mukaan tilastointiin, jos kerättyä tietoa on saatavilla, samoin eläinten ja ihmisten hengityksestä vapautuva vesihöyry. Ohjeeseen ei ole laadittu suosituksia makeiden vesien laadun, juomavesien, vesioikeuksien tai tuotteissa olevan veden tilastoinnista. Syynä tällaisiin puutteisiin IRWS ohjeistuksessa on yleensä riittämätön yksimielisyys menettelyistä kansainvälisillä foorumeilla tai valmiin ohjeistuksen saatavuus muualta.

Esimerkkejä globaaleista toimijoista ja aineistoista

Globaalia vesiraportointia ja tilastoidindikaattoreita YK:n linjan mukaisesti kehittäneitä tahoja tai systeemejä:

- FAO Aquastat
- OECD/Eurostat Joint Questionnaire on the State of the Environment /Section 'Inland Waters'
- UNICEF Multiple Indicator Cluster Survey (MDG indikaattorit)
- UNSD/UNEP Water Questionnaire
- WHO Global Annual Assessment of Sanitation and Drinking Water
- World Bank IB-NET
- WWAP (YK:n kooste saatavilla olevasta tiedosta)

FAO tilastoi erityisesti globaalia maatalouden ja ravinnontuotannon veden käyttöä perustuen pääosin valtioiden toimittamiin tilastotietoihin. Yhteensä 138 valtiosta ja 5 viidestä muusta alueesta Afrikassa, Aasiassa ja Latiinalaisessa Amerikassa on tuotettu vesivaroja ja veden käyttöä kuvaava profiili. Vesivaroja koskevien tietojen todellinen sisältö, ajantasaisuus sekä luotettavuus vaihtelevat paljon. Esimerkiksi keinokasteluun voidaan käyttää merkittäviä määriä vettä, joka ei näy valtakunnallisissa tilastoissa.

FAO kokoaa erilaisia tilastoidindikaattoreita kuvaamaan mm. uusiutuvien vesivarojen määrää asukasta tai maa-alueetta kohden. Tärkeä mittari on *MDG (Millennium Development Goal) Water Indicator*, joka kokoaa tiedon kaikista uusiutuvista makean veden varoista valtioittain sekä tilastot otetuista vesimääristä. Mittarissa on mukana pintavesien lisäksi myös uusiutuvan pohjavesivaroituksen käyttö.

Globaaleja tilastoja käytetään erityisesti kansainvälisten organisaatioiden työssä. Tilastoista muodostetut, paikkaan sidotut karttapohjaiset indikaattorit ovat niille tärkeitä viestinnän välineitä. Esimerkiksi saksalaisten tukema GWSP (*Global Water System Project*) on koostunut sähköisen

vesiatlaksen nettiportaaliinsa. Portaalissa voi katsella ja sieltä voi ladata 70 erilaista kartalle kuvattua vesi-indikaattoria (<http://atlas.gwsp.org/index.php>). Mukaan on otettu myös globaaleja piiloveden virtoja ja valtioiden vesijalanjälkiä kuvaavia indikaattoreita, jotka on alun perin tuotettu seuraavissa hollantilaisissa tutkimuslaitoksissa: UNESCO-IHE *Institute for Water Education* tai Twenten yliopisto.

3.2 Suomalaiset vesitilastoissa

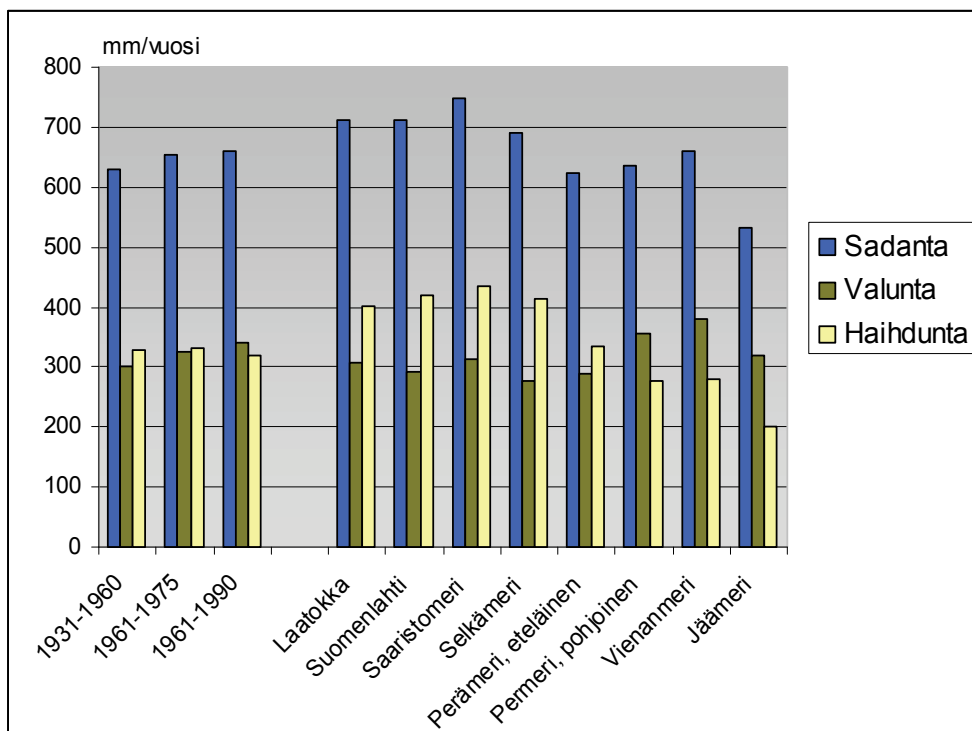
Viimeksi Suomesta on viety FAO Aquastat tilastoihin¹ keskimääräisen vuosisadannan määräksi 536 mm ja sadannan kokonaistilavuudeksi 181,3 kuutiokilometriä ($\times 10^9 \text{ m}^3$). Tuolloin kaikista Suomen vuosittain uusiutuvista makean veden varoista tilastoitu vedenottomme oli vain 1,458 prosenttia. Taulukkoon 2. on poimittu vertailua varten myös Intian ja Egyptin tiedot. Makean veden varamme ovat asukasta kohden valtaisan näihin maihin nähden, samoin vuosittaiseen tilastoituun vedenottoon verrattuna. Olemme myös itsenäisiä vesivarojen suhteen, koska vain murto-osa kaikista käytettävissä olevista makean veden varoistamme on peräisin toisen valtion alueelta.

Todellisuudessa sadanta vaihtelee vuosittain ja Suomen sisälläkin sadanta vaihtelee noin 450–750 mm eri alueiden välillä. Kokoonsa nähden Suomi on kuitenkin hydrologisessa mielessä suhteellisen homogeeninen maa. Eteläisessä Suomessa sekä sadanta että haihdunta on aavistukseen suurempaa kuin pohjoisimmassa Suomessa. Haihduntaan päätyy 37–59 prosenttia sadannasta, osuuden kasvaessa pohjoisesta etelään. Viimeisen sadan vuoden aikana sekä sadanta että valunta ovat hieman kasvaneet Suomen alueella (Kuva 4). Suomelle on laskettu muutaman kerran pitkiin aikasarjoihin perustuvia hydrologisia vesitaseita, joiden perusteella saadaan arvio mm. vuosittain maa-alueille satavasta vesimäärästä sekä sadannan jakautumisesta valuntaan ja haihduntaan. Viimeisin mittauksiin perustuva laskelma on tehty vuosille 1961–1990. Tämän jälkeen laskentaan on käytetty enemmän malleja. Vuosien 1961–1990 perusteella keskimääräinen sadanta 337 041 neliökilometrin alueellemme oli 660 mm/vuosi. (Hyvärinen *et al.* 1995, Hyvärinen 2008).

¹ http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/factsheets/aquastat_fact_sheet_fin_en.pdf

Taulukko 2. Suomen, Intian ja Egyptin tiedot FAO:n vesivaroja ja niiden käyttöä kuvaavassa mittarissa: Millennium Development Goal, Water Indicator (www.fao.org/nr/water/aquastat). Eri osatekijöitä kuvaavat tilastot voivat olla peräisin eri vuosilta.

Valtio	Väestö 1000 asukasta (v. 2006)	Vuosi-sadannan pitkäaikainen keskiarvo mm/ vuosi	Maan sisäiset vesivarat (IRWR) km ³ /vuosi (2006) = pintavesivarojen tuotto kuutiokilometreinä /vuosi + pohjavesivarojen tuotto/vuosi – päällekkäisyys pinta- ja pohjavesivarojen tuottolaskelmassa	Kaikki uusiutuvat vesivarat TARWR (mukana suoraan ulkomailta virtaava vesi, ei piilovettä)
Suomi	5 261	550	107 + 2 – 2 = 107	110
Intia	1 151 571	1 100	1 222 + 419 – 380 = 1 261	1 897
Egypti	74 166	50	1 + 1 – 0 = 2	57
	Riippuvuus ulkomaisista vesivaroista %		Uusiutuvat vesivarat (TARWR) asukasta kohden m ³ /vuosi (2006)	Vedenoton suhde kaikkiin käytettävissä oleviin, vuosittain uusiutuviin vesivaroihin
Suomi	3 %		20 908	2 %
Intia	34 %		1 647	34 %
Egypti	97 %		773	95 %



Kuva 4. Suomen vesitaseen vaihtelu kolmena eri aikakautena (Hyvärinen 2008) sekä eri purkausvesistöille jaoteltuna vuosina 1961–1990 (Hyvärinen et al. 1995).

3.2.1 Elintarviketeollisuus

Elintarviketeollisuudessa vettä käytetään suhteellisen suuria määriä pesuihin, prosesseihin, laitteiden puhdistukseen ja lämmönsiirtoon sekä tietysti myös osana tuotteita. Euroopan Unionissa elintarvikkeiden tuotannolle on asetettu tiukat hygieeniset vaatimukset, jonka seurauksena käyttöveden laatuun on

kiinnitetty paljon huomiota. Laatuksiteereinä on käytetty pääosin juomavesidirektiivin nojalla asetettuja kriteereitä. Elintarviketeollisuudessa, kuten muussakin teollisuudessa veden säästöön on yleensä motivoiduttu jätevesipäästöjen vähentämisen yhteydessä. Myös ISO 14001 sertifiointi tai erilaiset ympäristömerkinnät ovat vaikuttaneet teollisuuden aktiivisuuteen veden säästämisessä (Dworak *et al.* 2007).

Tilastokeskuksen kokoaman ympäristötilaston (2011) perusteella Suomessa teollisuuden vedenotto oli noin $7,6 \times 10^9$ kuutiometriä vuonna 2009. Tästä noin 75 prosenttia otettiin merestä, lähinnä lauhdutukseen. Tuotannonaloista elintarviketeollisuus otti eniten makeaa vettä pohjavedenottamoilta ja kunnan vesilaitoksilta. Elintarviketeollisuusliiton (ETL) kyselyyn vuonna 2009 vastanneissa 38 jäsenyrityksessä jäähdytysveden osuus oli yli 40 % veden käytöstä. Jäähdytysveden lisäksi mukaan laskelmiin otettiin suoraan tuotteisiin ja prosesseihin käytetty vesi ja saniteettivedet. Samana vuonna tuotettujen jätevesien määrä oli noin 90 % otetusta veden määrästä. Tässäkin jätevesimääriä kuvaavassa luvussa on mukana jäähdytysvedet. Kyselyn yritysten vedenotosta merkittävä osa oli peräisin kunnan vesilaitokselta (34 %). Lisäksi vettä otettiin omasta pohjavedenottamosta (20 %), pintavesistä (12 %) tai tekoaltaasta (1 %). Vuosina 2004–2009 ETL:n jäsenyritysten veden käyttö tuotettua tonnia kohden oli vähentynyt viidestä kuutiometrillä tuotetonna kohden 4,3 kuutiometriin (Vainikainen 2010).

3.2.2 Alkutuotanto

Kotieläintuotannossa ja kasvintuotannossa voidaan hyödyntää pieniä määriä oman kiinteistön kaivovettä myös ilman vesilain tarkoittamaa lupaa veden hankkimiseksi. Tämä veden käyttö ei ole yleensä mukana tilastoissa. Pohjaveden ottoon tarvitaan lupa, jos kaivosta otetaan säännöllisesti yli 250 kuutiota vettä vuorokaudessa. Pintavesistä voi johtaa tietyin edellytyksin kastelu- ja pesuvesiä ilman lain tarkoittamaa lupaa. Talousveden ottoon pintavedestä on hieman laajemmat oikeudet kuin kastelu- ja pesuvesien ottoon. (Selvitys Suomen kastelutilanteesta – esimerkkialueena Varsinais-Suomi 2003).

Kotimaisessa tutkimuksessa kastelutilanteestamme nostetaan esille vesikriisin kesiä vuosina 1999 ja 2003, jolloin esimerkiksi Varsinais-Suomessa sijaitsevan Raisionjoen vesilaitoksen varastoaltaat tyhjenivät ja laitos joutui siksi turvautumaan käyttörajoituksiin tai kalliisiin veden kaukopumppauksiin. Varsinais-Suomen pelto- tai puutarhamaa-alasta on ollut keinokasteltua noin 6 % ja samalla alueella vuoden 2000 maatalouslaskennan tiloista noin 17,4 % oli hankkinut kastelulaitteita. Koko Suomessa puutarhakasvien viljelyä päätuotantosuuntana harjoittavista tiloista noin 65 prosentilla oli kastelulaitteita. Viljelymaan vesitalouden hallintaan käytetty keinosadetuslaitteiden lisäksi enenevässä määrin tihkukastelua ja säätösalojitusta, johon on saanut EU-tukeakin. Kastelua käytetään myös keväiseen hallantorjuntaan mm. varhaisperunalla, avomaan kurkuilla ja kurpitsoidilla sekä mansikoilla ja herukoilla niiden kukinnan aikaan. (Selvitys Suomen kastelutilanteesta – esimerkkialueena Varsinais-Suomi 2003). MTT:n toteuttaman kyselyn tiloista yli puolella oli ollut vedestä pulaa vuosina 2002 ja 2003 tai aikaisemmin. Saman kyselyn maitotiloilla lehmien juomaveden kulutus oli ollut 1000–10000 l/vrk ja sikatiloilla 2000–8000 l/vrk. Broileritiloilla juomavedenkulutus oli vuorokaudessa 0,2–0,3 l/lintu. Suurimmalla osalla maitotiloista (80 %) lehmillä oli mahdollisuus ulkoiluun. Eläimet joivat yleensä samaa vettä ulkona ja sisällä. Tiloista 15 % käytti eläinten juomavetenä normaalin käyttöveden lisäksi joki-, oja-, meri- tai järvivettä. (Sorvala *et al* 2006).

4 Piilovesi ja vesijalanjälki

4.1 Taustaa

Piilo- tai virtuaaliveden käsite kehitettiin 1990-luvulla kuvaamaan mm. globaalin maataloustuotteiden kaupan vaikutuksia valtioiden makean veden taseeseen. Käsite esiteltiin tutkimuksissa, jotka koskivat elintarvikkeiden tuontia ja vientiä osana Lähi-idän vesikriisin ratkaisua². Taustalla oli myös yleisempää tyytymättömyyttä paikalliseen tai korkeintaan vesistökohtaiseen tarkasteluun niukkojen makean veden varojen kestävässä hallinnassa. Virtuaaliveden idean kehittäjät eivät painottaneet mitään kestävyuden osa-alueita. Virtuaalivesi tarkoittaa tiivistettynä makean veden määrää, joka kuluu tuotteen tai palvelun tuottamiseen koko sen tuotantoketjun aikana. Viljelykasvituotannossa yksikkönä on yleensä kuutio (m³) makeaa vettä/tuotettu tonni.

Vesijalanjäljen konsepti laajentaa ja syventää edelleen virtuaalista veden kulutuksen käsitettä. Konseptin esittelivät ensimmäisen kerran professori Arjen Y. Hoekstra (Twenten yliopisto) ja Pham, Q. Hung (Vietnam) Hollannissa vuonna 2002 (Hoekstra & Hung 2002). Perinteinen tapa tilastoida veden käyttöä (*water use*) eri tuotantosektoreilla nähtiin riittämättömäksi. Haluttiin saada näkyväksi paikallisen kulutuksen vaikutukset makean veden resursseihin muuallakin maailmalla. Makean veden kokonaiskulutuksen arvioinnin lisäksi vesijalanjäljen konsepti pyrkii erottelemaan kulutetun veden lähteet. Erityisen tärkeänä on pidetty sadeveten ja toisaalta kasteluun perustuvan tuotannon tarkastelua erikseen. Kulutettujen vesivarojen luokittelua on myöhemmin laajennettu käsittämään mm. se vesimäärä, joka kuluisi jätevesipäästöjen laimentamiseen hyväksyttävälle tasolle.

Vuonna 2008 perustettiin kansainvälinen verkosto (WFN) tukemaan vesijalanjälki konseptin kehitystä ja markkinointia. WFN verkostolla on parikymmentä rahoitettavaa jäseninstituutiota ympäri maailmaa ja lukuisia muita jäseniä. Verkoston perustajia ovat mm. Maailmanpankki, UNESCO-IHE (Hollanti), Twenten yliopisto (Hollanti), Water Neutral Foundation (Etelä-Afrikka) ja WBCSD (Sveitsi) sekä Kansainvälinen WWF (Sveitsi). Hallinnollisesti WFN verkosto toimii Hollannin lakien mukaisena, voittoa tuottamattomana säätiönä. Kolme suomalaista yrityspartneria oli liittynyt verkostoon 13.6.2011 mennessä. (www.waterfootprint.org > About WFN > Partners > Overview of Partners).

Ensimmäinen käsikirja vesijalanjäljen laskennasta WFN verkoston periaatteiden mukaan julkistettiin marraskuussa 2009 (Hoekstra *et al.* 2009). Varsinainen käsikirja vesijalanjäljen arvioinnista julkaistiin 2011 (Hoekstra *et al.* 2011). Käsikirja tavoittelee kansainvälistä standardia. Siinä määritellään aikaisempaa yksityiskohtaisemmin vesijalanjälkeen liittyviä käsitteitä ja pyritään ohjaamaan koko arviointiprosessia. Käsikirjan laatimiseen on osallistunut hyvin laaja joukko erilaisia organisaatioita ympäri maailmaa, pääosin kuitenkin teollistuneista maista.

Vesijalanjälki konseptia on kuvattu ja vertailtu myös WFN verkoston ulkopuolella useasta näkökulmasta; systeemianalyttisenä menetelmänä veden niukkuusongelmien tarkastelussa (mm. Daniels & McBean, 2009, Siebert & Döll, 2010) inventoinnin ja vaikutusten arvioinnin menetelmänä elinkaaristen ympäristövaikutusten arvioinnissa (katso kappale 5 elinkaarimetodiikoista) sekä yritysten vesikysymysten hallinnan työkaluna (Morrison & Schulte 2010). Vesijalanjälkeä on myös verrattu hiilijalanjälkeen ja ekologiseen jalanjälkeen (Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet 2010, Hoekstra *et al.* 2009).

² Lisätietoa mm. Allan, J.A. 1998. Virtual Water: A strategic resource, global solutions to regional deficits. *Groundwater* 36(4):545-546. tai Allan, J.A. 2003. Virtual Water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor? *Water International* 28(1):106 -113. Virtuaalisen veden käsitteen isä, professori John Anthony Allan Lontoon King's Collegesta palkittiin vuonna 2008 merkittävällä Tukholman vesipalkinnolla.

4.2 Käsitteet

4.2.1 Veden käyttö ja kuluminen

Makean veden kulumista ei voida arvioida samaan tapaan kuin mineraalisten resurssien, koska vesi palaa globaalissa kierrossa jollain aikavälillä takaisin käyttöön sadannan mukana toteavat mm. Milà i Canals *et al.* (2009) artikkelissaan maa-alueilla tapahtuvan makean veden käytön (*off-stream*) arvioimisesta LCA:ssa. Veden käyttöä tapahtuu myös vesiympäristössä (*in-stream*), kun esimerkiksi kuljetetaan tavaraa vesireittiä pitkin. Käsitteet *in-stream* ja *off-stream freshwater use* esitteli Owens (2002).

Milà i Canals *et al.* (2009) ehdottavat veden käytölle kahta erilaista käsitettä, joista toinen sisältää ajatuksen veden kulumisesta. Ensimmäinen käsite, ns. makean veden laatua heikentävä käyttö (*freshwater degradative use*), sisältää sellaisen veden oton, käytön ja purkamisen joka tapahtuu saman vesistö- tai valuma-alueen sisällä ja jossa veden laatu heikentyy kierron aikana. Tätä ensimmäistä käsitettä ovat aikaisemmin rajanneet mm. Pfister *et al.* (2009). Käsiteparin veden kulumista kuvaava käsite olisi ns. makean veden kuluttava käyttö (*freshwater consumptive use*), joka tarkoittaa tietyltä vesistö- tai valuma-alueelta käyttöön otettavaa vettä mikä ei palaudu samalle alueelle. Vesi kuluu haihtumisessa, tuotteisiin sidottuna tai se siirtyy joko toiselle vesistöalueelle tai mereen. Makean veden väheneminen resurssina (*freshwater depletion*) tarkoittaisi nettopoistumaa saatavilla olevista vesivaroista tietyllä vesistö- tai valuma-alueella ja tietyllä aikavälillä (Milà i Canals *et al.* 2009). Vesiresursseja ovat niin fossiiliset pohjavesivarat, kuin vesivirrat ja uusiutuvat vesivarannot. Vähenemistä arvioitaessa on huomioitava vesivarojen uusiutumisenopeus.

Vesijalanjälki konseptissa makean veden kulumisella tarkoitettiin alun perin tietyn, alueellisesti rajatun maa-alueen veden kierrosta poistuvaa vettä rajattuna ajanjaksona. Tämä vastaa pääpiirteissään edellä mainittua käsitettä makean veden kuluttavasta käytöstä. Myöhemmin vesijalanjälkeen on liitetty laskennallinen komponentti, joka kuvaa myös laadun heikkenemisestä aiheutuvaa makean veden kulumista (kts. 3.2.2. harmaa vesijalanjälki). Vesijalanjälkeä ei ole tarkoitettu mittaamaan vaikutuksia, joita seuraa ihmisen muuttaessa veden virtauksia tietyllä alueella (*flow control*). Tarkoituksena on ollut mitata yksinomaan veden kulutusta. Siksi esimerkiksi vesien patoaminen vesivoimaa varten ei sisälly laskelmiin kokonaisuudessaan, vaan kulutuksena lasketaan vain patoaltaasta haihtuva vesi.

Terrestrisestä ympäristöstä peräisin olevissa tuotteissa keskeisin makeaa vettä kuluttava prosessi on biomassan tuotanto. Tuotantoeläimet ja teolliset prosessit kuluttavat yleensä suhteessa niukemmin vettä tuotettua painomäärää kohden kuin kasvien kasvuprosessi. Toisaalta eläimet kuluttavat rehuja yleensä omaan painoonsa nähden moninkertaisen määrän. Useiden elintarvikkeiden vesijalanjäljen laskennassa keskeinen parametri onkin viljeltyjen kasvien kokonaisvedenkulutus niiden biomassan tuotantoon nähden. Merestä tai makeista vesistä peräisin olevilla elintarvikkeilla vesijalanjälki muodostuu toisin, ellei ruokintaan ole käytetty maaympäristöstä peräisin olevaa rehua.

Tarkasteltava ajanjakso on viljelykasveilla yleensä kasvukausi. Ajatuksena on, että ilmaan haihtunut vesi kulkeutuu kauas maa-alueelta, josta se on peräisin eikä näin ole välittömästi käytössä kyseisellä alueella. Laitumilla ja viljelymailla vesi kuluu juuri-varsi-lehti-systeemin kautta haihtumalla (transpiraatio) tai haihtumalla pinnoilta (evaporaatio). Yhdessä nämä muodostavat ns. evapotranspiraation, joka vastaa vesijalanjäljen yhteydessä käytettyä englanninkielistä termiä *evaporative use*.

Merkittävä osa maa-alueen haihdunnan mukana kulkevasta vedestä voi päätyä takaisin valtameriin, jopa 80–90 prosenttia (Milà i Canals ym. 2009). Oki ja Kanae (2006) ovat arvioineet globaalista maa-alueiden sadannasta noin 60 % haihtuvan ilmaan ja 40 % päätyvän lopulta jokien kautta meriin (Kuva 1). Heidän globaalissa taseessaan maa-alueiden haihdunnasta 44 % on peräisin metsistä ja 43 % tapahtuu ravinnontuotannolle tärkeillä alueilla; 32 % laitumilla ja 11 % viljelymailla.

Vesijalanjäljen menetelmiä käyttäen koko maataloustuotannon (ml. ruoka, polttoaineet, tekstiilit) on arvioitu kuluttavan jopa 86 prosenttia globaaleista vuosittaisista makean veden varoista. Veden kuluminen nähdäänkin vesijalanjälki-konseptissa laajemmin kuin vain viljelykasvien haihduntana. Veden kulumista arvioidaan koko tuotteen elinkaaren aikana, jolloin esimerkiksi hävikki on otettava huomioon kaikissa vaiheissa alkutuotannosta kulutukseen.

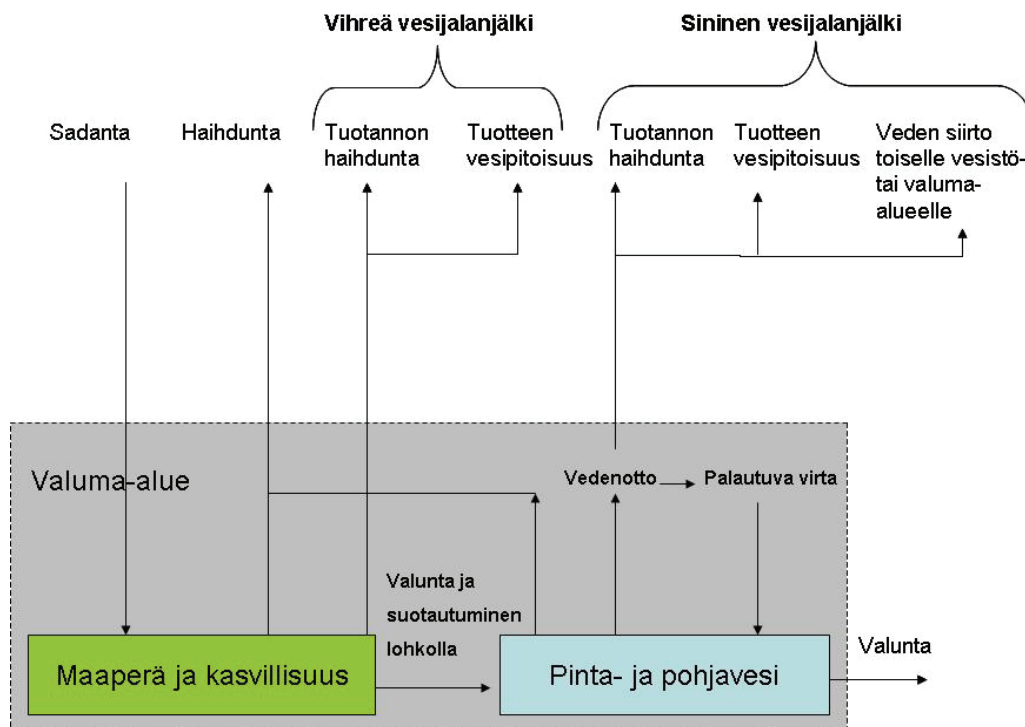
4.2.2 Sininen, vihreä ja harmaa vesijalanjälki

Kulutetun veden lähteenä on joko ns. vihreä vesi, joka on satanut maahan kasvien ulottuville tai ns. sininen vesi. Siniseksi vedeksi kutsutaan nestemuodossa olevaa makeaa vettä, jota ihmiset ottavat käyttöönsä pohjavesiesiintymistä, joista, järivistä ja muista pintavesistä. Perusteellista pohdintaa vihreän ja sinisen veden käsitteistä löytyy esimerkiksi ruotsalaisen professori Malin Falkenmarkin kirjoituksista. Hän toteaa todellisuudessa vihreän ja sinisen veden liukuvan toisikseen, jyrkkää rajaa ei ole. Esimerkiksi kastelussa sinistä vettä käytetään laajalti täydentämään niukkaa sadantaa. Kastelukäytössä osa sinisestä vedestä kuluu kasvien haihdunnassa (consumptive use) ja virtaa haihtuvan vihreän veden rinnalla ilmakehään. Se vihreä tai sininen vesi, mitä kasvit eivät ota juurillaan käyttöön (non-consumptive use), palaa sinisen veden kiertoon suotautumalla syviin maaperän kerroksiin tai valumalla pintavesiin (Falkenmark 2003). Joissain tapauksissa sinisen ja vihreän veden erittely on hyvin tulkinnanvaraista.

Vesijalanjäljen arvioinnin käsikirjassa perustellaan sinisen ja vihreän veden erottelua yleisesti niiden kulutuksen erilaisilla vaikutuksilla hydrologiseen veden kiertoon, ympäristöön ja ihmisiin. Lisäksi pinta- ja pohjavesien käyttö tuotannossa eroaa taloudellisilta vaihtoehtokustannuksiltaan selvästi sadeveteen tukeutuvasta tuotannosta (Hoekstra *et al.* 2011).

Edellä mainittua ”ei-kuluttavaa” vettä ei ole yleensä huomioitu vesijalanjäljen laskennassa. Poikkeuksena on ns. harmaa vesijalanjälki, jota on kehitetty laatua heikentävän vedenkulutuksen mittariksi. Käytön jälkeen sininen vesi palaa kiertoon usein laadullisesti heikennettynä. Ottovesistön tai pohjaveden laadun heikkeneminen rajoittaa saatavilla olevan makean veden määrää.

Kuvassa 5 arvioinnin rajauksia on havainnollistettu valuma-alueen tasolla. Tarkasteltavan valuma-alueen sisällä tapahtuva veden kierto ei ole vesijalanjäljen arvioinnin pääasiallisena kohteena, vaan laskenta perustuu veden virtoihin sisään ja alueelta ulos. Harmaata vesijalanjälkeä ei ole kuvattu samaan kaavioon. Se on laskennallinen suure, jota ei voi mitata samaan tapaan kuin vihreän ja sinisen vesijalanjäljen komponentteja tai valuma-alueen vesitaseen virtoja ja varantoja.



Kuva 5. Vihreä ja sininen jalanjälki osana valuma-alueen vesitasetta. (Lähde: Hoekstra *et al.* 2011)

Perinteisesti yrityksille on asetettu rajoja vesipäästöjen haitallisten aineiden pitoisuuksille. Raja-arvoihin voidaan päästä myös päästöjä laimentamalla. Harmaa vesijalanjälki puolestaan kasvaa arvioitavan haitallisen yhdisteen kokonaisvolyymiin kasvaessa, koska se huomioi tarvittavan laimennusveden. Vesijalanjäljen arvioinnin käsikirja (Hoekstra *et al.* 2011) määrittelee harmaan vesijalanjäljen vesimääräksi, joka tarvitaan laimentamaan jätevesipäästöt ne välittömästi vastaanottavan vesistön tai

pohjaveden vedenlaatutavoitteiden mukaisiksi. Laskennallisesti tämä tarkoittaa päästömäärän jakamista laatutavoitteen ja vesistön taustapitoisuuden erotuksella. Yksinkertaisuuden vuoksi laskennassa on yleensä huomioitu vain suurimman jalanjäljen omaava haitallinen komponentti, joka on viljelykasveilla useimmiten jokin huuhtoutuva ravinne. Hyvin vaarallisten aineiden päästöt aiheuttavat äärettömän suuren laimennusveden tarpeen. Niitä ei ole tarkoituksenmukaista käsitellä osana harmaata vesijalanjälkeä.

Päästömäärän laskennassa voidaan huomioida myös otetun veden laatu. Periaatteessa harmaa vesijalanjälki voisi olla jopa negatiivinen, jos samasta vesistöstä otetun veden laatua parannettaisiin prosessissa niin, että takaisin palautuva vesivirta on laadultaan parempaa. Tätä ei kuitenkaan huomioida käsikirjan mukaisessa vesijalanjäljen laskennassa, koska se sisältyy kompensaation käsitteeseen. Harmaa vesijalanjälki voidaan kuitenkin arvioida olemattomaksi eli nolllaksi.

Harmaan vesijalanjäljen käsitettä voidaan soveltaa myös lämpötilamuutoksille esimerkiksi lauhdeveden vaikutuksia tarkasteltaessa. Tällöin on määriteltävä suurin hyväksyttävä lämpötilamuutos vesistössä, jossa voidaan käyttää oletusarvona vaikka EU:n asiakirjassa määriteltyä 3 °C lämpötilaeroa. Käsitettä voidaan soveltaa myös tapauksiin, joissa veden haihtuminen aiheuttaa makean veden laadun heikkenemistä. Tämä on tyypillistä ilmastoltaan kuumilla ja kuivilla alueilla, joilla kasteluveden voimakas haihdunta aiheuttaa maaperän ja valumavesien suolaantumista (Hoekstra *et al.* 2011, s. 37–39).

4.2.3 Vesijalanjäljen arviointi prosessina

Vesijalanjälkiverkoston julkaisema arvioinnin käsikirja (Hoekstra *et al.* 2011) määrittelee erikseen tavoitteiden asettamisen ja rajausvaiheen, vesijalanjäljen laskennan, kestävyuden arvioinnin ja parannusehdotusten muotoilun. Vesijalanjäljen laskenta (*Water footprint accounting*) on näistä tunnetuin ja kehittynein arvioinnin vaihe. Laskennan tuloksia käytetään usein suoraan, ilman arviointia tuloksena olevien kulutusmäärien kestävyydestä.

Tuotantoa ja kulutusta arvioitaessa niitä paljon hitaammin muuttuvat tekijät muodostavat vertailukohteen eli referenssin. Näitä ovat kuvan 5 elementeistä ilmastotekijät, kuten sadanta ja evaporaatio sekä topografian ja maankamaran piirteet, kuten pinta- ja pohjavesivarannot, virtaavat vedet ja maaperä. Nämä elementit vaihtelevat luontaisestikin suuresti eri puolilla maapalloa. Lisäksi hydrologista kiertoa muokkaava maankäyttö vaihtelee intensiteetiltään. Suurten jokien patoaminen ja patoaltaan vesien siirto kastelujärjestelmiin on hyvä esimerkki toiminnasta, jonka vaikutus hydrologiseen kiertoon on huomattava. Tällaisella alueella yksittäisten viljelijöiden toimet veden säästämiseksi ovat ympäristövaikutuksiltaan marginaalisia koko alueen maankäyttöä muuttaneeseen vesirakentamiseen verrattuna. Tällaiset mittakaavaerot tulee huomioida vesijalanjäljen arvioinnin tavoitteita pohdittaessa.

Viljelymailla tuotannon haihdunta on peräisin maaperästä ja tuotantokasveista. Arvioitaessa tuotantokasvien haihdunnan merkitystä on yleensä tarpeen määritellä jokin vertailukohde. Muokkaamatonta, luontaista kasvillisuutta alueella ei ole välttämättä ollut satoihin tai jopa tuhansiin vuosiin. Tämäkin kysymys voidaan ratkaista arvioinnin tavoitteiden määrittelyssä.

Rajausvaiheessa voidaan käsikirjan mukaan päättää esimerkiksi otetaanko mukaan kaikki kolme vesijalanjälkeä: vihreä, sininen ja harmaa. Tärkeitä käsikirjan mainitsemia rajauspäätöksiä ovat myös seuraavat, moniin elinkaarimetodiikkoihin liittyvät päätökset:

- Miten pitkälle toimitusketjua on tarpeen seurata?
- Miten laajasti on tarpeen ottaa mukaan epäsuoraa vesijalanjälkeä suoran, omaan tuotantoon liittyvän vedenkulutuksen lisäksi?
- Miten tarkasti alueelliset erot halutaan selvittää?
- Mitä aikaväliä halutaan tarkastella?

Käsikirjaan on vesijalanjäljen arvioinnin viimeistä vaihetta varten koottu esimerkkejä eri tahojen mahdollisuuksista vähentää vesijalanjäljen haitallisia vaikutuksia. Varsinaista standardia tämän vaiheen toteuttamisesta ei ole haluttu tehdä. Samassa yhteydessä on liitteenä keskustelunavauksia käsitteistä *Water neutrality* ja *Water footprint offsetting*. Näihin suhtaudutaan varauksella. Esimerkiksi kompensaation olisi kohdistuttava sille vesistö- tai valuma-alueelle mille vesijalanjälkikin kohdentuu.

4.3 Laskennan periaatteet

Arvioinnin käsikirja (Hoekstra *et al.* 2011) kuvaa yksityiskohtaisesti laskennan periaatteita. Kaikki vesijalanjäljen sovellukset perustuvat ydinprosessin vesijalanjälkeen, joka ilmaistaan kulutettuna vesimääränä aikayksikköä kohden. Aikayksikön valinta on tärkeä, koska saatavilla olevat vesivarat vaihtelevat eri vuodenaikoina ja eri vuosien välillä.

Prosessille määritellään sisään (*input*) ja ulos (*output*) tulevat virrat. Tuotteen vesijalanjälki saadaan jakamalla yhteenlaskettujen input-prosessien vedenkulutus ja input-tuotteiden piilovesi tuotteen tuotantomäärällä aikayksikköä kohden. Avomaalla kasvatettujen maataloustuotteiden piilovesi sisältää aina myös vihreän vesijalanjäljen komponentin. Jalostusprosessit kuluttavat sinistä vettä ja niille voi arvioida myös harmaan vesijalanjäljen, kuten kaikille muillekin tuotantoketjun vaiheille.

Tuotteen vesijalanjäljen laskentatapa vastaa elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointimenetelmissä (LCA) haitanjakoon perustuvaa (*attributional*) menettelyä (Elinkaarimetodiikkojen...2010). Jalostusketjussa prosessin eri tuotteiden (*output*) vesijalanjälki allokoidaan niiden markkina-arvon perusteella. Käsikirja suosittelee käyttämään vähintään viiden vuoden keskiarvoa allokoinnissa. Vesijalanjälkeä kuvaava yksikkö voi vaihdella käyttötarkoituksen mukaan. Se voi olla esimerkiksi m³/tonni tai m³/tuotepakkaus.

Jalostusketjussa vesi kuluu suoraan tuotantoprosesseissa (*Direct water footprint*) tai välillisesti panostuotteiden piiloveden kautta (*Indirect water footprint*). Välilliseen vedenkulutukseen voidaan laskea mukaan myös tarvittavan energiamäärän tuotannossa kulunut vesi. Maataloustuotteiden vesijalanjäljestä merkittävin osa muodostuu lähes poikkeuksetta kasvien haihdunnasta pellolla. Eläinten kasvatuksen, teollisten prosessien ja kaupan suora vesijalanjälki on yleensä vaatimaton kasviperäisten tuotepanosten piiloveteen nähden. Käsikirjan (Hoekstra *et al.* 2011) mukaan yrityksen tai tuotteen vesijalanjälkeen ei periaatteessa lasketa mukaan kuluttajan veden käyttöä tuotetta hyödynnettäessä, vaan tämä on osa kuluttajan vesijalanjälkeä. Esimerkiksi veden lisääminen tiivisteeseen tai kuivattuun jauheeseen laskettaisiin loppukäyttäjän vesijalanjälkeen. Loppukäyttäjän (*End-use water footprint*) vesijalanjälki voidaan toki arvioida erillään yrityksen muusta vesijalanjäljestä tarvittaessa.

4.3.1 Vedenkulutuksen laskenta viljelykasveilla

Avomaalla viljelykasvien tuotanto perustuu kokonaan tai osittain sadantaan. Vesijalanjälkeä laskettaessa on pidetty erityisen tärkeänä tämän eron kuvaamista vihreänä ja sinisenä jalanjälkenä. Kasvituotannon haihdunnan mittaaminen pellolla on varsin työlästä ja eikä kasteluveden osuutta mitatusta kokonaishaihdunnasta pysty käytännössä osoittamaan. Siksi laskentaan käytetään yleensä malleja pellon vesitaseesta ja viljelykasvien veden tarpeesta. Viljelykasvien vedenkulutuksen laskennassa tulisi huomioida myös haihdunta kastelujärjestelmässä, joka voi olla kuumilla alueilla merkittävän suuruinen. Arvioinnin käsikirjan (Hoekstra *et al.* 2011) liitteessä I on kuvattu kasvituotannon haihdunnan laskentaa käyttäen apuna FAO:ssa kehitettyä CROPWAT -laskentatyökalua. Tällä hetkellä käytössä on versio CROPWAT8.0, joka julkistettiin vuonna 2009. Työkalun voi ladata vapaasti FAO:n verkkosivuilta.

Kasteluun liittyvien mallien ideana on laskea kullakin ajanjaksolla kasvien juuristolle saatavilla olevaa veden määrää suhteessa viljelykasvin eri kasvuvaiheiden veden tarpeeseen. Jos veden tarve ylittää saatavilla olevan veden määrän, niin tarvitaan täydentävää kastelua. Karkeasti yleistävä lähtöoletus määrittelee kasviston ($c=crop$) haihdunnan täsmälleen samaksi kuin sen tarvitsema vesimäärä: $ET_c = CWR$. Viljelykasvien veden tarpeen määrittely ($CWR = crop\ water\ requirement$) voidaan tehdä erilaisilla lähtöoletuksilla ja monella tarkkuustasolla. Yksinkertaisimmillaan CWR määritellään kasvikohtaisen kertoimen (K_c) ja ilmastollisen haihdunnan vertailuarvon (ET_0) avulla:

$$CWR = K_c \times ET_0.$$

Yksinkertaista mallia voi tarkentaa erilaisilla kertoimilla, jotka on kehitetty ottamaan huomioon muutokset maaperäoloissa. Vastaava karkea lähtöoletus määrittelee saatavilla olevan veden määrän ns. tehollisen sadannan avulla (P_{eff}). Näillä oletuksilla viljelykasvien kuluttama vihreä vesi tiettyinä ajanjaksona (maaperään varastoitunut sadevesi, joka haihtuu) määritellään seuraavasti:

$$ET_{green} = \max(0, ET_c - P_{eff}).$$

Jos tehollinen sadanta on suurempi kuin laskennallinen kasvien veden tarve, niin kulutettu vihreä vesi = kasvin laskennallinen veden tarve. Jos tehollinen sadanta ei riitä kattamaan veden tarvetta, niin erotusta vastaava vesimäärä lasketaan sinisen veden kulutukseksi:

$$ET_{\text{blue}} = |ET_c - P_{\text{eff}}|$$

Tarkempaa pohdintaa tehollisen sadannan määrittämisestä, suunnittelusovelluksista sekä myös sadannan tehokkaasta hyödyntämisestä viljelymailla löytää esimerkiksi FAO:n julkaisusta keinokastellusta maataloustuotannosta ja tehollisesta sadannasta (Dastane 1978). Lyhyesti määriteltynä tehollinen sadanta tarkoittaa sitä osuutta koko sadannasta, jonka viljelykasvit pystyvät hyödyntämään viljelykauden aikana. Tehotonta sadantaa on pellolta pintavaluntana poistuva tai syviin maankamaran kerroksiin suotautuva vesi sekä sadonkorjuun jälkeen maaperään jäävä kosteus, jota kasvit eivät pysty hyödyntämään. Teholliseen sadantaan ei sisälly esimerkiksi sellaisten rankkasateiden vesi, joka aiheuttaa haittaa kasvien kasvuille. Laajoja alueita koskevilla laskentamalleilla käytetään usein karkeaa oletusarvoa teholliselle sadannalle, esimerkiksi 80 prosenttia. CROPWAT ohjelma antaa tehollisen sadannan määrittelyyn oletusmenetelmäksi amerikkalaisten tutkijoiden kehittämän ns. USDA-SCS (SCS = Soil Conservation Service) työkalun.

Potentiaalinen evapotranspiraatio (ET_0) tarkoittaa laajalta alueelta tapahtuvaa haihduntaa olosuhteissa, joissa maa on lyhyen nurmikasvillisuuden täysin peittämää, eikä veden puute rajoita haihduntaa. Potentiaalisen haihdunnan laskentaankin on monia menetelmiä, joista Penman-Monteith menetelmä on oletusarvona CROPWAT ohjelman yksinkertaisimmassa mallissa. Tässä menetelmässä keskeiset muuttujat ovat lämpötila, suhteellinen kosteus, tuulen nopeus ja auringon säteily tunteina.

Haihdunnan vertailuarvon voisi laskea myös erilaisten haihduntamittausten tuloksista. Maailmalla yleinen WMO:n (*World Meteorological Organization*) hyväksymä standardimittari haihdunnalle on ns. Class A astiahaihdunta, joka kuvaa haihduntaa vesipinnalta. Mittaustulokset eivät sellaisenaan kuvaa kasviston tai maan pinnan haihduntaa, mutta niitä käytetään apuna laskennassa. Suomen ympäristöhallinnon tuottamissa vesistöennusteissa astiahaihduntaa käytetään maankosteuden ohella haihdunnan laskentaan maaympäristöstä. Kahdeksassa mittauspisteessä on maankosteuden reaaliaikaista seuranta ja haihduntaa mitataan 13 asemalla ympäri Suomea³.

Kasvikohtaisia oletuskertoimia on saatavilla esimerkiksi FAO:n tietokannasta. Jos on saatavilla paikalliset olot tuntevien tutkimuslaitosten tuottamia kertoimia, niitä pitäisi käyttää (Hoekstra *et al.* 2001). Suomessa joitain puutarhakasvien veden tarvetta kuvaavia kertoimia on määritelty ja koottu MTT:n kehittämään Peltotohtori-laskentatyökaluun (suullinen tieto, Timo Kaukoranta/MTT).

Koko kasvukauden vedenkulutus muodostuu lyhyemmille ajanjaksoille laskettujen veden kulutusarvojen summana. Kasvukauden aikana sekä kasviston vedentarve että maaperässä saatavilla oleva vesivarasto vaihtelevat hyvinkin paljon. CROPWAT ohjelmassa kaikki vesimäärät ilmaistaan yksiköllä mm/päivä tai mm/tarkastelujakso (usein 10 päivää). Lopputuloksena laskennasta on kasvien tarvitsema vesimäärä millimetreinä per kasvukausi. Vesijalanjäljen laskemiseksi tämä vielä jaetaan tuotetulla tonnimäärällä t/ha, jolloin tulokseksi saadaan mm vettä * ha/tonni. Tämä vielä muutetaan kuutioiksi tuotettua tonnimäärää kohden kertomalla kymmenellä (0,001 m * 100 m * 100 m/tonni = 10 m³ vettä/ tonnin sato viljelykasvia).

Viljelykasvien vesipitoisuuden määrittämiseen käytetään yleensä oletusarvoja, kuten esimerkiksi hedelmille 80–90 prosenttia ja vihanneksille 90–95 prosenttia. Satoon sitoutunut vesi muodostaa tyypillisesti merkityksettömän osan koko vesijalanjäljestä, maksimissaan yhden prosentin. (Hoekstra *et al.* 2011).

Viljelykasvien harmaan vesijalanjäljen laskentaan tarvitaan tietoa kemikaalien levitysmääristä hehtaaria kohden (AR, kg/ha) ja kemikaalin hukkaan huuhtoutuvasta osuudesta (α), sekä erotuksesta kemikaalin suurimman hyväksyttävän pitoisuuden ja vesistön tai pohjavesiesiintymän taustapitoisuuden välillä ($c_{\text{max}} - c_{\text{nat}}$). Hoekstra *et al.* (2011) esittämässä peruskaavassa tarvittavan laimennusveden määrä saadaan jakamalla kuormitus tällä laimennuskapasiteetilla kuvaavalla suhteella:

$$(\alpha \times AR) / (c_{\text{max}} - c_{\text{nat}})$$

³ Lisätietoa: www.ymparisto.fi > [Tutkimus](#) > [Ympäristön seuranta](#) > Hydrologisen kierron seuranta > Haihdunnan mittaaminen ja www.ymparisto.fi/vesistoennusteet

Eri kemikaalien kuormaa ei yhdistetä, vaan laskentaan otetaan mukaan se haitallinen komponentti, joka saa suurimman tarvittavan laimennusveden arvon. Laskelmissa voitaisiin tarpeen mukaan eritellä laimennusveden tarve pintavesille ja pohjavesille.

4.3.2 Vedenkulutuksen laskenta tuotantoeläimillä

Tuotantoeläinten vedenkulutus lasketaan tuotteen vesijalanjäljen laskennan periaatteita noudattaen. Käsikirjassa (Hoekstra *et al.* 2011) ei ole kuvattu yksityiskohtaisesti laskentaa millekään tuotantoeläimelle, mutta aiheesta on julkaistu laaja tutkimus (Mekonnen & Hoekstra 2010b). Vedenkulutuksen kokonaismäärään vaikuttaa keskeisesti eläinten ruokinta ja eläinten kyky hyödyntää rehua omaan kasvuunsa tai maidon ja munien tuotantoon. Juomaveden (WF_{drink}) ja eläinsuojien huoltoon ja ylläpitoon (WF_{service}) tai rehujen sekoitukseen tarvittavat vesimäärät ovat tyypillisesti mitättömiä rehujen piiloveden kulutukseen verrattuna. Jos rajaukseen otetaan mukaan vielä ne eläinten tuottamat jätteet, joita ei käsitellä huolellisesti, niin erityisesti harmaan veden kulutusarviot voivat kasvaa huomattavasti. Peruskaava laskennalle on seuraava:

$$WF_{\text{animal}} = WF_{\text{feed}} + WF_{\text{drink}} + WF_{\text{service}}, \text{ jossa}$$

$$WF_{\text{feed}} = \text{Ravinnon ainesosien piilovesi} + \text{rehujen sekoitukseen käytetty vesi}$$

Tuotantoeläinten ruokinnasta ja eläinten kyvystä hyödyntää ravintoa on saatavilla karkeita globaaleja oletusarvoja laskentaa varten. Kulutetut rehumäärät ilmaistaan kuivapainona ja lihantuotannossa tuotantomäärät lasketaan tyypillisesti teuraspainoa kohden (*carcass*). Viljelykasvien sadonkorjuusta jääneiden tähteiden hyödyntämistä rehuna ei periaatteessa lasketa mukaan tuotantoeläimen vesijalanjälkeen, vaan se on jo kertaalleen laskettu osaksi kyseisen viljelykasvin vesijalanjälkeä.

4.4 Keskeiset sovellukset elintarvikesektorilla

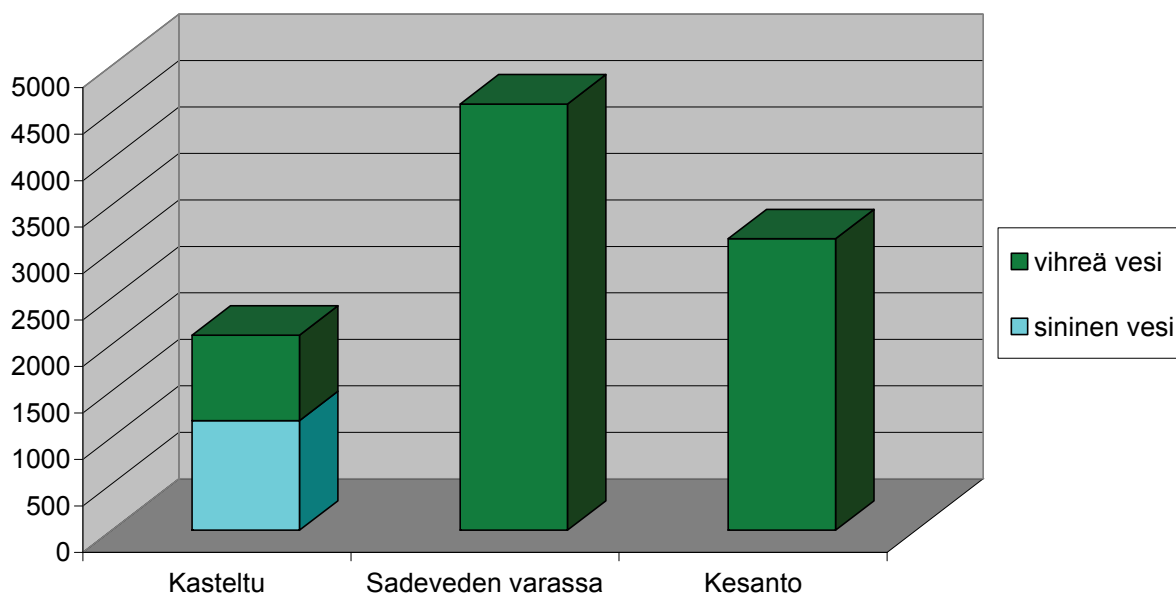
Ensimmäiset vesijalanjäljen laskennat keskittyivät tärkeimpiin maailmankaupan maataloustuotteisiin ja niiden merkitykseen valtioiden vesitaseessa. Valtioiden vesijalanjälkeä määrittelevässä tutkimuksessa oli mukana 285 kasvituetta ja 123 eläintuetta, joille arvioitiin veden tarve tuotettua tonnimäärää kohden globaalina keskiarvona sekä osin myös maittain. Yhtenä tuloksena esitettiin arvio globaalista viljelykasvien vuosittaisesta veden tarpeesta ($6390 \cdot 10^9 \text{ m}^3$), josta riisi kulutti jopa 21 % ja seuraavaksi merkittävin (12 %) kasvi oli vehnä. Suomen vuosittaiseksi vesijalanjäljeksi arvioitiin noin $9 \times 10^9 \text{ m}^3$. Tässä luvussa on mukana myös FAO:n tilastotiedot veden teollisesta käytöstä ja talousveden otosta. Maataloustuotteiden tuontimme vastasi noin $2,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ piilovesimäärää. (Hoekstra & Chapagain 2007).

Ensimmäisissä laskennoissa ei vielä eritelty vielä sinistä, vihreää ja harmaata vesijalanjälkeä. Tuotteiden valmistamiseen käytetyn veden määrää arvioitiin tuottavuuskertoimien (tonni tuotetta per tonni viljelykasvia pellolla) ja markkina-arvokertoimien avulla. Kansainvälisen kaupan tilastossa oli mukana 146 maan ilmoittamat tiedot. Markkina-arvoja käytettiin vesijalanjäljen allokoinnin perusteena laskettaessa alkutuotannon vesijalanjäljen jakautumista eri tuotteille ja tilastotiedot olivat pääosin vuosilta 1997–2001. (Hoekstra & Chapagain 2007).

Viljelykasvien virtuaalivesien globaaleja malleja ja laskentatapoja on muitakin. Näistä ns. MIRCA maakäyttöaineistoon perustuva GCWM malli (Siebert & Döll 2010) perustuu alueellisesti suhteellisen yksityiskohtaiseen tilastoyksiköiden jaotteluun. Tässä mallissa maapallon viljelyalueet on luokiteltu vuosien 1998–2002 tietojen perusteella 26 viljelykasvirhyhmään ja vielä sadevedenvaraisiin ja tiedossa oleviin kasteltuihin alueisiin. Mallissa huomioidaan viljelykierto vuoden aikana alueilla, joilla saadaan useampi sato vuodessa. Keskimääräiset satotulokset on jaettu 402 tilastolliseen yksikköön, joka on huomattavasti enemmän mitä Hoekstran ja Chapagain (2007) käyttivät. GSWM mallilla arvioitu viljelykasvien vuosittainen vedenkulutus ($6685 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) on samaa kokoluokkaa kuin edellä mainittu globaali viljelykasvien vesijalanjälki, mutta kulutuksen jakautumisessa on selviä, menetelmistä johtuvia eroja.

GCWM mallia käytettiin ensisijaisesti kastelun vaikutusten arviointiin globaalille ravinnontuotannolle (Kuva 6). Jos esimerkiksi viljojen kastelu lopetettaisiin nykyisillä kastelulaittein varustetuilla alueilla kokonaan, niin viidesosa vuosittaisesta globaalista tuotannosta menetettäisiin. Keinokastelun lopettamisella olisi suurimmat suhteelliset vaikutukset taateliin, riisiin, puuvillan, sitrushedelmien ja sokeriruohon tuotantomääriin.

GCWM globaali laskelma peltokasvien vedenkulutukselle km³/vuosi



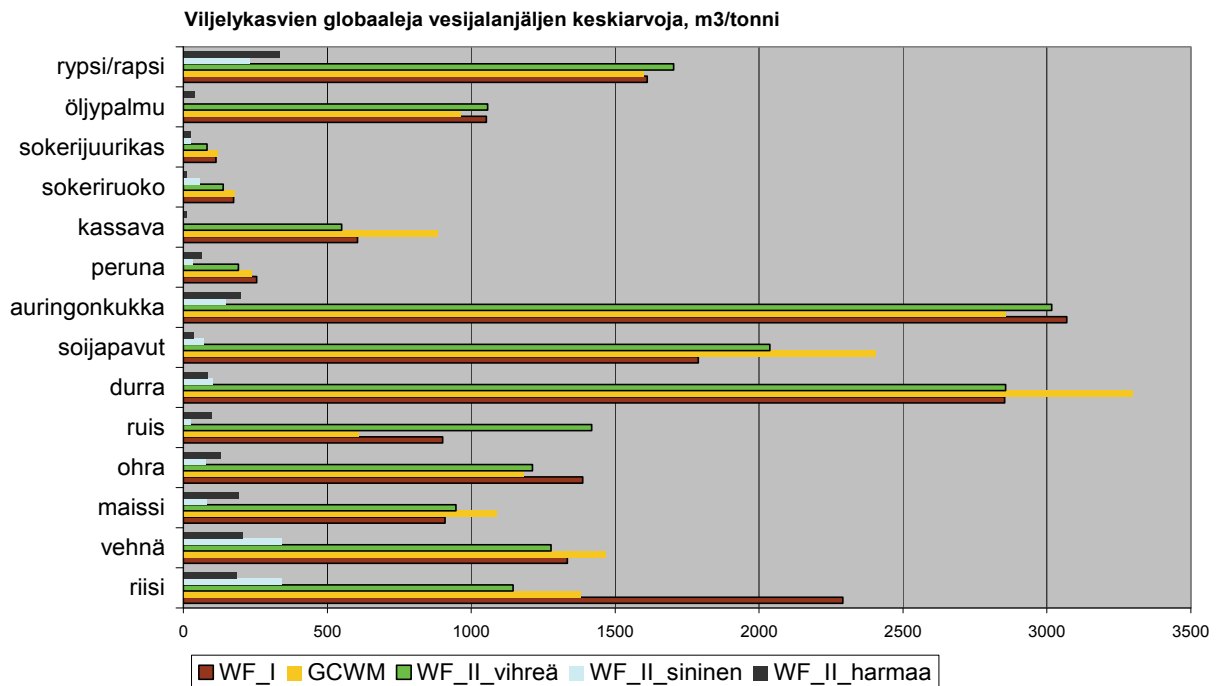
Kuva 6. Globaali keskiarvo viljelykasvien vedenkulutuksen jakautumiselle siniseen ja vihreään veteen. Lähde: Siebert & Döll (2010).

Mekonnen & Hoekstra ovat päivittäneet ensin mainittua globaalia tutkimusta viljelykasvien ja maataloustuotteiden piilovesistä ja valtioiden vesijalanjäljestä uusien menetelmin ja tilastotiedoin. Tilastot ovat vuosilta 1996–2005. Menetelmällisessä lähestymistavassa on osin samaa kuin edellä mainitussa GCWM mallissa, erityisesti sen alueellisten tilastoyksiköiden jakamisessa 5' x 5' hilaksi. Hilaan perustuvia malleja käytettiin 126 kasvin vesijalanjäljen laskentaan ja 20 harvinaisemman viljelykasvin vesijalanjäljen laskentaan käytettiin CROPWAT8.0 mallia. Kasvivalikoimassa oli mukana myös kuitu- ja energiakasveja. (Mekonnen & Hoekstra 2010a). Myös laidunnuksen vesijalanjälkeä on arvioitu (Mekonnen & Hoekstra 2010b). Alueeltaan laajat valtiot on myös jaettu pienempiin tilastoyksiköihin. Suomi on jaettu entisten läänirajojen perusteella (Mekonnen & Hoekstra 2011).

Mekonnen & Hoekstra -laskelmia on käytetty uusimpien globaalien tietokantojen laadintaan viljelykasvien, eläintuotteiden ja valtioiden sekä niiden osa-alueiden vesijalanjäljistä. Uusissa tietokannoissa vesijalanjälki muodostuu sinisestä, vihreästä ja harmaasta vesijalanjäljistä. Harmaan vesijalanjäljen laskentaa on yksinkertaistettu valitsemalla tyypillannoitteet kaikkien kasvien laimennusveden tarpeen laskentaan. Huuhtoutumiselle on annettu oletusarvo 10 % ja nitraattityypen raja-arvoksi vesistössä 10 mg/L Yhdysvaltojen ympäristöviranomaisten (US-EPA) antamien suositusten mukaan. Taustapitoisuus määriteltiin nolllaksi, koska tarvittavaa tietoa ei ole saatavilla maailmanlaajuisesti. Kirjoittajat (Mekonnen & Hoekstra 2010a) pitävät omaa arviotaan harmaasta vesijalanjäljistä varovaisena, koska siinä ei ole huomioitu paikallisia eroa torjunta-aineiden tai fosforin kuormituksessa lainkaan.

Päivitetöissä laskelmissa (Mekonnen & Hoekstra 2010a) globaali viljelykasvien vesijalanjälki on 7404 10⁹ m³, josta harmaan veden osuus on noin 10 % (733 10⁹ m³). Kirjoittajien mukaan malli arvioi vihreän veden kulutuksen suuremmaksi kuin muut vastaavat globaalit mallit ja sinisen veden kulutus olisi puolestaan hieman vähäisempää, mutta erot eivät ole kovin merkittäviä. Syyt vaihteluun ovat moninaiset. Kuvassa 7 on vertailtu edellä mainittujen laskelmien tuloksia keskimääräisistä viljelykasvien globaaleista

vesijalanjäljistä. Riisille laskettu keskimääräinen vesijalanjälki näyttää vaihtelevan suhteellisen paljon. Vehnän osuus globaalista viljelykasvien tuotannon vesijalanjäljestä (15 %) ylitti uusissa laskelmissa riisin osuuden (13 %). Globaalisti merkittävimpiä veden kuluttajia ovat myös maissin (10 %) ja rehukasvien viljely (9 %).



Kuva 7. Eräiden viljelykasvien globaaleja vesijalanjäljen keskiarvoja. WF_I = Hoekstra & Chapagain (2007) ensimmäiset laskelmat, joissa ei oltu eritelty sinistä ja vihreää vettä eikä arvioitu ollenkaan harmaata vesijalanjälkeä. GCWM = Yhdistetty sininen ja vihreä vedenkulutus lähteestä Siebert ja Döll (2010), WF_II = Mekonnen & Hoekstra (2010a) päivitetty laskelmat viljelykasveille.

Mekonnen & Hoekstra (2010a) laskelmien mukaan merkittävä osa (38 %) viljelykasvien vedenkulutuksesta tapahtuu kolmessa maatalouden suurvallassa: Intiassa, Kiinassa ja Yhdysvalloissa. Suhteessa globaaliin viljelykasvien tuotannon vesijalanjälkeen Suomi on todella pieni toimija (0,07 %) ja niin on sen suora viljelykasvituotannon vesijalanjälkikin ($5,23 \times 10^9 \text{ m}^3$). Suomen osalta on arvioitu 30 viljelykasvin ja niistä jalostettujen päätuotteiden vesijalanjäljet. Mukana ovat tärkeimmät viljat, peruna, sokeriruoko, kuivatut herneet, rypsi sekä joukko vihanneksia, hedelmiä ja marjoja. Myöskään eläintuotantoon ei kuluteta suuria määriä vettä laitumilla tai eläimiä hoidettaessa ($0,50 \times 10^9 \text{ m}^3$). Suomen viennistä merkittävä osa on teollisuustuotteita, joiden siniseksi vesijalanjäljeksi on arvioitu $0,12 \times 10^9 \text{ m}^3$ ja harmaaksi vesijalanjäljeksi $1,21 \times 10^9 \text{ m}^3$. Teollisuustuotteiden vihreää vesijalanjälkeä ei ole arvioitu. Maataloustuotteiden tuontiin laskettiin piilotetun $4,0 \times 10^9 \text{ m}^3$ vedenkulutusta tuotantomaisissa (Mekonnen & Hoekstra 2011). Tämä arvio piiloveden kulutuksestamme on selvästi suurempi kuin aikaisemmassa tutkimuksessa. Sinistä ja harmaata piilovettä tuodaan meille teollisuustuotteiden mukana jonkin verran enemmän kuin sitä viedään.

Elintarviketuotteen paino ei kuvaa sen ravitsemuksellista arvoa. Siksi vesijalanjälkeä ja muita vedenkulutuksen mittareita on laskettu myös tuotteen kalorimäärää, proteiinipitoisuutta ja rasvapitoisuutta kohti (Taulukko 3). Esimerkiksi Rockström *et al.* (2007) listaa kehitysmaiden aliravitsemusta ja vedenkulutusta käsittelevässä artikkelissaan arvioitaan eri ravintotyyppien tuotannon haihtuvasta vedenkulutuksesta kuutioina tuhatta kilokaloria kohden. Mekonnen & Hoekstra (2010b) ovat myös laskeneet valikoitujen elintarvikkeiden vesijalanjälkeä ravitsemuksellista arvoa kohden.

Tilastoihin perustuvien keskimääräisten vesijalanjälkien lisäksi eri tahoilla on laskettu tuotantoprosessin todelliseen vedenkulutukseen perustuvia vesijalanjälkiä sekä alkutuotannolle että jalosteille (www.waterfootprint.org > publications). Jalosteista esimerkkejä löytyy mm. virvoitusjuomien, oluen, vehnätuotteiden ja kuivatun sipulin vesijalanjäljen arvioinnista. Tarkasteltavan tuotantoprosessin

rajaukset vaikuttavat merkittävästi tuloksiin. Käsikirja (Hoekstra *et al.* 2011) ei pyri ohjaamaan kovinkaan tarkasti tuotekohtaisen laskennan tavoitteiden asettelua tai rajauksia.

Taulukko 3. Eräiden elintarvikkeiden vesijalanjälkiä suhteessa niiden arvoon kalorien, proteiinien ja rasvan lähteenä.

Elintarvike	Rockström <i>et al.</i> (2007) l/kcal	Mekonnen & Hoekstra, l/kcal	Mekonnen & Hoekstra, l/g proteiinia	Mekonnen & Hoekstra, l/g rasvaa
Viljat	0,47	0,51	21	112
Tärkkelyspitoiset juurekset	0,78	0,47	31	226
Sokerikasvit	0,49	0,69		
Palkokasvit	0,55	1,19	19	180
Öljykasvit	0,73	0,81	16	11
Vihannekset	2,07	1,34	26	154
Maitotuotteet	4	1,82	31	33
Voi		0,72		6,4
Liha	> 6	3,0–10,9	34–112	23–153

4.5 Tuotteen vesijalanjäljen kestävyden arviointi

Vesijalanjäljen arvioinnin käsikirjan kappaletta 4 kestävyden arvioinnista on muokattu erillisessä työryhmässä vuosina 2009–2010. Käsikirjassa (Hoekstra *et al.* 2011) on haluttu pitää selkeästi erillään maantieteellinen ja tuotantoon tai tuotteisiin liittyvä kestävyden arviointi. Vesijalanjälki rinnastetaan indikaattorina ekologiseen jalanjälkeen jäljen suuruuden merkittävyyden arvioinnissa. Laskennan tulosta pitää verrata maapallon kantokykyyn. Ekologinen jalanjälki mittaa suhdetta perustuotannolle varattuun pinta-alaan ja vesijalanjälkeä tulisi verrata saatavilla oleviin vesivaroihin. Saatavilla olevien vesivarojen määrittely ei kuitenkaan ole yksinkertaista. Kenelle vettä pitäisi riittää? Onko ihmisillä varaa käyttää vettä? Onko vesi riittävän hyvälaatuista? Mille ekosysteemille riittävää saatavuutta arvioidaan?

Laskettaessa tuotteen vesijalanjälkeä tulee samalla määritellyksi välillisten panosten ketjut tuotantoalueilleen sekä omien prosessien merkittävimmät vihreän, sinisen ja harmaan veden kulutuksen kohteet. Näistä muodostetaan kaksi pääkysymystä kestävyden arviointiin:

- Päätyvätkö tuotantoketjun lähteet vakavan vesistressin alueille tai ajanjaksoille (*hot spots*)?
- Voisiko oman tuotannon vedenkulutusta vielä vähentää kohtuullisin ponnisteluin?

Vesijalanjäljen kestävyuden arviointi voitaisiin esittää myös numeroin kuvaamalla esimerkiksi kestävämmän vedenkulutuksen osuutta koko laskennallisesta vesijalanjäljestä. Käsikirjassa on esitetty tästä kuvitteellinen esimerkki. Vedenkulutuksen alueellisia tai paikallisia ympäristövaikutuksia kuvaavat mittarit nähdään erillisenä vesijalanjäljen arvioinnista. Ne liittyvät tuotteen elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten (LCA), tematiikaltaan laaja-alaisempiin arviointeihin. Tuotteen vesijalanjäljen kestävyyttä arvioidaan suhteessa globaaliin vesikriisiin. Alueelliset erot veden riittävydessä (*hot spots*) voidaan kuitenkin havainnollistaa esimerkiksi kartoilla, joille laskennalliset piiloveden virrat voidaan sijoittaa. Myös laskennallisia indeksejä voitaisiin käyttää, jotka huomioivat ajallisen ja paikallisen veden niukkuuden. Indekseistä saatavaa hyötyä pidetään kuitenkin hyvin rajallisena koko vesijalanjäljen arviointiprosessissa. Käsikirjan kirjoittajien mukaan niistä voisi olla enemmän hyötyä LCA prosessissa, jossa tavoitteena on usein myös erilaisten ympäristövaikutusten vertailu keskenään.

Tuotekohtainen vesijalanjälki ja vaikutusten arviointi 0,5 litran limsapullolle

Ercin *et al.* 2011 rakensivat todelliseen tuotteeseen perustuvan, mutta aineistoltaan kuvitteellisen esimerkin tuotekohtaisesta vesijalanjäljen laskennan ja arvioinnin toteuttamisesta. Tärkeänä tavoitteena oli havainnollistaa rajausten merkitystä arviointiprosessissa. Vesijalanjälki laskettiin WF käsikirjan ensimmäisen version mukaan (Hoekstra *et al.* 2009). Kokonaisvedenkulutus jaettiin vihreään, siniseen ja harmaaseen vesijalanjälkeen ja lisäksi eriteltiin tuotannon ja toisaalta hankintaketjun suora ja epäsuora vesijalanjälki. Tärkeimmät tuotannon vaatimat panokset mallissa olivat vesi, erilaiset sokerit, hiilidioksidi, siirappi, makuaineet, pullo, korkki, etiketti, etikettiiliima ja pakkausmateriaalit. Epäsuoraan vesijalanjälkeen laskettiin mukaan tuotteen valmistamisen osuus tehtaan rakennusbetonin, teräksen, paperin, energialähteiden, kuljetusvälineiden ja polttoaineen valmistuksen vedenkulutuksesta.

Laskennan tulokset esitetään vaihteluvälinä (169–309 l), jota selittää erilaisten sokerien käyttö mallilaskelman panoksina. Muita panoksia ei vaihdeltu, koska niiden osuus tuotteen kokonaisvedenkulutuksesta nähtiin pian hyvin vaatimattomaksi. Sokerin lisäksi panoksen kokoon nähden yllättävän suuri vihreä vesijalanjälki arvioitiin kahvipavuista ja vaniljasta uutetuille makuaineille. Hankintaketjun vesijalanjälki vastasi lähes täysin tuotteen kokonaisvedenkulutusta (99,9–99,8 %). Merkittävintä vedenkulutus oli tuotteen varsinaisten ainesosien tuotantoketjussa, hankintaketjun vesijalanjäljestä epäsuora vesijalanjälki vastasi aivan murto-osasta (0,2–0,3 %).

Vihreän ja sinisen veden osuus vaihteli eri tuotantoalueilta peräisin olevalla sokerilla ääripäinä Pakistanin kasteltu sokeriruoko (sininen 124 l /pullo) ja sadeveden varaan perustuva sokerijuurikkaan viljely Alankomaissa (sininen 7 l /pullo). Vaikutusten arviointi toteutettiin kirjallisuuteen perustumalla ja kuvailemalla tuotannon olosuhteita hankinta-alueilla. Näiden perusteella tuotteen pääasialliset vaikutukset aiheutuvat sinisen veden kulutuksesta tietyillä vesikriisin alueilla, joilla edelleen tuotetaan sokeria ja toisaalta vesien pilaamista kuvaavasta harmaasta vesijalanjäljestä.

5 Elinkaarimetodiikat ja veden kulutus

Elinkaariarviointi on standardoitu menetelmä ja vakiinnuttanut asemansa ympäristövaikutusten arvioinnissa. Menetelmänä elinkaariarviointi soveltuu erityisen hyvin tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusten arviointiin, jolloin sen avulla voidaan tuottaa tietoa koko ketjun tarpeisiin panostuotannosta kuluttajaan saakka. Lisäksi elinkaariarvioinnilla on sovelluksia laajasti mm. poliittisen päätöksenteon tukemisessa. Veden kulutusta ei kuitenkaan ole kovin yleisesti liitetty elinkaariarviointilaskelmiin ennen viime vuosia, mutta tällä hetkellä menetelmäkehitystä vedenkulutuksen linkittämiseksi LCA:han tehdään monella taholla. Tieteellisten artikkelien julkaisumäärät tietokannoissa ovat noin kaksinkertaistuneet vuodesta 2006 vuoteen 2011 hakusanoilla ”water” ja ”LCA”. Kehitystyötä tehdään myös esimerkiksi ISO:ssa vesijalanjäljen laskentamenetelmän standardoimiseksi osana elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointia (ISO Water footprint 14046). World Business Council on Sustainable Development (WBCSD) ja UNEP/SETAC Life Cycle Initiative ovat myös olleet aloitteellisia vedenkulutuksen vaikutusten arviointimenetelmän kehittämiseksi.

5.1 Inventaario

Elinkaariarvioinnissa oleellinen kysymys on tutkimuksen luonne ja siitä johdettava toiminnallinen yksikkö, mitä kohden vaikutukset lasketaan, sekä rajaus. Vedenkulutuksen kannalta relevantti rajauskysymys on eri vedenkulutus- ja käyttömuotojen (ks. luku 4.2.1. veden kulutus, veden käyttö) sekä eri lähteistä peräisin olevien vesien mukaanotto tai poisrajaaminen. Tärkeä rajauskysymys on myös tuotantoketjun eri vaiheiden sisällyttäminen tarkasteluun.

Hybridi LCA Australiasta

Australian kuivien olojen lihantuotannon veden käyttöä selvittäneessä tutkimuksessa (Peters *et al.* 2010) laskettiin vedenkulutusta karjan kasvatukselle ja teurastamon toiminnalle teuraskiloa kohden (HSCW) kolmella erilaisella tilalla. Mallissa yhdistetään mm. perinteistä prosessidataa ja hydrologisia malleja. Hybridi-LCA-mallissa oli ajatuksena eritellä käyttöön otetun veden luonne virtana, varantona sekä systeemin sisällä kierrätettynä ja huomioida myös käytetyn veden laatu. Esimerkiksi peltojen evaporaatiosta ja eläinten hikoilusta sekä hengityksestä vapautuvaa vesihöyryä tarkastellaan hyvälaatuisena veden virtana tilalta. Vesijalanjäljen laskennassa tällaisia veden laadun positiivisia muutoksia ei huomioida samalla tavalla. Tutkimuksessa tarkastelluilta sisämaan tiloilta ei ilmeisesti valunut vesiä mihinkään merkittävään vesistöön, jonka laatumuutoksia olisi voinut arvioida. Toisaalta ostoeläinten ja -rehujen piilovedestä huomioitiin vain sen sinisen veden osuus, ei lainkaan vihreää vettä. Nautakarjatilalla virtsan ja lannan sisältämät vesimäärät olivat kaksinkertaisia eläinten hikoilusta ja hengityksestä vapautuvaan vesimäärään verrattuna ja yli kymmenkertaisia myytävien tuotteiden vesipitoisuuteen verrattuna.

INPUT / Veden lähde	Nautakarjatila Australiassa + teurastamon vedenkäyttö L/kg HSCW	
Paikallinen valuma-alue, jolla tila sijaitsee	Sadanta	21541
Siirretyt ja muunnetut vesivirrat	Kastelu tilalla pintavesistä	0
	Ostoeläimet ja kastellut ostorehut	0
	Kierrätetty pintavesi	40
Siirretyt vesivarat	Kaivovesi (pohjavesi)	0
OUTPUT / Veden laatu		
Hyvä laatu	Evapotranspiraatio pelloilla	14907
	Eläinten hikoilu ja hengitys	24
Kohtuullinen laatu	Suotautuminen syviin maakerrokseen	6622
	Valunta	22
Heikko laatu	Eläinten eritteet, virtsa ja lanta	49
	Jätevesi	3,3
Poistunut vesi	Lihatuotteiden sisältämä vesi	0,48

Euroopan komissio on tuottanut elinkaariarvioinnin parhaista käytännöistä käsikirjan: *The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook* (European Union 2010). Käsikirjassa ohjeistetaan jonkin verran myös veden käytön sisällyttämistä inventaarioon. Inventaariossa suositellaan erottelemaan syötteissä vähintään makeat pintavedet, uusiutuvat pohjavedet, fossiiliset/syvät pohjavedet ja merivedet. Tuotoksissa olisi hyvä pitää käsikirjan mukaan erillään höyry ja vesi nestemäisessä muodossa. Käsikirjassa ei mainita mm. vihreää vettä lainkaan eikä eritellä haihtuvaa ja ei-haihtuvaa vettä.

Milá-i-Canals *et al* ovat kehittäneet vaikutusarviointimenetelmän, joka asettaa tarkempia vaatimuksia erotella eri lähteistä peräisin olevaa vettä inventaariovaiheessa (Milá-i-Canals *et al* 2009, Milá-i-Canals *et al.* 2010). Menetelmän mukaan vesisyötteet tulee jakaa vihreään veteen (maaperän kosteus), siniseen veteen (pohja- ja pintavesi), fossiiliseen siniseen veteen sekä vedenkäyttöön, joka tapahtuu maankäytön muutoksen seurauksena. Lisäksi Milá-i-Canals *et al.* näkevät oleelliseksi erotella tavat, joilla vesi palaa systeemiin ja tämän vuoksi erotellaan haihtuva ja ei-haihtuva vesi (ks. sanasto). Kuvassa 10 on esitetty erilaiset vesisyötteet, haihtuvat ja ei-haihtuvat tuotokset sekä niiden yhteys eri vaikutusketjuihin.

Inventaarion tekemiseen on olemassa myös työkaluja. WBCSD ylläpitää Global Water Tool –työkalua vedenkulutuksen inventoimiseksi tuotantoketjussa. Työkalu on tarkoitettu yritysten käyttöön. Tämä menetelmä ottaa huomioon ainoastaan sinisen veden.

5.2 Vesiresurssien kulutuksen ja käytön vaikutusten arviointi

Vesi on luonnon resurssi ja tämän resurssin kulumista voidaan arvioida mm. suhteuttamalla kulutusta alueelliseen niukkuuteen. Vesiresurssien kulumisen voidaan rinnastaa myös muiden luonnonvarojen käyttöön ja yhdistää osaksi resurssien kokonaiskulutusta, kuten tehdään esimerkiksi Eco-Indicator 99 -vaikutusarviointimenetelmässä (Eco-indicator 99 Manual for Designers 2000).

Vedenkulutuksella voidaan nähdä myös lukuisia erityyppisiä epäsuoria vaikutuksia paikalliseen ekosysteemiin sekä ihmisten terveyteen. Elinkaariarvioinnissa ympäristövaikutuksia käsitellään erillisten vaikutusluokkien kautta. Eri vaikutusluokkien mukaanotto on tapauskohtaista. Tässä on analogia mm. liikennepolttoaineen käyttöön, joka aiheuttaa vaikutuksia useissa eri vaikutusluokissa mm. ilmastonmuutos ja happamoituminen sekä toisaalta vähentää fossiilista öljyvarantoa. Vedenkulutuksen vaikutusten arvioinnissa on kokeiltu perinteisiä ympäristövaikutusten luokkia sekä kehitetty ihan uusia.

5.2.1 Vesiresurssien kulutus ja niukkuusindeksit

Vesivarojen ja veden käytön suhteesta on esitetty useita niukkuutta kuvaavia indeksejä. Erääksi standardinomaiseksi indikaattoriksi on muodostunut Falkenmarkin (1986) WRPC-indikaattori, joka kuvaa vesiresurssien suhdetta väkilukuun. Tämä indikaattori ei kuitenkaan kerro mitään vedenkäytön vaikutuksista, koska vesivarat saattavat jakautua erittäin epätasaisesti käyttökohteisiin (Milá-i-Canals *et al* 2009). Enemmän viitteitä vedenkäytön kestävydestä saadaan tarkastelemalla vedenkäytön suhdetta vesiresursseihin (esimerkiksi Raskin *et al* (1997), Alcamo *et al* (2003)). Vesiresurssien tai saatavilla olevien vesivarojen määrän arviointi ja määrittelytavat vaihtelevat.

Vesiresurssi-indikaattori Falkenmarkin (1986) mukaan:

WRPC = vesiresurssit asukasta kohden (water resources per capita)

Raja-arvot

WRPC < 1667 m³

WRPC < 1000 m³

WRPC < 500 m³

vesistressi (water stress)

veden vähyys (water scarcity)

totaalinen veden vähyys (absolute water scarcity)

Niukkuusindeksi Raskin *et al* (1997) mukaan:

WUPR = vedenkäyttö kokonaisvesiresursseja kohden

WU = veden käyttö (water use)

WR = vesiresurssit (water resources)

WUPR = WU / WR

Niukkuusindeksi Alcamo *et al* (2003) mukaan

(WaterGAP 2 -malli):

WTA = veden hydrologinen saatavuus (vuosittain uusiutuvat vesiresurssit)

WU = veden käyttö (water use)

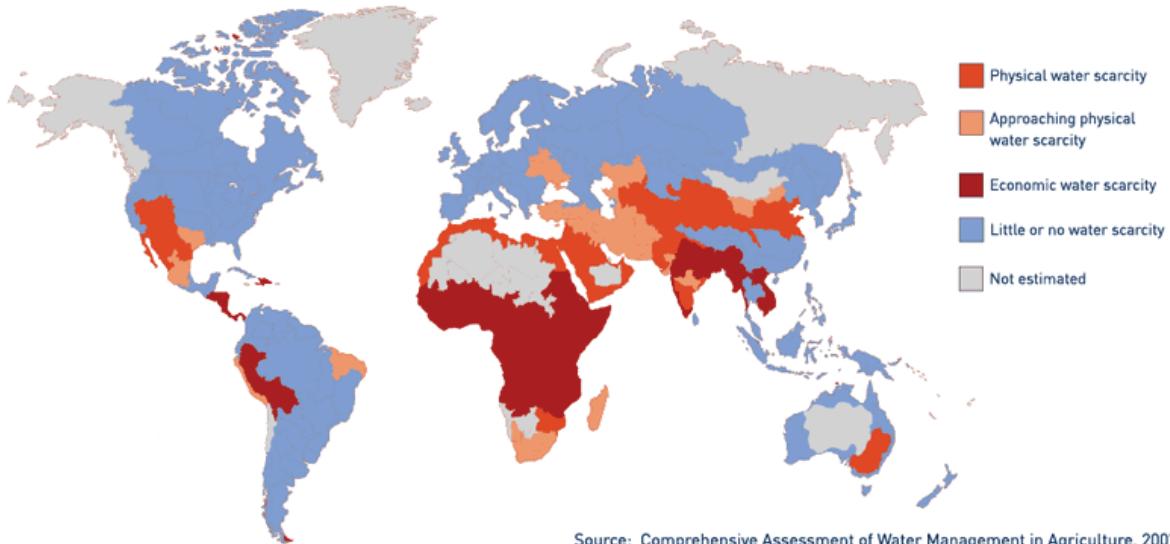
WA = vuosittainen makean veden saatavuus (water availability)

WTA = WU / WA

Niukkuusindeksit voidaan kuvata havainnollisesti tilastoyksikköihin jaettuina teemakarttoina. Havainnollinen on esimerkiksi Watersim-malliin perustuva jaottelu erilaisista veden niukkuuksista kärsiviin alueisiin. Tässä indeksissä erotellaan fyysinen ja taloudellinen veden niukkuus ja käytössä olevina vesivaroina kuvataan jokien vuosittaisia virtaamia (Kuva 8).

AREAS OF PHYSICAL AND ECONOMIC WATER SCARCITY

- **Physical water scarcity**
water resources development is approaching or has exceeded sustainable limits). More than 75% of the river flows are withdrawn for agriculture, industry, and domestic purposes (accounting for recycling of return flows). This definition—relating water availability to water demand—implies that dry areas are not necessarily water scarce.
- **Approaching physical water scarcity.** More than 60% of river flows are withdrawn. These basins will experience physical water scarcity in the near future.
- **Economic water scarcity**
(human, institutional, and financial capital limit access to water even though water in nature is available locally to meet human demands). Water resources are abundant relative to water use, with less than 25% of water from rivers withdrawn for human purposes, but malnutrition exists.
- **Little or no water scarcity.**
Abundant water resources relative to use, with less than 25% of water from rivers withdrawn for human purposes.



Source: Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007

Kuva 8. Fyysisestä ja taloudellisesta veden niukkuudesta kärsivät alueet maapallolla. Lähde: *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007*.

Niukkuusindeksejä käytetään elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnissa sellaisenaan tai osana laajempaa vaikutusten arviointia. Niukkuusindeksien käyttö mainitaan myös Water Footprint Network:n vesijalanjäljen laskennan käsikirjassa (Hoekstra *et al* 2011).

Pfister *et al* (2009) esittävät, että niukkuusindeksi ei ole lineaarinen WTA:n (vedenoton suhde saatavuuteen) funktio. Pfister *et al.* (2009) menetelmässä lasketaan alueellinen vedenkäytön suhde saatavuuteen WaterGAP2-mallilla (Alcamo *et al.* 2003). Kuukausittaisesta ja vuosittaisesta sadannan vaihtelusta voi aiheutua ajoittainen vesistressitilanne, ellei riittävää veden varastointikapasiteettia ole saatavilla tai esimerkiksi haihdunta on liian suurta. Tämä ajoittainen vesistressi ei kuitenkaan näy Alcamo *et al* (2003):n kaavan mukaisessa vedenkäytön suhteessa saatavuuteen. Tätä ongelmaa korjataan korjauskertoimilla. Niukkuusindeksi (WSI water stress index) saadaan valuma-alueella korjatun WTA:n logaritmisena funktiona ja se saa arvoja välillä 0,01–1. Tämä tarkoittaa, että kaikella vedenotolla on vähintään minimaalinen vaikutus. Funktio on säädetty niin, että WTA-suhde 0,4 antaa korjatuksi niukkuusindeksin arvoksi 0,5, koska WTA:n arvoa 0,4 pidetään yleisesti kohtuullisen ja vakavan vesistressin raja-arvona (esim. Alcamo *et al.* 2000).

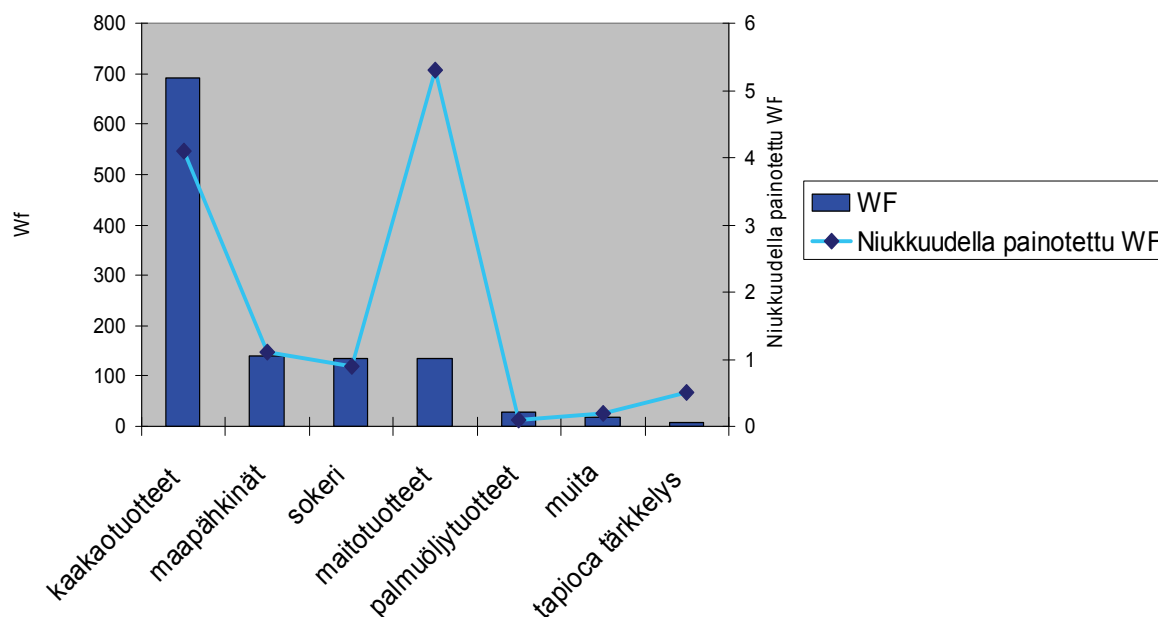
Niukkuusindeksi Pfister *et al.* (2004) mukaan:

WSI = niukkuusindeksi (water stress indicator)

WTA* = korjattu veden saatavuus

$$WSI = 1 / 1 + e^{-6,4 \cdot WTA^*} (1/0,01 - 1)$$

Pfister *et al.* (2009) ehdottavat, että korjattua niukkuusindeksiä voidaan sellaisenaan käyttää karakterisointikertoimena, jolloin saadaan yksinkertainen indikaattori sinisen veden kulutuksen vaikutuksista (kuva 9).



Kuva 9. Mars-patukan tuotannon vedenkulutus (WF) sekä sama vedenkulutus painotettuna Pfisterin *et al* (2009) korjatulla niukkuusindeksillä (Ridoutt & Pfister 2010).

Milá-i-Canals *et al.* (2009) käyttävät elinkaariarvioinneissa niin ikään eri sovellusta niukkuusindeksistä. He yhdistävät niukkuusindeksiin luonnonympäristön vedentarpeen (Smakhtin *et al.* 2004).

Niukkuusindeksi Smakhtin *et al* (2004) mukaan:

WSI = niukkuusindeksi (water stress indicator)
WU = veden käyttö (water use)
WR = vesiresurssit (water resources)
EWR = luonnonympäristön veden tarve (environmental water requirement)

$$WSI = WU / WR - EWR$$

Ajatusta alueellisesta niukkuudesta on kehitelty myös tanskalaisessa Environmental design of industrial products (EDIP) keskipistemallinnus –menetelmässä. Keskipistemallinnus-menetelmällä tarkoitetaan yhtä elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnin lähestymistapaa, jossa valitaan jokin indikaattori kuvaamaan lopullista haittaa EDIP-menetelmässä vedenkulutus veden niukkuusalueilla tuottaa korkeammat pisteet kuin runsasvetisillä alueilla (Hauschild & Wenzel 1998). Mallinnuksen tulos kuvaa tuotteen vedenkulutuksen osuutta veden saatavuuteen asukasta kohden referenssivuonna 1990.

Ekopistemenetelmä (Frischknecht *et al* 2009) tuottaa ympäristövaikutuksia kuvaavat ekofaktorit lukuisille yhdisteille. Ekofaktorilla kerrotut tuotosvirrat voidaan yhdistää yhdeksi indikaattoriksi, jolloin laskenta pitää sisällään karakterisoinnin, normalisoinnin ja painotuksen. Veden osalta menetelmässä lasketaan mukaan kaikki systeemiin tuleva makea vesi, joka käytetään (*ei-haihtuva*) tai kulutetaan (*haihtuva*), paitsi vesivoiman tuottoon tarvittu vesimäärä. Vihreää, sinistä tai harmaata vettä ei erotella. Vedenkulutusta verrataan veden alueelliseen niukkuuteen, jota kuvataan tilastoidun vuosittaisen vedenoton ja saatavilla olevan vuosittaisen vesimäärän suhteella. Frischknecht *et al.* 2008 ovat tuottaneet kertoimia alueelliseen vertailuun valtioittain, OECD:n keskiarvolla sekä kuudelle eri alueellista veden niukkuutta kuvaavalle luokalle (*low, moderate, medium, high, very high ja extreme*). OECD:n arvion mukaan vesistressiä

ilmenee, mikäli vedenotto alueella ylittää 20 prosenttia veden uusituvasta määrästä vuosittain (Berger & Finkbeiner 2010). Tämä vastaa ed. mainitussa luokittelussa luokkaa medium tai sitä vakavampi vesistressi. Tilastot on poimittu FAO Aquastat palvelusta. Poliittisella ”distance-to-target” –menetelmällä määritellään nykyisen vedenoton suhde kriittiseen vedenoton määrään. Normalisointiin he käyttävät Sveitsin vesivarojen suhdetta vedenkulutukseen vuonna 2006. Sveitsiläisen tuotannon Eco-factor kerroin vedenkulutukselle oli tuona vuonna 22 EP/m³, Suomessa kerroin olisi 4,9 ja Espanjassa 990. Veden niukkuutta kuvaava suhde oli Suomessa 2,3 prosenttia ja Espanjassa 32 prosenttia.

5.2.2 UNEP/SETAC Life Cycle Initiative viitekehys vaikutusarviointiin

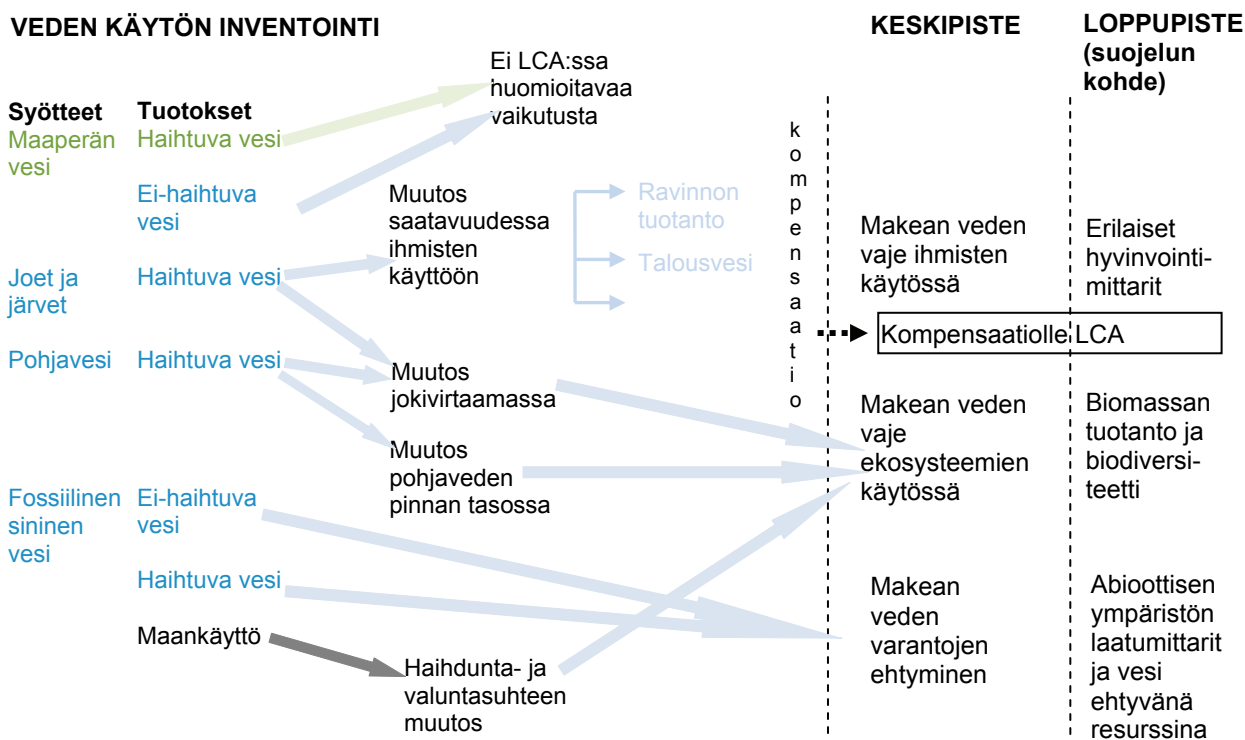
UNEP/SETAC Life Cycle Initiative on kansainvälinen kumppanuusohjelma, jonka taustalla ovat UNEP (United Nations Environment Programme) ja SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry). Kumppanuusohjelman toisessa vaiheessa (2007-2012) on tavoitteena vahvistaa globaalia konsensusta LCA-metodologian suhteen sekä edistää elinkaariajattelua päätöksenteossa ja parantaa elinkaariarvioinnin käyttöönoton mahdollisuuksia. Vaiheen 2 yhtenä projektina on ”Assessment of use and depletion of water resources within the LCA framework”. Hanke on toistaiseksi tuottanut yhden tieteellisen artikkelin vedenkulutuksen arvioimisen viitekehyksestä (Bayart *et al.* 2010). Ensimmäisessä vaiheessa tuotettiin julkaisematon dokumentti (Bauer *et al.* (2006) Impact category natural resource use: freshwater, unpublished, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative). Bayart *et al.* (2010) mukaan Bauerin dokumentin olennaisimmat suositukset ovat:

1. arviointimenetelmä pitää olla alueellinen hydrologisten olosuhteiden perusteella
2. makean veden kulutus aiheuttaa vaikutuksia, koska se alentaa makean veden pintaa sekä riittää vettä muilta käyttäjiltä ihmisen ympäristössä sekä ekosysteemissä
3. dokumentissa on määritelty tarkemmin erilaisia vesiresurssin tyyppejä
4. resurssin vähenemistä voidaan pitää ns. keskipistemallinnuksen vaikutuksena, kun taas vaikutukset ihmisen terveyteen ja biodiversiteettiin ovat loppupistemallinnuksessa käsiteltäviä haittoja
5. vaikutuksia luonnon resurssiin ei tulisi käsitellä, mikäli syy-seuraus-ketju on mallinnettu aina ihmisen terveyteen ja ekosysteemiin ulottuviin vaikutusluokkiin saakka
6. suositellaan käytettäväksi vaikutusketjumalleja, joissa nousee esille vaikutus ihmisen terveyteen sitä kautta, että joudutaan käyttämään laadultaan heikentyntä vettä, millä on alentava vaikutus ruoantuotannossa
7. kuivumisesta ja elinympäristöjen häviämisestä johtuvan, elintarvikkeille vaihtoehdoisen tuotannon vaikutukset sekä vaikutukset biodiversiteettiin tulisi huomioida

Bayart *et al.* (2010) esittävät vaikutusten arviointiin kolmeen vaikutusketjuun perustuvaa mallia (Kuva 10). Loppupisteitä nähdään kolme: **ihminen** (ihminen, työvoima), **elollinen ympäristö** (tuottavuus ja biodiversiteetti) sekä **eloton ympäristö** (eloton luonnon ympäristö, eloton luonnon resurssi sekä eloton ihmisen rakentama ympäristö), joille aiheutuneita haittoja tarkastellaan. Vaikutusta ihmiseen tarkastellaan vaikutusketjuissa, jotka liittyvät makean veden saatavuuden heikentymiseen ihmisen käyttöön oikeana aikana. Artikkelissa listataan skenaarioita, joissa vedenpuute vaikuttaa ihmisen eri toimintoihin esimerkiksi maatalouden osalta tuotetun ruuan määrän väheneminen johtaa aliravitsemukseen. Toisaalta listataan ns. kompensoivia skenaarioita, joissa tilannetta kompensoidaan jollakin muulla toiminolla, kuten ruoantuotannon alenemisen tapauksessa ruoantuonnilla tai tuotannon rakenteen muuttamisella.

Ekosysteemivaikutuksia tarkastellaan vaikutusketjuissa, jotka liittyvät makean veden saatavuuden heikentymiseen olemassa olevien ekosysteemien käyttöön. Keskipisteindikaattorina toimii puuttuvan veden määrä kuutioina ja loppupisteinä biodiversiteetti ja sille aiheutuvana haittana biologisen tuotannon aleneminen.

Kolmas vaikutusketjutyyppe liittyy käytössä olevan vesiresurssin vähenemiseen ja veden kestävämmästä käytöstä johtuviin vaikutuksiin tuleville sukupolville. Vesiresurssin vähenemistä tapahtuu käytettäessä uusiutumattomia, ns. fossiilisia vesivarantoja (ks. tietolaatikko luvussa 2), mutta myös silloin, kun uusiutuvia vesivaroja käytetään yli niiden uusiutumisnopeuden, mitä tulevina vuosikymmeninä saattaa esiintyä enenevästi (UNESCO 2006b).



Kuva 10. Vaikutusketjuja liittyen makean veden käyttöön. Yhdistetty lähteistä Bayart et al. 2010 ja Milà-i-Canals et al. 2009.

5.2.3 Milà-i-Canals:n vaikutusarviointimenetelmä

Milà-i-Canals *et al.* (2009) ovat kehittäneet vaikutusarviointimenetelmän, joka niinkään perustuu vaikutusketjuille. Artikkelissa tunnistetaan neljä vaikutusketjua:

- 1) veden käyttö, joka johtaa makean veden vajeeseen ihmisten käytössä,
- 2) veden käyttö, joka johtaa tulevien sukupolvien makean veden varantojen ehtymiseen,
- 3) veden käyttö, jolla on vaikutuksia ekosysteemin laatuun sekä
- 4) maankäytön muutokset, joilla on vaikutuksia ekosysteemin laatuun.

Loppupisteet eli suojelun kohteet, ovat ihmisen terveys, ekosysteemin laatu ja luonnon resurssit. Milà-i-Canals *et al.* (2009) eivät kuitenkaan määrittele tarkemmin haittoja ihmisen terveydelle, vaan keskittyvät kahteen ekosysteemin laatuun tai luonnon resurssiin kuvaavaan keskipistevaikutusluokkaan:

- a) makean veden väheneminen resurssina (FD Freshwater depletion) ja
- b) makean veden käytön vaikutus ekosysteemiin (FEI Freshwater ecosystem impact),

Näille vaikutusluokille (FD ja FEI) ehdotetaan myös karakterisointikertoimia useissa maissa ja tilanteissa käytettäväksi. Inventaarioanalyysivaihe sisältää mallinnettavia vaiheita ainakin haihtuvan veden osalta. Kastelun haihdunnan arvioimiseen ehdotetaan Chapagainin ja Orrin (2008) menetelmää, jota sovellettiin tomaattien viljelyyn avomaalla ja kasvihuoneissa. Tässä menetelmässä pyritään erottamaan sininen ja vihreä virtuaalivesi sekä haihtuva- ja ei-haihtuva veden kulutus (ks. sanasto). Harmaa vesi ja kastelussa viljelykasveilta hukkaan valunut tai syviin maakerroksiin suotautunut vesi muodostavat ei-haihtuvan veden kulutuksen (Chapagain & Orr 2008). Näitä ei enää huomioida vaikutusten arvioinnissa Milà-i-Canals *et al.* (2009) menetelmässä. Harmaa vesi tulisi kirjoittajien mukaan huomioida muissa vaikutusluokissa. Haihtunutta sadevettä (vihreä vesi) ei myöskään huomioida enää vaikutusten

arvioinnissa. Vihreän veden kulumisella ja ei-haihtuneella sinisellä vedellä voi Milà-i-Canals *et al.* (2009) mukaan olla paikallisia vaikutuksia, mutta ne on jätetty ehdotetusta vaikutusarvioinnin menetelmästä pois, koska paikalliset vaikutukset eivät kirjoittajien mukaan kuulu normaaliin elinkaariarvointiin. LCA:n soveltajille jätetään kuitenkin vapaat kädet halutessaan ottaa huomioon myös nämä vaikutukset.

Vaikutusten arvioinnista Milà-i-Canals *et al.* (2009) toteavat, että aikaisemmin esiteltyjä niukkuuden indikaattoreita WRPC (Falkenmark 1986), WUPR (Raskin *et al.* 1997) ja WSI (Smakhtin *et al.* 2004) voidaan käyttää karakterisointikertoimina kuvaamaan makean veden käytön vaikutusta ekosysteemiin. Kirjoittajat itse soveltavat Smakhtin *et al.* niukkuusindikaattoria (Milà-i-Canals *et al.* 2010).

Makean veden vähenemiseen resurssina Milà-i-Canals *et al.* (2009) esittävät käytettäväksi Guinée and Heijungs (1995) indikaattoria ADP (Abiotic depletion potential), jolla voidaan kuvata luonnonvarojen vähenemistä. Tätä on ehdotettu ensisijaiseksi menetelmäksi myös CML 2001 elinkaariarvioinnin ohjeistuksessa (Guinée *et al.* 2002).

Abioottisen resurssin väheneminen CML 2001 –ohjeistuksen mukaan:

ADP_i = abioottisen resurssin i (esimerkiksi pohjavesi alueella x) vähenemispotentiaali

ER_i = resurssin i käyttömäärä

RR_i = resurssin i uusiutumisenopeus

R_i = resurssin i kokonaismäärä

DR_{Sb} = referenssiresurssin kulumisnopeus

R_{Sb} = referenssiresurssin kokonaismäärä

$$ADP_i = ((ER_i - RR_i) / (R_i)^2) * ((R_{Sb})^2 / DR_{Sb})$$

5.2.4 Pfister:n vaikutusarviointimenetelmä

Stephan Pfister, Annette Koehler ja Stefanie Hellweg (2009) kokoavat yhteen vedenkulutuksen vaikutusarviointimenetelmiä LCA:ssa yhdeksi menetelmäksi. Ehdotetussa menetelmässä käsitellään vaikutuksia kolmessa loppupisteessä: ihmisen terveys, ekosysteemin laatu ja resurssit. Nämä ovat samoja kuin Eco-Indicator-99 –vaikutusarviointimenetelmässä, kuten koko vaikutusten arvioinnin toteutus. Lisäksi Pfisterin *et al.* (2009) menetelmässä lasketaan korjattu niukkuusindeksi (WSI) ks. 5.2.1.

Inventaariovaiheessa Pfister *et al.* (2009) ehdottavat vedenkulutuksen jakamista veden kulutukseen (consumptive use) ja laatua heikentävään käyttöön (degradative use) sekä lisäksi vedenkulutukseen vesiympäristössä (in-stream) ja vedenkulutukseen terestrisessä ympäristössä (off-stream). Menetelmä keskittyy ainoastaan veden kulutukseen, veden käyttö on jätetty pois. Veden kulutuksenkin osalta tarkastellaan ainoastaan sinistä vettä. Maatalouden osalta käytetään Chapagainin ja Hoekstran (2008) julkaisemaa taulukkoa viljelykasvien virtuaalisesta vedestä. Tämä sisältää kasvien haihdunnan sekä kasviin varastoituneen veden. Tästä virtuaalivedestä on erotettu laskennallisesti vihreä vesi pois.

5.2.5 Harris & Narayanaswamyn sekä Weideman vaikutusarviointimenetelmät

Australialaiset ovat kehittäneet omia menetelmiään maatalouden veden käytön vaikutusten arviointiin. Harris ja Narayanaswamy (2009) ovat kehittäneet mm. menetelmän, jossa käytetyn veden lähteet on määritelty suhteellisen tarkasti. Tuloksena on myös kahdenlaisia mittareita, pohjavedelle ja pintavedelle omansa. Ongelmana on menetelmän lähtökohtien poikkeaminen monista muista LCA-menetelmistä, jotka on kehitetty vesivarojen käytön kestävyuden arviointiin.

Sianlihan tuottajat teettivät LCA-tutkimuksen (Wiedemann *et al.* 2010), jota varten edellä mainittua menetelmää muokattiin ja täydennettiin rehuketjun vihreällä vedellä. He suosittelevat täydentämään laskelmaansa australialaisen sianlihan veden kulutuksen arvioista veden käytön ympäristövaikutuksilla.

Tässä lähestymistavassa sinisen veden kulutuksen laskennassa käytettiin Australian Tilastokeskuksen (ABS) ohjeistuksen mukaan määriteltyjä rajoituksia. Tuloksena on tilatason laskentamalli, joka huomioi sekä hydrologisen kierron että tilan toiminnot:

- Syötteet: sadanta, pumpattu vesi ja valunta pinnoilta systeemiin (mm. varastointi kastelujärjestelmiin)
- Tuotokset: kasvien transpiraatio, evaporaatio pinnoilta, haihdunta eläimistä, veden suotautuminen kastelujärjestelmistä, veden suotautuminen kasvien ulottumattomiin syviin maaperän kerroksiin sekä valunta pinnoilta ulos systeemistä

6 Materiaalivirtojen analyysi

Veden kulutusta ja käyttöä on tarkasteltu myös materiaalivirtoina osana talouden panos-tuotos malleja, materiaalivirtojen analyysiä (MFA = *Material Flow Account*) tai sekä MIPS (*Material Input Per Service*) analyyseissä. Esimerkiksi Daniels ja McBean (2009) esittelevät ja testaavat South-East Queenslandin talousalueella toteutetussa tutkimuksessaan vesijalanjäljen ja LCA:n rinnalle kolmatta systeemistä lähestymistapaa, joka perustuu materiaalivirtojen analyysiin (MFA) täydennettynä panos-tuotos tarkastelulla. Lähestymistapa ei sellaisenaan sovi tuotekohtaiseen tarkasteluun. Biologiset prosessit, kuten haihdunta kasvillisuudesta jäävät tässä tutkimuksessa huomioimatta, mutta ilmastolliset ja hydrologiset (fyysiset) prosessit ovat mukana. Tuloksena on keskimääräisiä arvioita vesitaseista eri tuotannon sektoreilla. Heidän tutkimusalueellaan veden kysynnästä merkittävä osa näytti kohdistuvan maatalous- ja elintarvikesektorille, mutta vesipolitiikkaa tehtiin yhdyskuntien tarpeiden perusteella.

Suomessa on tutkimustarkoituksissa tehty kansantalouden ainevirtatilinpidon malli, joka noudatti pääpiirteissään YK:n, Euroopan Komission ja OECD:n hyväksymän kansantalouden tilinpidon sarjaan kuuluvan käsikirjan *Integrated Environmental and Economic Accounting* (SEEA) 2003 luvun 3, *Physical flow accounts* ohjeistusta. Tätä ohjeistusta käytettiin apuna valmisteltaessa myöhemmin kansainvälistä vesitilastoinnin ohjetta (ks. luku 3.1). Malli testattiin vuoden 1999 tilastotiedoilla (Mäenpää 2005). Raportissa todetaan, että SEEA on systeemirajauksiltaan laajempi kuin perinteinen materiaalivirtatilinpito. SEEA ohjeissa viljelymaa sisällytetään talouteen, ei luontoon kuuluvaksi.

Viljelymaan aineen taseessa tuorepainot eritellään kuiva-aineeksi ja vedeksi, koska veden käsittely tässä taseessa on Mäenpään (2005) mukaan erityisen ongelmallista. Viljelymaiden veden laskennallinen haihdunta muodostuu talouden panosten ja tuotteiden vesipitoisuuden erotuksesta. Haihduntaa maaperän pinnalta ei ilmeisesti huomioida, vain transpiraatio. Koska tarkoitus on kuvata biologista aineenvaihduntaa materiaalivirtoin, laskelmat kasvintuotannon taseissa perustuvat kasvituotteiden alkuainekoostumukseen ja aineenvaihdunnan stoikiometriin malleihin. Kasvintuotannon taseet sisältävät kuitenkin vain kasvien biomassaan sitoutuneen veden, vaikka kasvit tarvitsevat huomattavasti suurempia vesimääriä kasvuunsa veden toimiessa myös ravinteiden kuljettajana, eikä pelkästään yhteyttämisprosessin osana. Näin maaperään satanut sadevettä (vihreä vesi) ei ilmeisesti kokonaisuudessaan huomioida. Myös kotieläimille laskettiin aineenvaihdunnan taseet, joissa vesi on mukana rehuissa, juomavetenä ja toisaalta hengityksen haihduntana sekä tuotteiden ja jätteiden tuorepainossa. Koko kotieläintuotannon taseessa ovat mukana myös pesuvedet.

Mäenpään laskelmissa (2005) vuosittaiset vesivirrat luonnosta tuotantoon arvioitiin Suomessa noin 36 544 milj. kg suuruisiksi ja virrat kotitalouksien kulutukseen 1863 milj. kg suuruisiksi. Luvut ovat kertaluokkaa suurempia kuin esimerkiksi FAO:n maakohtaisissa tilastoissa (ks. taulukko 2), joissa tilastoitu vedenotto kokonaisuudessaan ilmoitettiin noin 2,2 km³ (2200 milj. kg) suuruisiksi. Mekonnen & Hoekstra (2011) arvioivat Suomen suoran viljelykasvituotannon vuosittaiseksi vesijalanjäljeksi 5230 milj. kg. Mäenpään (2005) mallissa maa-, riista- ja kalataloustuotantoon laitettiin suurin osa vesipanoksista (33 122 milj. kg). Taseen output-puolella arvioitiin 101 513 milj. kg vettä haihtuvan vesihöyryinä ilmaan taloudesta. Tästä haihdunnasta maa-, riista- ja kalatalous yhdessä elintarvikkeiden valmistuksen kanssa vastasivat noin kolmasosasta ja massan, paperin jne. valmistus vastasi noin neljäsosasta.

Materiaalivirtojen analyysiin perustuu myös MIPS-tutkimus (*Material Input Per Service*), jonka menetelmissä inventoidaan tietyn tuotteen tai palvelun tuottamiseksi käytettyjä materiaalianoksia. Koko tuotantoketjua ei seurata elinkaariarvioinnin tapaan aivan raaka-aineiden alkulähteille asti. Tarkoituksena on kuvata suoria materiaalivirtoja biosfäärin ja teknosfäärin välillä. Materiaalianokset jaetaan MIPS-menetelmän määrittelemiін luokkiin, joista yksi on vesi. MIPS-menetelmä ei huomioi vihreää vettä, koska sadevettä ei oteta käyttöön teknisin toimenpitein. Keinokastelu ja sininen vesi kuuluvat MIPS-luokitteluun. Myös salaojituksella pois johdettu vesi voitaisiin laskea mukaan MIPS-veteen, mutta näin ei aina tehdä. Vesiturbiinin läpi kulkevaa vettä ei huomioida, koska sillä ei ole vaikutuksia biosfääriin. Tekoaltaiden padottu vesi kuitenkin huomioidaan. Suomessakin on arvioitu eräiden kotimaisten elintarvikkeiden materiaalianoksia MIPS-menetelmällä. Maatalouden veden käyttö MIPS-menetelmässä

muodostuu yleensä keinokastelusta, jatkojalostuksesta ja sähköntuotannon prosesseista. Suomessa veden käytön osatekijöistä korostuu vesivoimalla tuotetun sähkön veden käyttö, koska padottu vesi on mukana laskelmissa. Sähkönkulutus on taustalla tarkasteltujen elintarviketuotteiden suurimmissa MIPS-veden arvoissakin kiloa kohden, jotka saatiin kasvihuonekurkulle, tomaatille ja naudan lihalle. (Kauppinen *et al.* 2008).

7 Lähestymistapojen vertailu

UNEP ja YK:n *Global Contact* -verkoston vesialoite nimeltään *CEO Water Mandate* ovat yhteistyössä teettäneet arvioinnin yrityksille tarjolla olevista laskentatyökaluista (Morrison & Schulte 2010. *Corporate Water Accounting*). Asiantuntijoina oli yritysten, kansainvälisten organisaatioiden ja aloitteiden sekä korkeakoulujen edustajia. LCA-näkökulmaa edustivat mm. *UNEP-SETAC Life Cycle Initiative*, *ISO Working Group on Water Footprinting* ja Australiassa toimiva tutkimuslaitos CSIRO. Suomestakin oli kesällä 2011 liittynyt YK:n *Global Contact* -verkostoon 31 erikokoista yritystä tai organisaatiota. (<http://www.unglobalcompact.org/ParticipantsAndStakeholders/index.html>, viitattu 27.6.2011).

Corporate Water Accounting raportissa vesiresurssien kestävä käytön ja kulutuksen mittaamista pidetään osana trendiä, joka ilmenee yhä laajenevina rajauksina yrityksen riskien arvioinnissa. Yritysten käyttämät menetelmät epäsuorien vaikutusketjujen tarkasteluun ovat vielä yleisesti kehittymättömiä, ei pelkästään veteen liittyvät. Uutena teemana yritykset ovat heränneet tarkastelemaan veteen liittyviä vaikutuksia ja riskejä rinnan hiilijalanjäljen ja energiakysymysten kanssa. (Morrison & Schulte 2010).

Raportissa todetaan käsitteen ”vesijalanjälki” aiheuttavan sekaannuksia, koska tätä termiä käytetään epämääräisesti ilman viittauksia tarkempaan sisältöön. Kaikkiaan menetelmät yritysten vertailuun veteen liittyvien riskien ja vaikutusten suhteen edellyttävät vielä harmonisointia. Hämmennystä voi aiheuttaa myös lähestymistapojen yhdistäminen, kuten vesijalanjäljen laskentamenetelmien soveltaminen osana laajempaa LCA arviointia. Morrison & Schulte (2010) arvioivat *Water Footprint Network* -verkoston tukemaa vesijalanjälkikonseptia elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arvioinnin (LCA), *WBCSD Global Water Tool* -sovelluksen ja *GEMI Water Sustainability Planner and Tool* -työkalun rinnalla. Arvioinnin kriteerit liittyivät menetelmän alkuperäiseen tarkoitukseen ja käyttökelpoisuuteen, laskennan menetelmiin ja tulosten esittämiseen, veden laatutekijöiden huomioimiseen, vaikutusten arviointiin valuma-alue- tai ekosysteemitasolla ja veteen liittyvien yritysrisikien huomioimiseen.

WBCSD Global Water Tool ei ole varsinainen laskennan menetelmä, vaan enemmänkin yrityksen fyysistä toimintaympäristöä havainnollistava internet-sovellus. Sen avulla voi havainnollistaa yrityksen vesitaseen suhdetta paikallisen valuma-alueen tai koko valtion muihin toimijoihin. *GEMI Water Sustainability Tool* on taas yritysten kehittämä internet -työkalu, joka keskittyy riskien ja mahdollisuuksien analyysiin vesikysymyksissä. *GEMI Water Sustainability Planner* tarjoaa tuotantolaitoksen tasolle vastaavan työkalun. *GEMI*-työkaluja ei ole päivitetty, toisin kuin *WBCSD*:n työkalua. Edellä mainitut menetelmät soveltuvat Morrison & Schulte (2010) mukaan hyvin ensimmäiseen vaiheeseen yrityksen vesistrategiaa pohdittaessa. Ne ovat nopeita, halpoja ja yksinkertaisia työkaluja.

Vesijalanjälki-konseptin vahvuutena Morrison & Schulte (2010) pitävät vihreän ja sinisen veden erottelua, joka tukee hyvin yrityksen riskien tunnistamista ja strategista suunnittelua. Erityisen tärkeää tämä on maatalouteen perustuvilla tuotannonaloilla sekä merkittäviä maankäytön muutoksia aiheuttavilla aloilla, kuten kaivannaisiin tai metsään perustuvilla tuotantosektoreilla. Toisaalta kaikki eriväriset jalanjäljet yhdistävä vesijalanjälki nähtiin raportissa jopa harhaan johtavana.

Elinkaariarvioinnin (LCA) yleisenä vahvuutena raportissa (Morrison & Schulte 2010) pidetään niiden tieteellistä perustaa sekä ympäristö- ja terveysvaikutusten tunnistamista kaikissa ympäristön elementeissä. *UNEP/ SETAC Initiative 2007* nimissä on myös todettu, että LCA sopii parhaiten vertaamaan makean veden käyttöön ja muuhun ympäristön kuormittumiseen liittyviä vaikutuksia koko tuotteen tai palvelun elinkaaren ja toisaalta laajojen alueiden välillä. Paikalliset vaikutukset pitäisi arvioida jollain muulla menetelmällä, kuten riskinarvioinnin tai kohdekohtaisen ympäristövaikutusten arvioinnin menetelmin. (Koehler 2008).

LCA menetelmät arviointiin Morrison & Schulte 2010 raportissa tieteellisesti kehittyneemmiksi veden laatuun kohdistuvia vaikutuksia arviotaessa kuin vesijalanjälki-konsepti, mutta mitkään LCA menetelmät veden kulutuksen ja käytön vaikutusten arviointiin eivät raportin mukaan ole vielä laajalti hyväksytyjä. Lisäksi arviointitulosten viestiminen on vaativaa laskennan teknisen monimutkaisuuden vuoksi. Yhdysvalloissa LCA onkin usein yrityksen sisäinen prosessien ja tuotteiden kehityksen työkalu, jonka tuloksia ei viestitä suoraan asiakkaille. Koehler (2008) puolestaan visioi, että virtuaaliveden ja

vesijalanjäljen laskenta voivat yksinkertaisuudessaan innostaa kehittämään LCA prosessiakin helpommin lähestyttäviksi. Myös WBCSD:n työkalut voisivat tukea LCA prosessien kehittämistä ja erityisesti inventointeja (LCI) yrityksen näkökulmasta.

Daniels ja McBean (2009) korostavat vesijalanjälkeä kulutuksen mittarina verrattuna virtuaaliseen veteen, joka mittaa suuremmin tuotannon vesitehokkuutta. He näkevät vesijalanjäljen toimivana globaalin kulutuksen kestävyuden indikaattorina. Virtuaalisen veden laskenta sopii heidän mielestään taas hyvin osaksi elinkaaristen vaikutusten arviointia. Laskennassa olisi kuitenkin vielä tarkentamisen varaa, kuten epäselvyydet kasvillisuuden haihdunnan referenssitason määrittelyssä.

Aloitteita makean veden kulutukseen tai yleisemmin vesivarojen kestäväan käyttöön liittyviksi mittareiksi syntyy kuin sieniä sateella. Kaikkien kelvollistenkin poimiminen on mahdoton tehtävä. Aloitteita yritysten laskentatapojen ja työkalujen harmonisoimiseksikin on useita. Aika näyttää miten työkalut löytävät paikkansa. Taulukkoon 4. on koottu tämän raportin kirjoittajien näkemyksiä kolmen systeemanalyttisen lähestymistavan eroista ja yhtäläisyyksistä vedenkulutusta ja veden käyttöä koskeissa analyyseissä. Kaikissa lähestymistavoissa on tärkeää määritellä tarkoituksenmukaisesti systeemin rajat sekä huomioitavat veden lähteet ja veden käyttö- ja kulutusmuodot.

Taulukko 4. Kolmen systeemanalyttisten lähestymistavan vertailua vesikysymysten käsittelyssä

Kriteeri	Vesijalanjälki	Elinkaariarviointi (LCA)	Ainevirta-analyysi (MFA)
Systeemin rajat	Kohteena haihtuvat (<i>evaporative, consumptive</i>) vesivirrat eli veden kuluminen, ei tarkastella veden käyttöä tai kierrätystä systeemin sisällä Erottelee kulutetun veden alkuperän: sadevesi tai makea pinta- ja pohjavesi Voidaan arvioida laimennusveden tarvetta, sovellettu liukoisiin ravinteisiin Lasketaan makean veden kokonaiskulutusta ja voidaan arvioida kulutuksen kestävyyttä Aikaan ja paikkaan sidottu	Arvioidaan monien luonnonvarojen kulumista, käyttöä ja kuormittavia päästöjä, mutta vesivarat tai veden kulutuksesta ja käytöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset ovat olleet harvoin mukana arvioinneissa Menetelmäehdotuksissa inventoidaan veden kulumista ja käyttöä (<i>non-evaporative, non-consumptive</i>) usein niitä erittelemättä Vaikutuksia arvioidaan ns. vaikutusluokittain. Ehdotuksia vaikutus-luokiksi: mm. makean veden varantojen ehtyminen, makean veden vaje ekosysteemeissä, vaikutukset ihmisen terveyteen vesistressin alueilla jne. Ei aikaan sidottu, vaan toiminnalliseen yksikköön	Ei yleensä erotella haihtuvaa ja ei-haihtuvaa veden käyttöä MIPS laskennassa ei mukana vihreää vettä, mutta padottu vesi huomioidaan Vesivirrat ja vesivarannot, ei vaikutusten arviointia Aikaan sidottu, usein yksi vuosi
Kriteeri	Vesijalanjälki	Elinkaariarviointi (LCA)	Ainevirta-analyysi (MFA)
Alkuperä ja käyttäjien hyväksyntä	Julkaistu vuonna 2011 laajan kansainvälisen WF verkoston käsikirja, joka tavoittelee standardia Uudehko yksityiselle sektorille Vihreän ja sinisen jalanjäljen laskenta ja niiden taustalla oleva virtuaaliveden käsite vahvempia kuin harmaan vesijalanjäljen laskenta ja kestävyuden arvioinnin toteuttaminen	LCA on tunnettu tuotteiden, yritysten ja systeemitason arvioinneissa, ISO 14040 standardi Tarjolla useita arviointimenetelmiä rehevöittävien ja toksisten päästöjen vaikutuksiin pinta- ja pohjavesissä Veden käyttöön ja kulutukseen liittyvät vaikutusten arvioinnin menetelmät uudehkoja, kehitystyö vilkasta	Systeemitason arvioinnit, ei standardia. MIPS-menetelmä soveltuu myös tuotteiden ja palveluiden materiaalipanosten arviointiin. Vesi on yksi menetelmän materiaalipanosten luokista.

Vertailudatan saatavuus	www.waterfootprint.org sivustolla linkit julkaisuihin, joissa vapaasti ladattavissa laajat vertailutaulukot	Tieteellisiä artikkeleita tutkituista prosesseista ELCD* avoin tietokanta valikoiduille materiaaleille ja prosesseille, vesivirtoja voi olla mukana inventaarioissa. ELCD ei sisällä mitään kokonaisia elintarvikeketjun prosesseja. Lisäksi muita kaupallisia ja avoimia tietokantoja	MIPS vertailutaulukko ** keskimääräisistä materiaali-intensiteeteistä, mukana vesi (kg/kg), useita elintarvikkeiden raaka-aineita
--------------------------------	---	--	---

* <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfocub/datasetArea.vm> ** http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/MIT_2011.pdf

Erityisen suuria eroja menetelmien välillä on vedenkulutuksen inventoinnin jälkeisissä vaiheissa. Elinkaariarvioinnissa käytettävästä vaikutusten arvioinnissa on toistaiseksi olemassa runsaasti erilaisia ehdotuksia, jotka sisältävät erilaisia vedenkulutukseen liittyviä vaikutusluokkia ja samantyyppisiin vaikutusluokkiin eri karakterisointikertoimia. WFN:n kestävyuden arviointi on menetelmänä hyvin löyhästi ohjeistettu ja sitä voidaankin soveltaa hyvin eri tavoin. Näin ollen, vaikka useat menetelmistä soveltuvat nykyisellään erittäin hyvin yleisen tietoisuuden lisäämiseen ja yritystasolla oman ketjun veden kulutuksen kestävyuden kannalta olennaisten kohtien tunnistamiseen, ei eri tavoin laskettuja vesijalanjälkiä tai arvioita vedenkulutuksen kestävydestä tulisi vertailla. Ne täydentävät toisiaan.

Samaan täydentämisen ajatukseen päätyvät myös asiantuntijat *UNEP-Mandate* työpajassa, joka järjestettiin valmisteltaessa Morrison & Schulte (2010) raporttia yritysten veden käytön ja vaikutusten mittaamisesta. Samassa työpajassa suhtauduttiin osin varauksella harmaan vesijalanjäljen laskennan hyödyllisyyteen. Morrison & Schulte (2010) arvioivat laajemminkin miten eri työkaluissa on huomioitu veden laatu. Oheiseen taulukkoon 5 on koottu keskeiset erot vesijalanjälki-konseptin ja LCA menetelmien lähestymistavoilla. Yleisesti veteen liittyvien laskentamenetelmien aloitteita toivottiin harmonisoitavaksi, koska hämmennyksen vaara on ilmeinen. (Pacific Institute 2009).

Taulukko 5. Lähestymistapa vesien pilaamiseen

Kriteeri	Vesijalanjälki	LCA
Lähestymistapa	Laimennusveden tilavuus	Pilaavien aineiden massa tai tilavuus inventaariovaiheessa
Mitä arvioidaan?	Haitallisimman komponentin liukoinen määrä (usein tyyppi) ja paikallisen vesistön tila suhteessa tausta-arvoon ja pitoisuuden ohjearvoihin	Eri vaikutusluokkia mihin pilaavat ainesosat voivat vaikuttaa; mm. rehevöityminen, happamoituminen, toksisuus, ilmastonmuutos ja ihmisen terveys
Mahdolliset heikkoudet ja puutteet	Vain yksi pilaava komponentti, ei lainkaan suoria mittauksia ja tieteellistä arviointia mittaustuloksista	Ei tarkastella yleensä paikallisia vaikutuksia esimerkiksi yhden vesistön tasolla, mutta aluetasolla voidaan käyttää alueellisia karakterisointikertoimia

7.1.1 Tuotekohtainen lähestymistapa

Systemianalyttisistä menetelmistä tuotekohtaiseen vesijalanjälkeen purettu erityisesti kansainvälisen vesijalanjälkiverkoston (WFN) metodiikka sekä erilaiset vedenkulutukseen laajennetut elinkaariarvioinnin metodiikat. Molempia lähestymistapoja on käytetty elintarvikesektorin yrityksissä, myös tuotekohtaiseen tarkasteluun. ISO/TC 207/SC 5 työryhmä vesijalanjäljen laskennan harmonisoimiseksi tulee ottamaan kantaa näihin molempiin lähestymistapoihin.

Water FootPrint Network:n vesijalanjälkilaskennan kehittäjät tarjoavat myös runsaasti käyttökelpoista dataa soveltajille käyttöön. Tämä tekee menetelmästä yritysten kannalta houkuttelevan vaihtoehdon. Yrityksille on saatavissa muitakin helposti käyttöön otettavia menetelmiä, kuten vedenkulutuksen inventointiin tarkoitettu WBCSD:n Global Water Tool.

EDP-systeemi on yksi kansainvälinen esimerkki aloitteesta kehittää tuotekohtaista ympäristöinformaatiota ja kuluttajaviestintää. Systeemi perustuu rekisteröityyn tuotemerkkiin, joka on luotu ISO 14025 standardin mukaisesti. Sen avulla voi kehittää ja julkaista tuotekohtaisia ympäristötehokkuuden julkilausumia (EDP= Environmental product declaration). Jokaista tuoteryhmää varten luodaan sääntöjä laskentaa ja viestintää varten (PCR = Product category rules). EDP systeemiin on kehitetty tuotteiden merkintää varten oma mittatikka. Pasta on ilmeisesti ensimmäinen elintarvike, jonka sääntöihin vesijalanjälki on otettu mukaan ja italialainen Barilla on soveltanut tätä ohjeistusta omiin pastatuotteisiinsa. Säännöissä viitataan suoraan kansainvälisen vesijalanjälkiverkoston kehittämisiin menetelmiin. Pastan PCR on ladattavissa internetistä: <http://www.environdec.com/en/Product-Category-Rules/Detail/?Pcr=5874>.

Elinkaariarvioinnin menetelmät vedenkulutuksessa tekevät vasta tuloaan. ISO 14046 standardointityö laskentamenetelmästä vedenkulutuksen liittämisestä elinkaariarviointiin on käynnissä. Useasta kysymyksestä kuten rajauksista ja vaikutusten arvioinnista on elinkaariarvioinnin maailmassa esitetty useita varteenotettavia menetelmävaihtoehtoja. Kuitenkaan kovin paljon ei ole vielä kertynyt kokemuksia elintarvikkeiden elinkaariarvioinneista, joihin vesi olisi sisällytetty. Tuotekohtaisia merkintöjä vedenkulutuksesta on arvioitu englantilaisen *Food Ethics Council* neuvoston raportissa (Segal & MacMillan 2009). Brittein saarilla kuluttajien tietoisuus globaalista vesikriisistä ja heidän vaikutusmahdollisuuksistaan on vielä vähäistä eikä veden kulutus näy tuotteiden hinnoissa. Raporttiin on taustaksi koottu poliittisia aloitteita, joissa on elementtejä myös piiloveden hallinnan kehittämiseksi. Kansainväliset aloitteet kestävän veden käytön edistämiseksi eivät yleensä ole ottaneet kantaa tuotekohtaisiin merkintöihin. Kirjoittajat eivät pidä vesijalanjälkeä soveltuvana tuotteiden merkintään ja vertailuun. Riskit laskennan tulosten ja merkinnän odottamattomalle tulkinnalle ovat suuret. He toteavat tuotekohtaisten vesijalanjälkien vertailun hyvin monimutkaiseksi prosessiksi ja oikeastaan käytännössä mahdottomaksi toteuttaa. Toistaiseksi pisimmälle viety WFN:n vesijalanjäljen laskentamethodiikka ei sekään tarjoa vielä riittävän pitkälle vietyä ohjeistusta, jotta sen avulla voitaisiin laskea aidosti vertailukelpoisia vesijalanjälkiarvoja tuotteista. Vesi on todettu tärkeäksi elementiksi myös moniin eri kriteereihin perustuvissa tuotteiden ympäristömerkinnöissä, mutta standardoitavat menetelmät ovat vasta kehitteillä.

Englannissa syntyneitä aloitteita ovat mm. *Waterwise Marque* vesitehokkaiden tuotteiden palkitsemiseksi, *Water Witness International* (WWI) hanke *WaterMark* -sertifioinnin edistämiseksi ja *WWF Freshwater* ohjelman kehittämä menetelmä valuma-aluekohtaisen veden käytön arvioimiseksi, joka huomioi myös piiloveden. WWI on liittynyt globaalia sertifiointia edistävään *Alliance for Water Stewardship* aloitteeseen, joka sekin perustuu vapaaehtoisuuteen. Tarkoituksena on käyttää olemassa olevia laskennan ja arvioinnin menetelmiä, lähinnä Water Footprint Network verkoston kehittämistä. Loppupäätelmissään kirjoittajat suosittelvat vesiasioiden huomioimista koko yrityksen kattavassa johtamisjärjestelmässä (*Water Stewardship*), joka voitaisiin sertifioida. (Segal & MacMillan 2009).

8.1 Vedenkulutus ja suomalaiset elintarvikeketjut

8.1.1 Suomalainen näkökulma

Suomella on runsaat makean veden varat suhteessa kulutukseen. Olemme myös varsin itsenäisiä vesivarojen suhteen. Tämä antaa Suomen elintarvikesektorille yleisesti mahdollisuuksia ja potentiaalista kilpailuetua tulevaisuudessa. Suomessa vesi-intensiivisten maataloustuotannon alojen, kuten lihantuotannon harjoittaminen harvoin törmää kilpailutilanteeseen vedestä eri toimijoiden välillä.

Suomalaisen elintarvikeketjun suorat (primäärit) vaikutukset vesivaroihin kohdistuvat meillä pääosin pintavesien laatuun eli ns. harmaaseen vesijalanjälkeen. Pintavesiin päätyvä merkittävä osa viljelymaille satavasta vedestä sekä elintarviketeollisuuden jätevesistä niiden käsittelyn jälkeen. Elintarvikeketju onkin merkittävä rehevöittäjä Suomessa (esim. Seppälä, J. *et al.* 2009). Tärkeillä pohjavesialueilla elintarviketeollisuudella on mahdollisuus käyttää suhteellisen hyvälaatuista raakavettä, mutta toisaalta riskit pohjaveden pilaantumiselle voivat olla merkittäviä. Elintarvikeketjusta erityisen huomion kohteena ovat viimeksi olleet erikoiskasvien viljelyssä käytetyt kasvinsuojeluaineet (Selvitys pohjavesialueiden rajaamisen menettelystä. Loppuraportti. 2010). Yleisin peltoviljelyn aiheuttama pohjavesihaitta on lannoitteista ja lietalannasta peräisin oleva nitraattipitoisuuden nousu (Vesien suojeleminen suuntaviivat vuoteen 2015, 2006).

Veden niukkuustilanteissa vedenottoa ja vesivoimaan liittyvää säännöstelyä voidaan meillä ohjata lainsäädännön keinoin ja tukeutuen vesistökohtaisiin seurantoihin. Tämä tuo ennustettavuutta ja parantaa näin riskien hallintaa niin alkutuotannossa kuin jalostuksessa. Vesilain uudistuksessa veden ottamista koskevaa etusijajärjestystä ehdotetaan tarkistettavaksi siten, että se entisestään korostaa paikallisten tarpeiden ensisijaisuutta. Toisaalta lakiuudistuksessa huomioidaan karjatalouden keskittyminen yhä suurempiin yksiköihin sekä eritellään tavanomainen kiinteistökohtainen veden käyttö, kuten puutarhan kastelu laajamittaisesta peltojen kastelusta. Suurilla yksiköillä ei olisi samanlaista erityisoikeutta veden johtamiseen kuin vanhan vesilain 1 luvun 16 §:n mukaan on ollut koti- ja karjataloudella tai kotipuutarhoilla. (HE 277/2009 Eduskunnalle vesilainsäädännön uudistamiseksi).

Keinokasteluun on käytetty Suomessa määrällisesti niin vähän vettä, ettei sillä yleensä ole ollut merkitystä muulle vedenkäytölle eikä merkittäviä vaikutuksia ottovesistön tilaan. Kastelun merkitys sadolle voi kuitenkin olla määräänsä nähden suuri kuivina kausina. Hydrologisten olojen muuttuessa kesäkauden kuivuusjaksot voivat kuitenkin pidentyä, jolloin kastelun tarve lisääntyy Suomessakin (Maankuivatustoiminta ja sen kehittämistarpeet. Selvitys. 2010). Kastelun lisääntymisen aiheuttamiin ongelmiin ja kasteluvien laatuun on haluttu kiinnittää huomiota esimerkiksi kansallisen vesivarastrategian kehittämistarpeita kartoittaneessa selvityksessä (MMM 2009).

Myös lisääntyvien rikkasateiden aiheuttamaan peltomaiden märkyyteen ja valunnan lisääntymiseen pitäisi varautua. Selvityksessä maankuivatustoiminnasta ja sen kehittämistarpeista esitetään sopeutumiskeinoja esimerkiksi säätösalojitusten ja kosteikkojen hyödyntämistä niille sopivilla alueilla. Selvityksessä todetaan, että vuosituhaten vaihtuessa koko Suomen peltoalalle oli rakennettu peruskuivatus vähintään kertaalleen. Nyt kuivatusjärjestelmiä peruskorjataan ja kunnostetaan, mutta ei salaojituksen tavoiteohjelman mukaisesti. Haasteena kuivatuksen toteuttamiselle esitetään tarve kehittää menetelmiä kokonaisvaltaisemmin tukemaan ympäristön tilan parantamista. Tulvariskien hallintaa ohjaa osin EU:n tulvadirektiivi, jonka toimeenpano on maa- ja metsätalousministeriön johdolla aloitettu vuonna 2008. (Maankuivatustoiminta ja sen kehittämistarpeet. Selvitys. 2010).

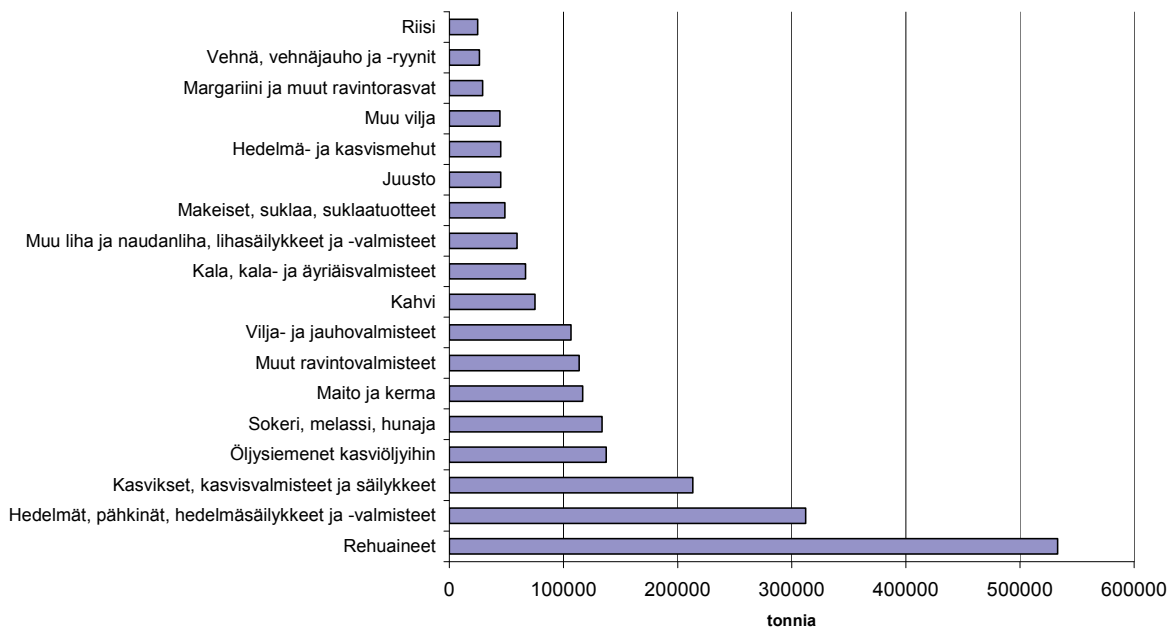
Suhteessa globaaliin viljelykasvien tuotannon vesijalanjälkeen Suomi on todella pieni toimija (0,07 %) ja niin on sen suora viljelykasvituotannon vesijalanjälkikin ($5,23 \times 10^9 \text{ m}^3$). Mekonnen & Hoekstra (2011) arvioivat suomalaisten kuluttavan tuontituotteissa virtuaalista vettä suhteessa enemmän kuin vientituotteisiin on ”piilotettu” vettä (nettotuonti ml. harmaa vesi noin $3,3 \times 10^9 \text{ m}^3$). Tätä suhdetta muuttamalla voitaisiin edistää globaalia vesisolidaarisuutta. Vesisolidaarisuutta on käsitelty suomalaisessakin tutkimuksessa veden siirroista (Andersson 2011). Andersson pitää tuotteiden

virtuaaliveden kauppaa yhtenä laajamittaisten veden siirtojen vaihtoehtona. Varsinaista globaalia vesikauppaa hän käsittelee kriittisesti korostaen veden merkitystä myös ei-kaupallisena hyödykkeenä. Suomesta on myyty vain vähäisiä määriä vettä ulkomaille, mutta vesikaupalla lienee Anderssonin mukaan tulevaisuudessa entistä suurempi merkitys.

Andersson (2011) toteaa virtuaalivesikaupan tarjoavan ratkaisua lähinnä vain vesiturvallisuuden näkökulmasta. Se ei ota huomioon ruoantuotantojärjestelmien luonnetta eikä muita tekijöitä, kuten maaperän eroosiota, vaikutuksia biodiversiteettiin tai pilaantumiseen. Lisäksi maat voivat haluta olla ravinnontuotannossaan omavaraisia ja poliittisesti itsenäisiä.

Vesiturvallisuuden näkökulmasta vedenoton sekundääriset vaikutukset virtuaaliveden tuontimaissa voivat tosiaan olla merkittäviä; erityisen huolissaan tulisi olla suurista piilovesivirroista kaikkein pahimmilta vesikriisin alueilta. Riskejä liittyy myös maataloustuotantoon alueilla, joilla maapolitiikka ei ole tasapuolista ja selkeisiin pelisääntöihin perustuvaa. Tällaisilla alueilla maaomistustaan ja tuotantoon kasvattavat usein sellaiset globaalit elintarviketuotannon toimijat, jotka etsivät edullisia ja vesivaroiltaan viljelyyn soveltuvia kohteita hyödyntääkseen niitä taloudellisesti kiinnostavien vientituotteiden tuottamiseen (*water grabbing*). Tuotannon paikallistaloudellista tai sosiaalista kestävyyttä ei ole tarvinnut välttämättä huomioida eikä myöskään ekosysteemipalveluita alueella.

Elintarvikkeiden tuontimääriä Suomeen vuonna 2010



Kuva 11. Eräiden elintarvikeryhmien tuontimäärät (t) Suomeen vuonna 2010. Lähde ULJAS-ulkomaankauppatilastojen jakelujärjestelmä, SITCrev4, luokka3. (<http://uljas.tulli.fi>, haku 28.6.2011)

8.1.2 Yrityksen vesistrategia ja vastuullinen hankinta

Globaali vesikriisi ravinnontuotannossa haastaa laajentamaan tarkasteltavan systeemin rajat globaaleiksi ja huomioimaan erityisesti ravinnon tuotantoon soveltuvan makean veden kulumisen. Tämä teema tulee uutena aikaisempien ympäristö- ja yhteiskuntavastuun kysymysten, kuten pilaamis-, energia- ja hiilijalanjälkikysymysten rinnalle.

Vesijalanjälkeä ja veden kulutuksen vaikutusten arviointia voidaan pitää tärkeänä osana yrityksen yhteiskuntavastuuta ja myös suurena mahdollisuutena suomalaisen elintarvikeketjun näkökulmasta. MTT ja VTT järjestivät maaliskuussa 2011 työpajan, jossa oli useita elintarvikeketjun edustajia keskustelemassa vesijalanjäljestä. Yritystasolla arvoketjusta saattaa tulla nopeallakin aikataululla vaatimuksia vesijalanjäljen suhteen. Työpajassa (Vesijalanjälki suomalaisessa arvoketjussa 2011) tämä nähtiin uhkana suomalaisille elintarvikeketjuille, jos katsotaan vain absoluuttisia vedenkulutusmääriä suhteuttamatta niitä alueelliseen niukkuuteen. Tämä uhkakuva on tiedostettu myös mm. ISO 14046-standardointityössä.

Teknologian taso on korkea Suomessa, mikä parantaa asemia globaalissa vertailussa. Silti vaikka korkea teknologia mahdollistaa suhteellisen alhaisen vedenkäyttöasteen, on yrityksen kuitenkin syytä tarkistaa omaa vedenkäyttöään hyvän maineen säilyttämiseksi. Myös Lundqvist *et al.* (2008) painottavat johtopäätöksissään, että vettä on käytettävä säästeliäästi koko elintarvikeketjussa ja kulutuksen näkökulma on tuotava mukaan kestävään vesivarojen hallintaan. Globaali kestävä ravinnontuotanto edellyttää myös vesitehokkuuden lisäämistä alkutuotannossa: enemmän ravintoa vähemmällä vedellä.

Suomalaisten elintarvikeyritysten ympäristöjohtamisessa on varmasti mukana vesiteemoja, mutta yleensä ne rajoittuvat suoraan veden käyttöön ja vesien kuormitukseen. Jotta yrityksen ympäristöjohtamisessa päästäisiin kiinni olennaisiin kohtiin, tulisi yrityksen oman tiedonkeruun ja tilastoinnin olla tarkoituksenmukaisella tasolla. Yritysten veden käytön tilastointia tulisi mm. kehittää niin, että makean veden ja Itämeren suolaisen veden käyttö erottuvat. On myös todettu tarpeelliseksi eritellä veden käyttö lauhdutukseen muusta käytöstä (Vainikainen 2010). Vastaavia rajauksia on kansainvälisen yritysten raportointia kehittävän tahon (GRI) ohjeistuksessa (Kts. tietolaatikko).

GRI mittarit

Kansainvälinen yritysten raportointia kehittävä taho (GRI) on antanut vuonna 2011 uudistetut ohjeet mm. mittareista, joilla seurataan yrityksen kestävä kehityksen ympäristötekijöihin vaikuttamista. Jätevesien tilastoinnin lisäksi vesivarakysymykset on tiivistetty kolmeen mittariin:

1. Kokonaisvedenotto vesilähteittäin,
2. Merkittävät vesilähteet, joihin yrityksen vedenotto kohdistuu ja
3. Osuus tai kokonaismäärä uudelleen käytettyä tai kierrätettyä vettä koko veden käytöstä.

On tärkeää, että vesijalanjälkeä ei yrityksessä käytetä pelkästään yksittäisenä työkaluna vaan osana laajempaa kokonaisuutta, huomioiden myös muut ympäristövaikutukset. Veden kulutus ja sen kestävyys on itsessään hyvin laaja kokonaisuus, jonka hallintaan yritystasolla saatetaan tarvita laajempaa vesistrategiaa.

Suomalaisilla elintarvikeyrityksillä on merkittävä rooli piiloveden tuonnissa, minkä vuoksi vesikysymys on olennaista linkittää nimenomaan vastuullisen hankinnan kysymykseksi. Ei välttämättä riitä, että tunnistetaan suurimmat vesiriskit hankintaketjussa ja vältetään niitä. Vastuullisen hankinnan keinoin on mahdollista myös tukea vedenkulutuksen vähentämistä vesikriisin koettelemilla alueilla. Maailmalta löytyy runsaasti esimerkkejä innovatiivisista ja vastuullisista tuottajista, jotka ovat kehittäneet vaikeiden olojen elintarviketuotantoa. Esimerkiksi Egyptissä tuotetaan kalaa kala-altaissa alueilla, jotka eivät suolaantumisen takia enää sovellu viljan viljelyyn. Altaissa käytetään maatalouden valumavesiä (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture 2007). Loppujen lopuksi vesikysymys palautuu aina alueelliseksi vedenkäytön ja -kulutuksen kestävyys kysymykseksi. Vesivarat ovat osa maan ekosysteemipalveluja ja siksi ne tulisivatkin alueellisessa päätöksenteossa nähdä osana maankäyttöön liittyvää kokonaisuutta. Kestävällä maankäytöllä vesivarat voidaan jakaa tasapuolisesti eri käyttötarkoituksiin ja lisäksi ekosysteemipalveluille. Vaikka vettä säästävää teknologiaa olisikin olemassa, ovat teknologian käyttöönoton esteet (esimerkiksi köyhyys, aluepolitiikka, maapolitiikka) kuitenkin usein erittäin voimakkaita tekijöitä, joihin voitaisiin vaikuttaa vastuullisen hankinnan keinoin.

8.2 Vedenkulutuksen arviointimenetelmät ja datat - kehitysnäkymiä

8.2.1 Veden saatavuus- ja kulutusdatat

Niukkuusindeksi kuvaa veden kulutusta suhteessa saatavuuteen. Niukkuusindeksejä voidaan elinkaariarvioinnissa käyttää sellaisenaan inventaariotulosten painottamisessa. Niukkuusindeksien idea on, että ne ovat alueellisia, mutta todellisuudessa ne ovat usein esimerkiksi valtiokohtaisia. Alueellisten niukkuusindeksien kehittäminen olisikin monella alueella tarpeellista vedenkulutuksen todellisten vaikutusten selvittämiseksi.

Myös vesijalanjälkilaskennan käsikirjassa (Hoekstra *et al.* 2011) nostetaan esille (liite 5) tarve vesistökohtaisiin arvioihin veden saatavuudesta. Saatavuus pitäisi kytkeä vesistöjen ja kosteikkojen ekosysteemien sekä ihmisten hyvinvoinnin turvaamiseksi tarvittaviin vesimääriin. Tästä käytetään laajemminkin nimitystä ”*environmental flow requirement (EFR)*”. EFR:n määrittelemiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä, mutta vaikeutena on löytää maailmanlaajuiseen vertailuun sopiva lähestymistapa, joka ei ole liian yksinkertaistava.

Harmonisoitu tietojen keruu tilastoja varten tuottaa vertailukelpoisia tietoja makean veden varoista ja virroista biosfääriin ja teknoosfääriin välillä. Tilastointia ohjaa kuitenkin usein tekninen näkökulma, joka perustuu vesitaseeseen ja tilastoyksiköt kuvataan vedenoton ja veden käytön termein. Kulutuksen näkökulma on rajallinen eikä esimerkiksi maaperään varastoitunutta vihreää vettä oteta yleensä huomioon. Menetelmien kehittyessä tilastoinnin suositusta voidaan muuttaa. Esimerkiksi kaukokartoituksen menetelmiä kehitetään laajojenkin alueiden maaperän vesimäärän mittaamiseksi (International recommendations for water statistics IRWS 2010).

Suomessa vedenotto ja vesien käyttö on suhteellisen säädeltyä. Saatavilla olevaa fyysistä vesimäärää arvioidaan kehittynein vesistömallin ja lupien myötä saadaan tietoa merkittävimmistä veden ottajista ja veden käyttäjistä. Kastelun osalta EU-maissa ollaan parhaillaan päivittämässä tietoja maa- ja puutarhatilojen kastelusta. Kastellun alan ja kasteluveden alkuperän lisäksi tilastokeskukset odottavat tietoa siitä miten kasvilajien vaatimat kasteluvesimäärät vaihtelevat. Tietojen pohjalta voidaan päätellä mitkä ruokakasvit saadaan viljeltyä pienimmällä vesijalanjäljellä ja missä vedenkäyttöä olisi tehostettava. Suomessa kastellun pinta-alan määrät kysyttiin kaikilta tiloilta osana Maatalouslaskenta 2010-tutkimusta. Osalta tiloista kysyttiin myös käytössä olevista kastelumenetelmistä sekä kasteluveden alkuperästä. Laskennallinen vedenkäyttö kasvilajeittain arvioidaan Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen MTT:n Peltotohtori-ohjelman avulla. (Jaakkonen 2010).

Tilastoinnilla on tärkeä merkitys vedenkulutuksen arvioinneissa, koska monet, erityisesti vihreän veden arviointiin pyrkivät mallit perustuvat tilastotietoihin. Tilastoinnin kehittyminen ja siirtyminen varsinkin maantieteellisesti isoissa valtioissa maakohtaisista vesitilastoista alueellisiin tilastoihin, parantaisi mallien luotettavuutta huomattavasti.

8.2.2 Arviointimenetelmien kehitysnäkymiä

Vesijalanjäljen arvioinnin käsikirjassa (Hoekstra *et al.* 2011) pohditaan laajasti menetelmien ja ohjeistuksen kehittämistarpeita. Erityisen tärkeänä pidetään harmonisoitujen menetelmien kehittämistä vedenkulutuksen vaikutusten arviointiin.

Varsinaisesta vesijalanjälkilaskennasta todetaan, että rajauksen ohjeistusta tulee vielä kehittää niin, että voidaan suoraan rajata joitakin osa-alueita pois. Tämä on ketjun kehittämisen näkökulmasta tärkeää, koska voitaisiin keskittää voimavaroja olennaisimpiin kohtiin. Toinen kehittämiskohde on muuttujien vaihtelun käsittely sekä ajallisen vaihtelun hallinta. Esimerkiksi kastelumäärät vaihtelevat vuosittain paljon. Eri veden lähteiden suhteen nähdään joissakin tapauksissa tarpeelliseksi tehdä vielä tarkempaa erottelua esimerkiksi sinisen veden osalta jaottelua pinta- ja pohjavesiin. Harmaan vesijalanjäljen kehittämiskohteena käsikirja (Hoekstra *et al.* 2011) esittää harmaan vesijalanjäljen jakamista osiin eri pilaavien komponenttien suhteen.

Elinkaariarvioinnissa yksi tärkeimmistä kehitystä viitoittavista töistä on ISO 14046 –standardointi, jonka linjaukset mm. eri lähteistä peräisin olevista vesistä tulevat määrittelemään paljon tulevia elinkaariarviointitöitä. Veden kulutuksen liittämiseksi elinkaariarviointiin mutkikkain kysymys lienee vaikutusten arviointi. Ongelmana on toistaiseksi hajanaisuus vaikutusluokissa sekä vaikutustulosten laskentaperusteissa. Esimerkiksi Bayart *et al.* (2010) toteavat, että paljon lisätutkimusta tarvitaan, jotta voidaan tuottaa karakterisointikertoimia ekosysteemivaikutusten arvioimiseksi. Vaikutukset ihmisen terveyteen eivät liene sen helpommin arvioitavissa. Vaikutustulosten laskentaperusteet ja vaikutusluokkienkin huomioiminen ovat vielä varsin hajanaisia vedenkulutuksen ympäristövaikutuksia arvioitaessa.

8.2.3 Globaalit vertailutiedot

Globaaleja laskentamalleja kasvintuotannon vedenkulutukselle ja eri tuotteiden virtuaaliveden kaupalle on kehitetty ja kehitetään edelleen monilla tahoilla (Hoff *et al.* 2010, Mekonnen & Hoekstra 2010a).

Mallien alueellista tarkkuutta on voitu tarkentaa, kun käyttöön on saatu hienojakoisempia malleja mm. eri kasvien viljelyalueista ja satotasoista. Esimerkiksi WFN verkoston julkaisemista tietokannoista löytyy nyt 5 x 5 asteen maankäytön ruudukkoon perustuvan mallin tulokset (Mekonnen & Hoekstra 2010a). Tärkeimpien viljelykasvien virtuaalivesiä arvioitiin aikaisemmin tuotetuissa virtuaaliveden kauppatilastoissa pääosin erilaisten kansallisten tilastojen avulla (Chapagain & Hoekstra 2004). Maankäytön lisäksi alueellisesti tarkempaa tietoa pyritään tuottamaan muistakin mallien komponenteista, kuten kastelusta ja maaperän kosteudesta.

Muuttuvaa taustatietoa ovat myös vienti- ja tuontitilatot, joita käytetään virtuaaliveden kaupan malleissa. Mekonnen & Hoekstra (2011) arvioivat Suomen nettotuonnin vesijalanjäljeksi $2,4 \times 10^9 \text{ m}^3$ (sininen + vihreä) ja Chapagain & Hoekstra (2004) arvioivat virtuaaliveden nettotuonnin $1,8 \times 10^9 \text{ m}^3$ suuruisiksi. Uusimmassa arviossa tilastot ovat vuosilta 1996–2005 ja vanhemmassa arviossa tilastot ovat vuosilta 1997–2001. Vaikeaa sanoa johtuvatko erot viennin ja tuonnin muutoksista vai laskentamenetelmän ja muun datan muuntelemisesta.

Taulukko 6. Esimerkkejä globaaleista malleista viljelykasvien vedenkulutuksen arviointiin.

Raportti ja mallin nimi	Viljelykasvien lukumäärä	Alueellinen resoluutio
Chapagain & Hoekstra (2004), Hoekstra & Chapagain (2007), Water footprint	164	valtio
Siebert & Döll (2008, 2010), GCWM	26	5' x 5'
Liu & Yang (2010), GEPIC	22	30' x 30'
Hanasaki <i>et al.</i> (2010), H08	maankäyttöluokitus	30' x 30'
Mekonnen & Hoekstra 2010a, Water footprint	126 + 20*	5' x 5'

* Harvinaisemmille kasveille vedenkulutus arvioitiin FAO:n CropWAT mallia käyttäen.

Joissakin globaaleissa malleissa ovat mukana myös laitumet (Hoff *et al.* 2010). Mekonnen & Hoekstra (2010b) arvioivat globaalin kotieläintuotannon vedenkulutuksesta jopa 98 % muodostuvan eläinten kuluttaman ravinnon virtuaalivedestä. Heidän arvioissaan laidunnuksessa kuluva vihreä vesi vastasi keskimäärin suurimmasta osuudesta (38 %) ja seuraavaksi suurimmat virtuaalivesien osuudet muodostuisivat maissista (17 %), rehuksveista (8 %) ja soijakakuista (7 %). Globaalista kotieläintuotannon sinisestä vesijalanjäljestä arvioitiin 70 % olevan peräisin eläinten ravinnosta ja loput eläinten hoidon ja juomaveden kulutuksesta.

Mallien monimutkaistuuessa on yhä työläämpää ymmärtää eroja niiden välillä sekä myös yksittäisten mallin osien ja datan merkitystä lopputuloksille. Esimerkiksi Mekonnen & Hoekstra (2010b) jakoivat kotieläintuotannon prosessit eläinryhmittäin ja kolmeen erilaiseen ruokinnan perusmalliin: laidunnukseen, teolliseen kasvatukseen ja näiden sekoitukseen. Näitä prosesseja tarkentamalla mallilla saataisiin yksityiskohtaisempia tuloksia. Tärkeä mallien komponentti on myös tieto hyötysuhteesta, jolla eläimet tuottavat ravintomme raaka-aineita rehustaan. Tämän tiedon Mekonnen & Hoekstra (2010b) poimivat omaan malliinsa toisesta globaalista mallista (ks. Hendy *et al.* 1995. <http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6123e/x6123e00.htm#Contents>) ja tuotantotilastoista.

Mallien avulla on pyritty arvioimaan määrällisesti myös potentiaalisia keinoja tehostaa viljelyn vesitehokkuutta. Virtuaaliveden kauppa, pääosin vihreään veteen perustuva, edustaa vain yhtä keinoa torjua globaalin vesikriisin haittoja. Tärkeitä keinoja ovat kastelun tehostamisen lisäksi sadeveden keruujärjestelmät, liiallisen haihdunnan estäminen, maaperän hoito ja ravinteiden hallinta. (Hoff *et al.* 2010).

8.3 Yhteenveto

Vesijalanjälkiarviointien tekemisen ja yrityksen oman ympäristöjohtamisen kannalta on hyvä lähtökohta, että dataa ja malleja on jo olemassa, mutta on muistettava, että eri menetelmät ja laskentamallit antavat keskenään suuruusluokaltaan hyvin erityyppisiä tuloksia.

Yleisen tietoisuuden lisääntyessä maailmanlaajuisesta vesikriisistä, kasvaa myös yritysten halukkuus viestiä omasta vedenkulutuksesta sidosryhmilleen ja kuluttajille. Toisaalta sidosryhmät jopa edellyttävät viestintää joissakin tapauksissa. Kuitenkaan menetelmät eivät vielä ole valmiita tuotekohtaiseen vertailuun. Kuluttajaviestinnässä tuotekohtaisesta vesijalanjäljestä viestimisessä tulisi nyt noudattaa suurta varovaisuutta, jotta ei syntyisi harhaanjohtavia vertailutilanteita tuotteiden välillä.

Olenainen kysymys sekä elinkaariarvioinnin inventaariossa että Water Footprint Network:n vesijalanjälkikonseptissa on rajausta, ja veden eri lähteet. Yksittäisen elintarvikkeen vesijalanjälki koostuu erilaisista vihreän ja sinisen veden panoksista, jotka kuluvat kasvien ja eläinten kasvuun ja tuotteeseen itseensä. Vesijalanjälkikonseptin vahvuutena on pidetty sinisen ja vihreän veden erottelua (ks. luku 7). Tämän vuoksi vesijalanjälki-konsepti soveltuu hyvin elintarvikkeen tuotantoketjun alkupään vedenkulutuksen kestävyuden tarkasteluun ja kaikkiin biomassaan perustuvien tuotantoketjujen osien arviointiin, kuten bioenergian käyttöön energialähteenä. Elintarvikkeiden jalostuksessa tarvitaan myös makeaa vettä, mutta operatiivinen vesijalanjälki on kuitenkin yleensä mitätön suhteessa tuotantoketjuun, vaikka laimennusveden tarve laskettaisiin mukaan (harmaa vesijalanjälki). Siis hygieniää edistävien pesuvesien käyttöä vähentämällä ei tuotteen kokonaisvedenkulutusta yleensä paljoa pienennetä. Pesuvesien pilaavat aineet ja jätevesien käsittely on haaste erikseen, samoin veden kuumentamiseen tarvittava energia.

Elinkaariarvioinnissa ei suurimmassa osassa esitetyistä menetelmistä ole otettu vihreää vettä huomioon. Osittain tämä saattaa johtua vihreän veden arvioinnin haastavuudesta, toisaalta vihreän veden tarkastelun mielekkyyttä ei ehkä pidetä itsestäänselvytenä. Vihreän veden kulutuksellahan on vahva sidos maankäyttöön ja sen muutokseen, joka usein otetaan elinkaariarvioinnissa huomioon. Esimerkiksi Milà i Canals *et al.* (2009) ehdottavat sinisen veden tarkastelun lisäksi otettavaksi mukaan maankäytön muutoksen silloin, kun sillä on vesikiertojen muutoksen kautta vaikutusta biodiversiteettiin. Toistaiseksi ei ole selvää miten menetelmäkehitys elinkaariarvioinnissa ja esimerkiksi ISO 14046-standardissa tulee etenemään, eli miten rajausta tullaan jatkossa tekemään eri vesilähteiden suhteen. Vihreän veden kestävä kulutus tulee kuitenkin olemaan yksi merkittävimmistä kysymyksistä elintarvikeketjulle.

Harmaa vesi ei ole yhtä tunnettu ja yksiselitteisesti hyväksytty käsite kuin vihreä tai sininen vesi (Morrison & Schulte 2010, Pacific Institute 2009). Laimennusvettä (harmaa vesijalanjälki) ei sellaisenaan ole otettu mukaan esitettyihin elinkaariarviointimenetelmiin, vaan ennemminkin on pyritty sisällyttämään vesien pilaantuminen elinkaariarvioinnin muihin vaikutusluokkiin kuten rehevöityminen tai ekotoksisuus. Todennäköistä on, että Water Footprint Network:n vesijalanjälkikonseptissa lanseeraattu laimennusvedentarve jää edelleen kehittyvistä elinkaariarvioinnin menetelmistä pois.

Vesijalanjälki -termi on analoginen mm. hiilijalanjälkeen ja ekologiseen jalanjälkeen, Water Footprint Network on halunnut pitää sen omana mittarina. Elinkaariarvioinnissa vedenkulutuksen vaikutuksia puolestaan tarkastellaan yhtenä vaikutusluokkana muiden joukossa. Elinkaariarvioinnissa on pitkään kehitetty menetelmiä, joissa erityyppisiä vaikutuksia painottamalla tuotetaan yksi ympäristövaikutuksia kuvaava indeksi. Toistaiseksi kuitenkin on ollut yleisempää ilmoittaa ympäristövaikutukset erillisinä. Yhden indikaattorin menetelmiä on kuitenkin käytössä useita, kuten materiaalin kulutusta mittaava MIPS. Onkin todennäköistä, että kun vedenkulutuksen ja sen vaikutusten laskenta yleistyy, vesi halutaan ottaa enenevästi mukaan myös näihin mittareihin sekä myös laajempiin malleihin kuten kansantalouden tilinpittoon perustuviin materiaalivirtamalleihin.

Suomalaistenkin elintarvikkeiden näkökulmasta tulevaisuuden haasteita tutkimuspuolella riittää. Perusdataa suomalaisten elintarvikkeiden vesijalanjäljestä on äärimmäisen niukasti saatavilla. Laskelmien tekeminen edellyttäisi hyvää tiedonkeruuta ketjusta ja mm. hajallaan olevan vesitilastoinnin läpikäymistä. Asiaan on kuitenkin jo tartuttu mm. maataloustilastoja tuottavassa TIKE:ssä, vaikka työsarkaa vielä riittääkin. Vesivarojen hallinta on Suomessa hyvin monen toimijan käsissä, mikä luo lisähaastetta tiedonkeruulle. Tutkimuksen rajauksista riippuen erityisesti vihreän ja harmaan veden laskentamenetelmät ja käytettävät datamallit vaatisivat globaalien mallien tarkennusta suomalaisiin olosuhteisiin sopiviksi.

Melkeinpä vielä vaikeampaa on saada tietoa Suomeen tulevien piilovesivirtojen suuruuksista ja vaikutuksista, vaikka näiden virtojen vaikutukset ovat todennäköisesti moninkertaiset kotimaiseen tuotantoon verrattuna. Mekonnen & Hoekstra (2011) arvioivat elintarviketuotteiden viennin ja tuonnin piiloveden virrat tilastojen avulla, mutta niissä ei ollut mukana teollisuustuotteiden vihreää vesijalanjälkeä. Myöskään Mäenpää (2005) ei huomionnut vihreää vettä ainevirtatarkasteluissaan.

Kotimaisille elintarvikeketjuille on kuitenkin tärkeää tunnistaa omien ketjujen vedenkulutus ja niiden vaikutukset myös suomalaisen tuotannon osalta. Omien ketjujen tunteminen myös vedenkulutuksen ja sen vaikutusten näkökulmasta on ensimmäinen askel kohti ketjujen kehittämistä ja lopulta myös kuluttajaviestintää.

Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T. and Siebert, S. 2003.

Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences-Journal* 48(3) June 2003.

Alcamo, J., Henrichs, T. and Rösch, T. 2000. World Water in 2025 – Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. report A0002, Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kurt Wolters Strasse 3, 34109 Kassel, Germany.

Andersson, H. 2011. Veden saatavuus - Oikeustieteellinen tutkimus. Yliopistopaino, Helsinki 2010: Helsingin yliopisto. 1-370 p.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y., 2004. Water footprints of nations, *Value of Water Research Report Series No. 16*. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y., 2008. The global component of freshwater demand and supply: an assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products. *Water International* 33(1):19-32.

Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. 2007. Water for food , Water for life. A comprehensive assessment of water management in agriculture. London: Earthscan, and Colombo: IWMI. Saatavilla: <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/Publications/books.htm> (viitattu 10.8.2011).

Daniels, P. & McBean, K. 2009. Virtual water accounting for enhanced sustainable water management: A preliminary review of its potential and links to life cycle assessment and regional material accounting. Sixth Conference of the Australian Life Cycle Assessment Society (ALCAS Inc.). Melbourne 18.2.2009. 26 pages.

Dastane, N.G. 1978. Effective rainfall in irrigated agriculture. Irrigation and Drainage Paper no. 25. FAO, Rome (Italy). 67 p. ISBN 92-5-100272-X; ISBN 92-5-200272-3; ISBN 92-5-500272-4. Saatavilla: www.fao.org/docrep/X5560E/X5560E00.htm (viitattu 10.8.2011).

Dworak, T., Berglund, M., Laaser, C., Strosser, P., Roussard, J., Grandmougin, B., Kossida, M., Kyrazopoulou, I., Berbel, J., Kolberg, S., Rdríguez-Díaz, J. & Montenisos, P. 2007. EU Water saving potential (Part 1-Report). Final Report. ENV.D.2/ETU/2007/0001r. Ecologic. ACTeon, NTUA, Inviresidad de Córdoba. 2007. Saatavilla: http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/water_saving_1.pdf 8 (viitattu 30.6.2011).

Eco-indicator 99 Manual for Designers. 2000. Ministry of housing, Spatial Planning and Environment. The Netherlands. Saatavilla: <http://www.pre-sustainability.com/content/reports>

EEA 2009. Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought. EEA Report No 2/2009. ISBN 978-92-9167-989-8. ISSN 1725-9177. 55 pages. DOI 10.2800/16803.

Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. 2010. Antikainen, Riina (toim.). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. Suomen ympäristökeskus. 83 s. ISBN 978-952-11-3734-1. ISSN 1796-1726. Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/syke/julkaisut>.

Falkenmark, M. 1986. Fresh water – time for a modified approach. *Ambio* 15:192-200.

Falkenmark, M. 2003. Freshwater as shared between society and ecosystem: from divided approaches to integrated challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2003. 358:2037-2049. doi: 10.1098/rstb.2003.1386. Saatavilla: <http://rstb.royalsocietypublishing.org> (viitattu 22.10.2010)

Falkenmark, M., Rockström, J. & Karlberg, L. 2009. Present and future water requirements for feeding humanity. *Food Security*. 2009. 1:59-69. DOI 10.1007/s12571-008-003-x.

Frischknecht, R., Steiner, R., Braunschweig, A., Egli, N. and Hildesheimer, G. 2008. Swiss ecological scarcity method: the new version 2006. ESU Services. available at <http://www.esu-services.ch/cms/fileadmin/download/Frischknecht-2006-EcologicalScarcity-Paper.pdf>

Frischknecht, R.; Steiner, R.; Jungbluth, N. Ökobilanzen. 2009. Methode der ökologischen Knappheit—Ökofaktoren 2006—Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen; Öbu-Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften: Bern, Switzerland.

Guinée JB & Heijungs R. 1995. A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life cycle assessment. *Environ Toxicol Chem* 14(5):917–925.

Guinée JB, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, Wegener Sleeswijk A, Suh S, Udo de Haes HA, de Bruijn JA, van Duin R, Huijbregts MAJ. 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Series: eco-efficiency in industry and science. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.

Harris, S. & Narayanaswamy, V. 2009. Life Cycle Assessment Methodology for Australian Rural Industries. Publication No 09/028. Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC). Australia: 1-41 + 5 appendices p.

Hauschild, MZ and Wenzel, H. 1998. Environmental assessment of products. Vol 2: Scientific background. Chapman and Hall (ed), University Press, Cambridge, UK.

Hoekstra, A. & Chapagain, A. 2007. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management* 21: 35.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. 2009. Water Footprint Manual: State of the Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands. 131 p.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. & Mekonnen, M.M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Cornwall, UK: Earthscan. ISBN:978-1-84971-279-8. 203 p.

Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q. 2002. Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. IHE Delft. Value of Water Research report series No11. Saatavissa osoitteessa: <http://www.waterfootprintnetwork.org/Reports/Report11.pdf>

Hoff, H., Falkenmark, M., Gerten, D., Gordon, L., Karlberg, L. and J. Rockström, J. 2010. Greening the global water system. *Journal of Hydrology*. Volume 384, Issues 3-4, 30 April 2010, Pages 177-186. Green-Blue Water Initiative (GBI). DOI:10.1016/j.hydrol.2009.06.026.

Humbert, Sebastian. 2010. Water footprinting, life cycle assessment and standardisation. Update on ISO activities on water footprinting. Session 5: Status of Standardization and Harmonization. Esitys tapahtumassa: ISO Consultative Workshop on Water Footprint, Neutrality and Efficiency. Osaka, Japan 1- 3 June 2010. Saatavissa osoitteessa http://gec.jp/gec/en/Activities/ietc/fy2010/wf/wf_s3-2.pdf (viitattu 15.6.2011).

Hyvärinen, Veli. 2008. Suomen vesitase. Teoksessa Veden kierto: Hydrologinen palvelu Suomessa 1908 - 2008 = The water cycle: Hydrological service in Finland 1908 – 2008. Toim. Esko Kuusisto. Helsinki.

Suomen ympäristökeskus 2008. 182 s. ISBN 978-952-11-3128-8. Saatavilla:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=88755> (viitattu 10.8.2011)

Hyvärinen, Veli., Solantie, R., Aitamurto, S., Drebs, A., Järvinen, J., Kuusisto, E. 1995. Suomen vesitase 1961–1990 valuma-alueittain / Astiahaihdunta Suomessa 1961–1990. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A, ISSN 0786-9592 ; 220. 157 s.

International recommendations for water statistics (IRWS). 2010. Department of Economic and Social Affairs Statistics Division. UN. New York, 2010. 237 p. Saatavilla:
<http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/irws/irwswebversion.pdf> (viitattu 10.8.2011)

IPCC 2007. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC). Ilmastonmuutos vuonna 2007: vaikutukset, sopeutuminen ja haavoittuvuus. Yhteenvedo päätöksentekijöille. Toisen työryhmän osuus Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin neljännessä arviointiraportissa. 23 s. Saatavissa:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=68316> tai englanniksi <http://www.ipcc.ch/> (viitattu 10.8.2011).

Jaakkonen, A-K. 2010. Maatalouslaskennassa kerätään tietoa myös kastelusta. Tietosarka 2/2010. Saatavilla: <http://tike.multiedition.fi/tike/tietosarka/2010/toukokuu/kastelu.php> (viitattu 27.6.2011).

Kauppinen, T., Lähteenoja, S. & Lettenmeier, M. 2008. Kotimaisten elintarvikkeiden materiaalianalyysi. Elintarvikkeiden ympäristövaikutukset. Maa- ja elintarviketalous 130. MTT. 91 s. ISBN 978-952-487-191-4. Saatavilla:
<http://www.mtt.fi/met/pdf/met130.pdf> (viitattu 10.8.2011).

Khan, S. & Hanjra, M.A. 2009. Footprints of water and energy inputs in food production – Global perspectives. Food Policy 34: 130-140.

Khan, S., Khan, M.A., Hanjra, M.A. & Mu, J. 2009. Pathways to reduce the environmental footprints of water and energy inputs in food production. Food Policy 34: 141-149.

Koehler, A. 2008. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. International Journal of Life Cycle Assessment 13: 451-455.

Kuismin, L., Heikinheimo, E., Keskinen, M. ja Kummu, M. 2008. Vesijalanjälki – Mittari todelliselle vedentarpeellemme. Vesitalous 1/2008. Sivut 10–13.

Kumar, M.D. 2005. Impact of electricity prices and volumetric water allocation on energy and groundwater demand management: analysis from Western India. Energy Policy 33 (1) (2005), pp. 39–51.

Kummu, M., Ward, P.J. & de Moel, H. & Varis, O. 2010. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. Environmental Research Letters 5 034006: 1-10.

Lundqvist, J., C. de Fraiture & D. Molden. 2008. Saving water: From field to fork – Curbing losses and wastage in the food chain. SIWI Policy Brief. SIWI, 2008.

Maankuivatustoiminta ja sen kehittämistarpeet. Selvitys. 2010. Heikki Pajula (toim.). Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2010. 47 s. Suomen ympäristökeskus. URN:ISBN:978-952-11-3803-4. ISBN:978-952-11-3803-4 (pdf). Saatavilla:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=372924&lan=fi>

Mekonnen, M.M. & Hoekstra, A.Y. 2010a. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Value of Water Research Report Series*. No. 47. UNESCO-IHE. Main Report Volume 1 (42 pages) + Appendices Volume 2 (1196 pages) Saatavilla:
<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>. (viitattu 10.8.2011).

Mekonnen, M.M. & Hoekstra, A.Y. 2010b. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. *Value of Water Research Report Series*. No. 48. UNESCO-IHE. Main Report Volume 1 (50 pages) + Appendices Volume 2 (122 pages) Saatavilla: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>. (viitattu 10.8.2011).

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. *Value of Water Research Report Series*. No.50. UNESCO-IHE. Main Report Volume 1 (50 pages) + Appendices Volume 2 (94 pages). Saatavilla: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>. (viitattu 10.8.2011).

Milà i Canals, L., Chapagain, A., Orr, S., Chenoweth, J., Antón, A. & Clift, R. 2010. Assessing freshwater use impacts in LCA: Part 2 –case study of broccoli production in the UK and Spain. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15: 598-607.

Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A. & Clift, R. 2009. Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I -inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14: 28-42.

MMM. 2009. Vesivarastrategian kehittämistarpeita. Asiakkaiden ja sidosryhmien näkemyksiä. 18.12.2009. 30 s. + liitteet. Saatavilla: http://www.mmm.fi/attachments/vesivarat/5nNuVEAMF/Yhteenveto_vesivarastrategia_final_2_.pdf (viitattu 28.6.2011).

Morrison, J. & Schulte, P. 2010. Corporate Water Accounting. An Analysis of Methods and Tools for Measuring Water Use and Its Impacts. UNEP, United Nations Global Compact and Pacific Institute. 2010. ISBN 1-893790-23-1. ISBN-13:987-1-898790-23-0. 60 p. Saatavilla: http://www.pacinst.org/reports/corporate_water_accounting_analysis/corporate_water_accounting_analysis.pdf (viitattu 27.6.2011).

Mäenpää, Ilmo. 2005. Kansantalouden ainevirtatilinpito – Laskentamenetelmät ja käsitteet – Suomen ainetaseet 1999. Tilastokeskus ja Thule-instituutti. Helsinki 2005. ISBN 952-467-486-6. Saatavilla: http://www.stat.fi/tup/julkaisut/tiedostot/isbn_952-467-486-6.pdf (viitattu 10.8.2011).

Oki, T. and Kanae, S. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*. Vol. 313 no. 5790:1068-1072. DOI: 10.1126/science.1128845.

Owens, J.W. 2002. Water Resources in Life-Cycle Impact Assessment: Considerations in Choosing Category Indicators. *Journal of Industrial Ecology* 5: 37-54.

Pacific Institute. 2009. The CEO Water Mandate Meeting Summary. Fourth Working Conference. August 16-18, Stockholm 2009. 19 pages 2 Appendices. Saatavilla: http://www.unglobalcompact.org/docs/issues_doc/Environment/ceo_water_mandate/CEO_Water_Mandate_4th_Working_Conference_Summary_FINAL.pdf (viitattu 30.6.2011).

Peters, G.M., Wiedemann, S.G., Rowley, H.V. & Tucker, R.W. 2010. Accounting for water use in Australian red meat production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15: 311-320.

Pfister, S., Koehler, A. & Hellweg, S. 2009. Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. *Environmental Science & Technology* 43: 4098-4104.

Raskin, P., Gliek, P., Kirshen P., Pontius, G. and Strzepek, K. 1997. Water futures: assessment of long-range patterns and problems. Swedish Environment Institute/United Nations, Stockholm, Sweden.

Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S. and Gerten, D. 2009. Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global

change. Water Resources Research. Volume 45:1-16. AMER GEOPHYSICAL UNION. ISSN: 00431397. DOI: 10.1029/2007WR006767

Rockström, J., Lannerstad, M. & Falkenmark, M. 2007. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. PNAS. 2007. Vol. 104. No. 15:6253–6260.
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0605739104.

Segal, R. & MacMillan, T. 2009. Water labels on food. Issues and recommendations. Food Ethics Council. UK. 2009. 15 pages. Saatavilla: http://www.sustainweb.org/pdf/water_labels_on_food.pdf (viitattu 28.6.2011).

Selvitys pohjavesialueiden rajaamisen menettelystä. Loppuraportti. 2010. Minna Hanski (toim.). Suomen ympäristö 7. Ympäristöministeriö. Helsinki. ISBN 978-952-11-3739-6 (pdf). ISSN 1796-1637 (online). 204 s.

Selvitys Suomen kastelutilanteesta -esimerkkialueena Varsinais-Suomi. 2003. Toim. Pajula, Heikki ja Triipponen, Juha-Pekka. Suomen ympäristö 629. Suomen ympäristökeskus ja Lounais-Suomen ympäristökeskus. ISBN 952-11-1416-9 (PDF). 86 s.

Seppälä, J. et al. 2009. Suomen kansantalouden materiaaliavirtojen ympäristövaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla. Suomen ympäristö 20/2009. 134 s.

Siebert, Stephan & Döll, Petra. 2010. Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. Journal of Hydrology. Vol 384. Issues 3-4, pp 198-217. Green-Blue Water Initiative (GBI). doi:10.1016/j.jhydrol.2009.07.031.

Smakhtin, V., Revenga, C. and Döll, P. 2004. Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments. Comprehensive Assessment Report 2, <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/FILES/pdf/publications/ResearchReports/CARR2.pdf>.

Sorvala, S., Puumala, M. ja Lehto, M. 2006. Käyttöveden riittävyys ja laatu maatalouden suurissa tuotantoyksiköissä. MTT:n selvityksiä 108. 34 s. MTT Vihti. 2006. ISBN 952-487-005-3. ISSN 1458-5103. Saatavilla: <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts108.pdf> (viitattu 27.6.2011).

Tilastokeskus 2011. Vedet. Ympäristötilasto. Vuosikirja 2011. Ympäristö ja luonnonvarat 2011. Tilastokeskus. Helsinki 2011. ISSN 1798-3576 (pdf). ISBN 978-952-244-314-4 (pdf). Sivut 43-62.

UNESCO 2006a. Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially –sustainable management for water-policy makers. Eds Stephen Foster and Daniel P. IHP-VI. Series on groundwater No. 10. 103 p. Saatavilla: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001469/146997e.pdf> (viitattu 10.8.2011).

UNESCO 2006b. The 2nd UN World Water Development Report: 'Water, a shared responsibility'. Executive Summary saatavilla: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001444/144409e.pdf>

Vainikainen, Anna. 2010. Yhteenveto Elintarviketeollisuusliiton vuonna 2010 toteuttamasta ympäristövastuun kyselystä. Elintarviketeollisuusliitto ry. 14 s. Saatavilla: http://www.etl.fi/www/fi/julkaisut/Julkaisut/Elintarvteoll_ymparistovastuun_raportti_2010.pdf (viitattu 10.8.2011).

Vesien suojeleminen vuoteen 2015 - Taustaselvityksen lähtökohdat ja yhteenveto tuloksista. Hannele Nyroos, Marjut Partanen-Hertell, Kimmo Silvo ja Pauli Kleemola (toim.) 2006. Suomen ympäristö 55/2006, Ympäristönsuojelu, 68 s. Suomen ympäristökeskus (SYKE), ISBN: 952-11-2495-4 (PDF). Painetussa muodossa ISBN 952-11-2494-6 (nid.). Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=59919&lan=fi>

Vesijalanjälki suomalaisessa arvoketjussa – MTT:n ja VTT:n järjestämä työpaja 7.3.2011. Muistio. Usva, K. ja Wessman, H. (toim.) 2011. Julkaisematon.

Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P. and Maréchal, F. 2007. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. [Desalination](#). Volume 220, Issues 1-3, 1 March 2008, Pages 37 –56. European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort 22–25 April 2007, Halkidiki, Greece, European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort.

Wiedemann, S., McGahan, E., Grist, S. & Grant, T. 2010. Environmental Assessment of Two Pork Supply Chains Using Life Cycle Assessment. RIRDC Publication No. 09/176. The Commonwealth of Australia, Rural Industries Research and Development Corporation (RIRDC). Australia: 1-115 p.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI₃₇

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. (03) 4188 2327, sähköposti julkaisut@mtt.fi

