

Teollinen ekologia yhteiskunnallisena vaikuttajana

Teollisen ekologian tiede

Teollinen ekologia on fyysisten materiaali- ja energiavirtojen tutkimusta teollisessa yhteiskunnassa sekä yhteiskunnan ja luonnon ekosysteemin välillä. Teollinen ekologia on saanut paljon kansainvälistä kestävä kehityksen arvostusta tieteessä, politiikassa ja yritysten ympäristö-/ yhteiskuntavastuun johtamisessa.

Teollisen ekologian uutuusarvo nousee kahdesta tekijästä. Ensiksi, teollisen yhteiskunnan tuotanto- ja kulutusjärjestelmää voidaan nyt tarkastella fyysisillä materiaali- ja energiavirtaindikaattoreilla, ei pelkästään abstraktisella vaihtoarvolla, siis rahassa. Toiseksi, teollinen ekologia lähestyy ongelmaa systeemianalyttisellä näkökulmalla analysoiden kokonaisia systeemejä ja järjestelmiä, ei vain yksittäistä systeemin komponenttia. Esimerkiksi tuotteen ympäristövaikutuksia mietitään 'kehdestä hautaan' tai 'kehdestä kehtoon' filosofialla. Tuotteen kehto on luonnossa. Luonnosta elinkaari kulkee raaka-aineen prosessoinnin, jalostuksen, tuotannon ja jakelun kautta hautaan

takaisin luontoon tai kaatopaikalle jätteenä ja päästönä. Elinkaarisysteemin tavoitteena tulisikin olla tuotteen iän pidentäminen ohjaamalla jäte uuteen kehtoon hyödyllisenä raaka-aineena/ polttoaineena.

Teollinen ekologia käyttää luonnon omaa kierrätysjärjestelmää mallina ihmisen talouden kestävä kehityksen parantamisessa. Ainoa todistetusti kestävä järjestelmä on globaali ekosysteemi ja sen uusiutuva evoluutio. Luonnossa kasvit (tuottajat), eläimet (kuluttajat), sekä sienet ja bakteerit (hajottajat/kierrättäjät) hyödyntävät toistensa ruumiit ja jätteet materiaalin osalta suljetussa kierrossa. Globaalin ekosysteemin ainoa ulkoinen panos on uusiutuva (ääretön) aurinkoenergia ja ainoa jäte systeemistä kokonaisuutena on jätelämpö avaruuteen (jolla ei luonnon energiatalouden näkökulmasta ole merkitystä panoksen ollessa ääretön). Näin siis edellä esitetty teollisen ekologian uutuusarvo hyötyy luonnon metaforasta. Kaikissa elävissä organismeissa on materiaalin ja energian aineenvaihdunta, metabolismi. Luonnon monimuotoisuus ja diversiteetti on kokonainen systeemi perustuen systeemien välillä.

min komponenttien vuorovaikutukseen. Luonnon tarkastelu opettaa täten myös holistiseen kokonaisvaltaiseen systeemiajatteluun.

On tärkeää muistaa, että metaforien lähteen ja sovelluskohteen samanlaisuutta ei tarvitse todistaa. Tärkein kriteeri on metaforan käyttökelpoisuus. Teollisen yhteiskunnan energiantuotannosta 80 % perustuu uusiutumattomaan, päästöintensiivisiin ja usein tuotuun fossiiliseen resurssiin. Tuotanto- ja kulutusjärjestelmämme on vielä valtaosin lineaarinen 'läpivirtasysteemi', luonnosta tuotannon ja kulutuksen kautta takaisin luontoon jätteinä ja päästöinä.

Teollisen ekologian työvälineet ja menetelmät – Lähtökohtana elinkaariajattelu ja materiaalivirrat

Teollinen ekologian tutkimusalan poikkitieteellisyys edellyttää erilaisten asioiden systemaattista yhdistämistä paikallisella, alueellisella ja globaalilla tasolla. Erilaiset työvälineet ja menetelmät pyrkivät tuottamaan käsityksiä ympäristövaikutusten kokonaistilanteesta myös tuotteiden, teollisuusalojen ja jopa kansantalouksien näkökulmasta.

Teollisen ekologiassa käytettävät työkalut ja menetelmät joudutaan valitsemaan käsiteltävien aihealueiden perusteella. Niitä ovat muun muassa (International Society for IE 2008):

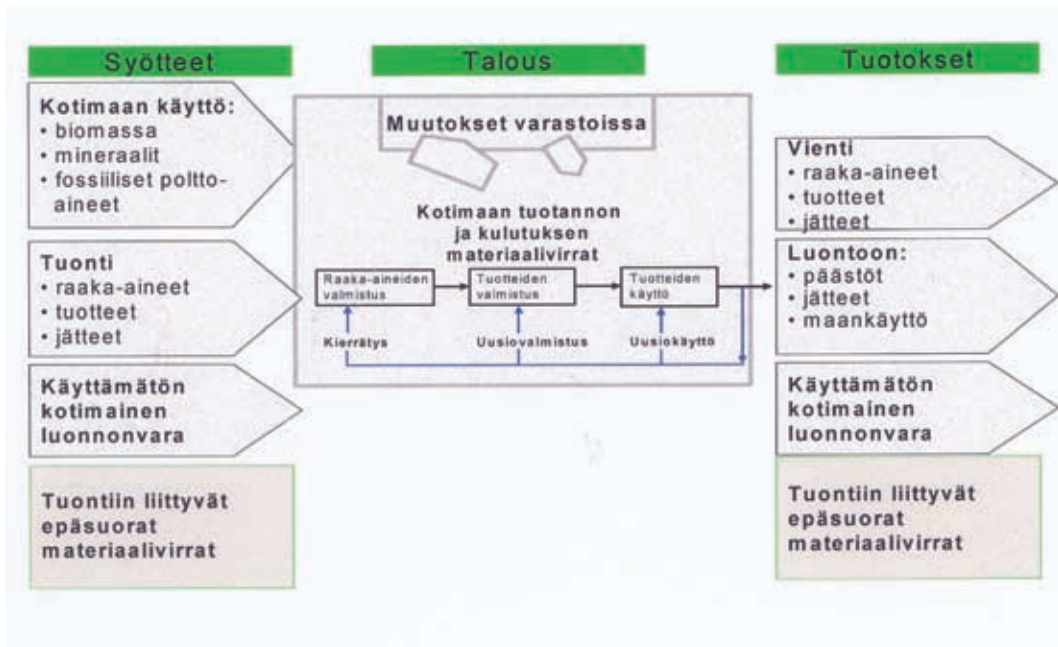
- materiaali- ja energiavirtaselvitykset ("teollinen metabolismi")
- materiaalien käytön vähentäminen ("demateriaalisaatio")
- teknologiamuutokset ja ympäristö
- elinkaarisuunnittelu ja -arvioinnit
- ekologinen suunnittelu ("ecodesign")
- laajennettu tuottajavastuu
- ekoteollisuuspuistot
- yhdenmety tuotepolitiikka
- ekotehokkuus

Käytännössä kaikkia aihealueita yhdistää elinkaariajattelu ja materiaalivirrat. Kaikissa tapauksissa tarkasteltavaa systeemiä (esim. tuotetta, teollisuuslaitosta, -sektoria tai kansantaloutta) arvioidaan energian ja raaka-aineiden hankinnan, prosessoinnin sekä käytön näkökulmasta. Systemin ulkopuolisten tuotanto- ja kulutusketjujen tarkastelun kattavuus ja laajuus vaihtelee tapauskohtaisesti. Lisäksi ympäristövaikutusten arviointiin liittyvät lähestymistavat vaihtelevat suuresti kvalitatiivisista arvioista kvantitatiivisiin mallilaskelmiin.

Yksinkertaisimmillaan materiaalivirtojen määrän katsotaan kuvaavan ympäristövaikutuksia riittävästi; kun vähennetään materiaalien käyttöä, vähennetään myös ympäristövaikutuksia. Ilmastonmuutoksen hillinnän korostumisen myötä tuotanto- ja kulutusketjujen hiilijalanjälki on noussut keskeisiksi tunnusluvuiksi. Joissakin tapauksissa materiaalien käyttömäärien ja hiilijalanjäljen tunteminen riittää, mutta yhä enemmissä määrin on tarve ymmärtää kattavasti luonnonvarojen käyttöön liittyvät ympäristö-, talous- ja yhteiskunnalliset vaikutukset kestävä kehityksen turvaamiseksi. Esimerkiksi biopolttoaineiden ympärillä käyty keskustelu on konkretisoitunut kokonaisvaltaisten tarkastelujen tarpeen suuren yleisön silmissä.

Tuotelähtöinen arviointi onnistuu yhä helpommin

Tuotteille ja palveluille on tehty laajemmin elinkaariarviointia 1990-luvun alusta lähtien. Elinkaariarviointien tulokset esitetään tiettyä tuoteyksikkö kohti laskettuna (esim. 110 kg CO₂ ekvivalenttia / kg tuotetta), mikä mahdollistaa eri elinkaarivaiheiden kuormitustietojen yhdistämisen. Ympäristövaikutustulokset ilmoitetaan tavallisesti ympäristöongelmittain (esim. ilmastonmuutos, happamoituminen). Erilaisten ympäristöongelmien tulokset on käytännössä mahdollista yhdistää kokonaisympäristövaikutuksiksi vain arvottamisen kautta, ts. tällaisiin kokonaisvaikutusarvi-



Kuva 1. Kansantalouden materiaalivirtojen keskeiset elementit (muunneltu Mäenpää 2005, EEA 2003).

ointeihin sisältyy enemmän tai vähemmän subjektiivisuutta.

Elinkaariarviointeja voi tehdä monella tavalla. Kansainvälisen ISO -standardin mukaiset elinkaariarviointien laadintaohjeet (ISO 14040-14044) liittyvät ns. täydellisen elinkaariarvioinnin laadintaan. Toisaalta ne antavat perusteet ns. yksinkertaistetuille elinkaariarvioinneille, joissa keskitytään esimerkiksi tarkasteltavan tuotejärjestelmän keskeisimpiin yksikköprosesseihin tai vain tiettyihin ympäristövaikutusasioihin. Käytännössä erilaiset ainevirta-analyysit (substance flow analysis) esimerkiksi tietyn tuotejärjestelmän ravinne- tai hiilidioksidipäästöjen arviointiin perustuvat elinkaariarvioinnin metodiikkaan. Elinkaariarvioinnin periaatteilla voidaan rakentaa myös erilaisia toimialoja koskevia tarkasteluja.

Kansainvälisen yhteistyön ja toteutettujen hankkeiden kautta elinkaariarviointien ja siihen perustuvien tarkastelujen tekeminen onnistuu yhä helpommin. Elinkaariarviointeihin löytyy nykyisin hyvin lähtötietoja olemassa olevista kansainvälisistä tie-

topankeista. Tavallisille loppukäyttäjille on aiheuttanut päänvaivaa erilaisten vaikutusarviointimenetelmien tulosten ristiriitaisuus. Tähänkin on tulossa parannusta, kun vaikutusarviointiin on tulossa Euroopan komission tukemana ohjeet parhaista käytännöistä (<http://lca.jrc.it>).

Materiaalivirtojen ympäristövaikutusten ymmärtäminen avainasemassa

YK:ssa, OECD:ssa ja EU:ssa on viimeaikoina panostettu paljon systemaattisten tietojärjestelmien kehittämiseen luonnonvarojen käytön, talouden ja ympäristövaikutusten riippuvuuksien kokonaisvaltaiseen kuvaamiseen ja analysointiin. Tässä kokonaisuudessa perustan luovat ns. materiaalivirtalaskelmat (material flow accounts), jotka tarjoavat tehokkaan lähestymistavan kun arvioidaan kansantalouden ja eri elinkeinosektorien materiaalien käyttöä.

Materiaalivirtalaskelmat perustuvat talouden ainevirtatilinpidon panostuotos-

menetelmiin. Niiden käyttö on perusteltua, koska ympäristövaikutusten lähtökohdista on aina luonnonvarojen käyttö. Pelkäämään materiaalivirtoihin perustuvien indikaattorien (esim. luonnonvarojen kokonaiskäyttö (=TMR)), joissa eri materiaalivirtojen kilot laitetaan yhteen, käyttö ympäristövaikutusten arviointiin ei ole kuitenkaan aina mielekäästä. Materiaalivirtojen käsittelyyn liittyy erilaisia ihmisen prosessointivaiheita, jotka aiheuttavat erilaisia ympäristövaikutuksia. Tämän takia panostuotosanalyysiin on pyritty liittämään päästötietoja ja vaikutusarviointimenetelmiä, jotka perustuvat elinkaariarvioinneissa käytetyille menetelmille (ks. Hertwich 2005). Lopputuloksena ovat tietynlaiset elinkaariarviointien ja panostuotomallinnuksen hybridisovellukset, joilla voidaan tarkastella myös jonkin tuotteen tai tuoteryhmän talous-, työllisyys- ja ympäristönäkökohtia.

Panostuotos- eli input-output (IO) -tarkasteluissa voidaan erottaa vientiin menevien materiaalien ja niihin liittyvien ympäristövaikutusten osuus esimerkiksi kansantalouden tasolla, minkä perusteella voidaan laskea kansantalouden aiheuttaman kulutuksen kokonaisvaikutukset (kuva 1). Vastaavasti laajentamalla reunaehtoja voidaan laskea maanosien aiheuttamat vaikutukset. Tällä hetkellä ei ole kuitenkaan valmiiksi tehtyä maailmanlaajuisia IO -aineistoa, joka paljastaisi eri maiden tai maanosien välisten luonnonvarojen saati ympäristövaikutusten vuorovaikutuksia. Ongelma on etenkin mallintaa tuonnin materiaalivirtojen ympäristövaikutukset.

Suomessa Oulun yliopiston Thule-instituutti yhdessä Tilastokeskuksen kanssa on soveltanut IO-lähestymistapoja Suomeen. Ympäristöklusterin tutkimusohjelmassa on meneillään Suomen ympäristökeskuksen, Thulen, MTT:n ja VTT:n yhteistyössä ENVIMAT-hanke (www.ymparisto.fi/syke/envimat), jossa mallinnustekniikkaa on kehitetty erityisesti ympäristö- ja globaalivaikutusten analysoimiseksi.

Erilaisille menetelmille on sijansa

Edellä on keskitytty elinkaariarviointiin ja IO-tarkasteluihin perustuviin työvälineisiin ja menetelmiin, koska niiden voidaan katsoa muodostavan tämän päivän teollisen ekologian kvantitatiivisten lähestymistapojen ytimen. Myös monet yksinkertaiset teollisen ekologian työvälineet löytävät perustansa niistä. Esimerkiksi Luonnonsuojelu- liiton käyttämät MIPS (material input per service) -laskelmat perustuvat materiaalivirtalaskelmien TMR -lukujen käyttöön ja WWF:n Elävä planeetta -raporttien ekologisessa jalanjälkilaskennassa (GFN 2008) löytyy yhtäläisyyksiä elinkaariajattelun ja IO-mallinnuksen kanssa. Teollinen ekologia on avoin erilaisille menetelmille, mutta tulevaisuudessa on tärkeää parantaa ymmärrystä eri menetelmien ja niihin perustuvien indikaattorien käyttökelpoisuudesta ja kehitystarpeista.

Viittaukset

- EEA 2003. Europe's environment: the third assessment. European Environment Agency, Copenhagen.
- Global Footprint Network (GFN) 2008. Advancing the Science of Sustainability. www.footprintnetwork.org
- Hertwich, E.G. 2005. Life cycle Approaches to Sustainable Consumption: A Critical Review. *Environmental science & technology*, 39 (13): 4673-4684.
- International Society for Industrial Ecology 2008. A History of Industrial Ecology. <http://www.is4ie.org/hitroy.html>.
- Mäenpää, I. 2005. Kansantalouden ainevirratilinpito, Laskentamenetelmät ja käsitteet. Suomen ainetaseet 1999. Tilastokeskus, Helsinki.
- OECD 2008. Measuring material flows and resource productivity. Synthesis Report. Paris. ■

Suomen teollisen ekologian seura – vahva vaikuttaja

Teollisen ekologian tieteen tunnettuutta Suomessa on edistänyt vuonna 2003 toimintansa aloittanut Suomen teollisen ekologian seura. Seuran toiminta alkoi ensin epävirallisena ja avoimena keskustelufoorumina Suomen ympäristökeskuksen ja ympäristöministeriön aloitteesta. Tarkoituksena oli lisätä teollisen ekologian aihepiiriin liittyvää tutkimusyhteistyötä ja tiedonvaihtoa eri tutkimuslaitosten, -hankkeiden, yritysten ja muiden tahojen välillä. Tavoitteena oli saattaa yhteen teollisen ekologian, materiaali- ja energiavirtatutkimuksen, elinkaarianalyysin ja ekotehokkuuden teemoista kiinnostuneita. Teollisen ekologian foorumin nimellä järjestettyjen keskustelutilaisuuksien ja seminaarien suosio kasvoi vuosi vuodelta ja toiminta päätettiin virallistaa rekisteröimällä Suomen teollisen ekologian seura yhdistykseksi kesäkuussa 2006. Seuran toiminta painottuu edelleenkin kahdesti vuodessa järjestettäviin seminaareihin. Tähän mennessä seminaareja on järjestetty yhteensä yhdeksän.

Seminaarien avulla seura pyrkii tehokkaasti edistämään ja kehittämään alan tutkimusta, käytäntöä sekä ajatusten ja kokemusten vaihtoa eri tahojen välillä. Seminaareissa seura pyrkii nostamaan esille tärkeitä ja ajankohtaisia, teolliseen ekologiaan läheisesti liittyviä aihe-alueita, kuten materiaali- ja energiavirtatutkimus, elinkaariarviointi, ekotehokkuus, dematerialisaatio, ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu ja -kehitys, tuotelähtöinen ympäristöpolitiikka, laajennettu tuottajan vastuu, teollinen symbioosi, teollisen ekologian puistot ja ilmastomuutoksen hallinta. Seuran tavoitteena on järjestää seminaarit aina eri paikkakunnalla ja eri organisaatioissa, joka on hyvin haastavaa näin pienessä maassa. Seminaarien osallistujamäärät ovat kasvaneet vuosi vuodelta ja kahden viime vuoden aikana osallistujia on ollut yli 100.

Seuralla on jäseniä laajasti eri yhteiskunnan sektoreilta. Suurin osa jäsenistä on tutkijoita yliopistoista, korkeakouluista ja tutkimuslaitoksista. Teollisuus ja yritykset ovat myös hyvin edustettuina. Jäseniä halutaan pyrkiä kannustamaan aktiivisempaan osallistumiseen seuran toiminnassa ja sen kehittämisessä. Seuran haasteena on myös teollisen ekologian tutkimuksen yhteyksien parantaminen yrityksiin ja niiden tutkimustyöhön. Teollisen ekologian tuntemuksen ja ymmärtämyksen lisääminen yliopisto-opetuksessa koetaan myös hyvin tärkeäksi.

Seura on pyrkinyt parantamaan yhdistyksen näkyvyyttä ja tunnettuutta. Tähän mennessä seura on ollut enemmänkin teollisen ekologian alan tärkeä taustavaikuttaja, mutta nyt toiminta on muuttumassa varsinaisen aktiivisen toimijan suuntaan. Teollisen ekologian seuran puheenjohtaja Jouni Korhonen ja varapuheenjohtaja Jyri Seppälä ovat olleet hyvin aktiivisia toimijoita seurassa ja ovat omalta osaltaan toimineet tärkeinä vaikuttajina teollisen ekologian tutkimustyössä. Suomen teollisen ekologian seura on nyt myös vuosiksi 2008-2011 asetetun kestävän kehityksen toimikunnan jäsen. Tätä kautta seuralla on mahdollisuus osaltaan vaikuttaa mm. Suomen kestävän kehityksen strategian toimeenpanon edistämiseen.

Lisätietoja seurasta: www.teollinenekologia.fi. ■