

# **Rakentamisen ja rakennusten ekotehokkuus**

**Tarja Häkkinen, Pekka Huovila, Kai Tattari**  
**VTT RAKENNUSTEKNIikka**

**Jyri Seppälä, Tapio Pylkkö, Jorma Leivonen**  
**SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS**

## ALKUSANAT

Ympäristöklusterin tutkimusohjelmassa toteutettiin vuonna 1999 esitutkimus rakentamisen ja rakennusten ekotehokkuudesta. Esitutkimuksen tarkoituksena oli määritellä rakennusalan<sup>1</sup> ekotehokkuus ja sen indikaattorit lähtien liikkeelle ekotehokkuuden yleisistä ja kansainvälisistä näkemyksistä. Esitutkimuksen tavoitteena oli lisäksi määritellä tutkimustarpeet rakennusalan ekotehokkuuden ja siihen liittyvien menetelmien kehittämiseksi.

Esitutkimusta ohjasi johtoryhmä, johon kuuluivat yliarkkitehti Aila Korpivaara ympäristöministeriöstä sekä ohjelmapäällikkö Harto Rätty Rakentamisen ympäristöteknologian ohjelmasta. Esitutkimuksen projektipäällikkö oli Tarja Häkkinen VTT Rakennustekniikasta.

Esitutkimus toteutettiin VTT Rakennustekniikan ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) yhteistyönä. Raportin kirjoittajia ovat

- Tapio Pylkkö ja Jorma Leivonen (SYKE) luku 2,
- Jyri Seppälä (SYKE) luku 4,
- Tarja Häkkinen, Pekka Huovila ja Kai Tattari (VTT) luvut 1, 3, 5 ja 6 ja liitteet 1 - 3
- sekä kirjoittajien yhteistyönä luku 7.

Luvun 1 johdannossa esitetään lähtökohdat rakennusalan ekotehokkuuden määrittelyyn. Luvussa 2 esitetään ekotehokkuus yleiseltä ja kansainväliseltä näkökannalta. Luvussa 3 määritellään rakennusten ja rakentamisen ekotehokkuuden konsepti. Luvussa 4 käsitellään LCA-metodiikkaa osana ekotehokkuusajattelua. Luvuissa 5 ja 6 pohditaan rakennusten ja rakennusalan yritysten ekotehokkuuden indikaattoreita. Liitteessä 1 on aihepiiriin liittyvää sanastoa. Liitteessä 2 käsitellään rakentamisen materiaaliressurssien ympäristövaikutuksia ja liitteessä 3 on esimerkkejä kansainvälisten työryhmien esittämistä rakennusten ja rakentamisen ekologisista indikaattoreista.

Luvussa 7 esitetään rakennusalan ekotehokkuuden jatkotutkimusehdotus. Jatkotutkimusehdotus liittyy kiinteästi EU:n viidennen puiteohjelman tutkimusohjelmassa ”City of Tomorrow” alkaviin verkostohankkeisiin.

Esitutkimuksen tavoitteena oli määrittää rakennusalan ekotehokkuuskäsite lähtien liikkeelle raportin alkuosassa esitettävästä ekotehokkuuden yleisestä määrittelystä. Perusajatuksena oli pyrkimys yhdistää rakennusalan toimivuusajattelu ja elinkaariajattelu. Tarkoituksena ei täten lopulta ole ollut ehdottomasti pitäytyä alkuperäisessä ekotehokkuuden määritelmässä, vaan antaa sille tutkijoiden näkemykseen pohjautuva rakennus-alalle soveltuva, innovatiivinen sisältö. Pyrkimyksenä on ollut määrittää ekotehokkuuden konsepti siten, että rakennusala ja alan yritykset voisivat hyödyntää tätä konseptia kokonaisvaltaisessa kestävä kehityksen mukaisessa kehitystyössä.

---

<sup>1</sup> Kiinteistö- ja rakennusklusteri määritellään tässä tuotannolliseksi ja palvelutoiminnaksi, jonka tärkeimmät toimialat ovat kiinteistöala ja rakennusala. Toimialueena on koko rakennettu ympäristö. Kiinteistöalaan kuuluvat kiinteistöomistus, kiinteistöjen käyttö ja ylläpito, kiinteistö- ja asuntokauppa. Rakennusalaan kuuluvat rakennustoiminta, rakennustuoteteollisuus, talotekniikkateollisuus sekä kalusto- ja muut palvelut. Vuorovaikutteisesti rakennusalan ja kiinteistöalan kanssa rakennus- ja kiinteistöklusterissa toimivat lisäksi suunnittelu, rakennuttaminen, rauta- ja lvis-kauppa, tutkimus, koulutus, viranomaistoiminnot, kaavoitus sekä vakuutus ja rahoitus. Tässä tutkimuksessa termiä rakennusala käytetään edellä olevan määritelmän mukaisesti mukaan lukien kuitenkin suunnittelu ja rakennuttaminen (vrt sanasto liitteessä 1).

<b>SISÄLTÖ</b>	<b>sivu</b>
<b>ALKUSANAT</b>	<b>2</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>4</b>
<b>2 EKOTEHOKKUUS</b>	<b>6</b>
2.1 Ekotehokkuuden käsitteen määrittely	6
2.2 Muita ympäristölliseen suorituskykyyn liittyviä termejä ja niiden suhde ekotehokkuuskäsitteeseen	8
2.2 Ekotehokkuuden mittaaminen ja ilmaiseminen indikaattorein	9
<b>3 RAKENNUSALAN EKOTEHOKKUUS</b>	<b>11</b>
<b>4 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI RAKENNUSALAN EKOTEHOKKUUDEN OSANA</b>	<b>15</b>
4.1 Ympäristövaikutusten arvioinnin lähestymistavat	15
4.2 Tarkasteltavat ympäristövaikutukset	16
4.3 Elinkaariarviointiin perustuva vaikutusarviointi	17
4.3.1 Perusteet	17
4.3.2 Esimerkki vaikutusarvioinnista	21
4.4 Rakennusalan ympäristövaikutusten arvioinnin erityispiirteitä	23
<b>5 RAKENNUSALAN EKOTEHOKKUUDEN INDIKAATTORIT</b>	<b>25</b>
5.1 Indikaattoreiden ominaisuudet ja käyttötarpeet	25
5.2 Ekotehokkuuden indikaattoreiden jäsentelyä	26
<b>6 INDIKAATTORIEN SOVELTAMINEN RAKENNUSALAN YRITYKSISSÄ JA HANKKEISSA</b>	<b>29</b>
6.1 Johdanto	29
6.2 Omistaminen, rakennuttaminen, suunnittelu, urakointi ja kiinteistönpito	29
6.3 Rakennustuotteiden tuotanto	31
6.4 Rakennushanke	32
<b>7 TUTKIMUS- JA KEHITTÄMISTARPEET</b>	<b>34</b>
<b>8 LOPPUSANAT</b>	<b>37</b>
<b>LIITTEET</b>	
Liite 1. Sanasto	
Liite 2. Rakentamisen materiaaliresurssien käytön ympäristövaikutukset	
Liite 3. Esimerkkejä kansainvälisten työryhmien esittämistä rakennusalan ekologisista indikaattoreista	

# 1 JOHDANTO

Rakennuksen ympäristövaikutukset aiheutuvat pääosin rakennukseen käytettävien tuotteiden tuotantoprosessista, rakennuksen maankäytöstä ja rakennuksen lämmityksen, ilmastoinnin, veden käytön ja laitteiden käytön energiatarpeesta. Rakennushankkeen ekotehokasta toteuttamista varten tarvitaan menetelmiä suunnitteluratkaisujen, järjestelmien ja tuotteiden elinkaariarviointiin. Tarpeellisia ovat myös menetelmät, joiden avulla olisi mahdollista arvioida hankkeeseen osallistuvien yritysten valmiuksia ekotehokkaaseen rakentamiseen, ja menetelmiä, joiden avulla yritykset voivat itse parantaa ekotehokkuuttaan. Rakennushankkeen osapuolien ekotehokkuutta eivät niinkään kuvaava mittarit, joiden avulla voidaan arvioida yritysten toiminnan aiheuttamaa suoraa ympäristökuormitusta ja resurssien käyttöä, vaan indikaattorit, joiden avulla voidaan arvioida rakennuttamis-, urakointi- tai suunnittelutoiminnan kykyä ympäristövaikutusten huomioon ottamiseen prosessissa.

Ympäristövastuullisuutta voidaan käyttää yrityksessä yrityksen kilpailukykyä parantavana keinona. Toisaalta viimeaikaisten tutkimusten mukaan yritysten kannattavuutta ja ympäristömyönteisyyttä koskevat kuvaajat korreloivat positiivisesti keskenään. Ympäristövastuullisuus on siis nähty koko yrityksen kilpailukykyyn mittarina<sup>2</sup>, yrityksen kykyä reagoida toimintaympäristön muutoksiin. Selityksenä voidaan nähdä useita tekijöitä:

- ympäristöasioiden hoidon aiheuttama positiivinen maine sijoittajiin nähden,
- ympäristöasioihin liittyvät innovaatio- ja kehitysmahdollisuudet,
- elinkaariajattelun antama tuki tuotteiden koko arvoketjun hallinnalle.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) toi ekotehokkuuskäsitteen julki YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssille vuonna 1992 annetussa raportissa. Ekotehokkuuden sisältö on sen jälkeen ollut laajasti keskustelun kohteena. OECD:n ministerikokouksen (1998) raportin mukaan ekotehokkuus voidaan määritellä tuotoksen ja panoksen suhteena siten, että tuotos on tuotteiden ja palveluiden arvo, jotka yritys tuottaa, ja panos on vastaavasti ympäristöön kohdistuvien paineiden summa.

Edellä esitettyä määritelmää soveltaen tässä esitutkimuksessa rakennusalan ekotehokkuus pyritään määrittelemään rakennusten käyttöarvon ja niiden tuotannosta ja käytöstä aiheutuvien ympäristöpaineiden suhteena. Käyttöarvo puolestaan pyritään määrittelemään rakennusten toimivuusominaisuuksien pohjalta. Konseptin vieminen rakennusalan käyttöön edellyttää rakennuksen toimivuusominaisuuksien jäsentelyä ja konkretisointia todentamismenetelmiä myöten sekä ympäristövaikutusten arvioinnin kehittämistä ja yksinkertaistamista. Elinkaariarviointi antaa menetelmälliset perusvalmiudet ekotehokkuuden ympäristökuormitusosan määrittämiseen

Toisaalta rakennusosalalla on paljon tilanteita, joissa arviointi- ja laskentamenetelmien ohella tai sijasta tarvitaan yksinkertaisia indikaattoreita. Indikaattoreiden käyttö on tarpeen esimerkiksi, kun halutaan ottaa huomioon laajan tai monimutkaisen projektin vaikutukset, vaikka varsinaiseen vaikutusarvioon ei ole riittävästi resursseja. Indikaattoreita voidaan tarvita myös tarkasteltaessa sellaisen yritystoiminnan ekotehokkuutta, jonka tärkeimmät vaikutukset ovat välillisiä. Lisäksi indikaattoreita tarvitaan käsiteltäessä aspekteja, joiden suhteen ei ole olemassa suoraa mittareita, kuten esimerkiksi biodiversiteetti-vaikutukset.

Ekotehokkuuden indikaattoreita on yleisesti kehitetty osoittamaan lähinnä ympäristöpaineiden suuruutta sellaisten parametrien avulla, kuten resurssien käyttö ja tietyt haitalliset päästöt. Rakennusosalalla ollaan kuitenkin kehittämässä monia erilaisia systeemejä hankkeiden eri vaiheisiin rakennusten ekotehokkuuden tai rakennusten aiheuttaman ympäris-

---

<sup>2</sup> Porter & van der Linde 1996.

tökuormitusten osoittamiseen. Nämä systeemit sisältävät osatekijöinä paitsi erilaisia ympäristöpaineiden suuruutta kuvaavia parametrejä lisäksi muita tunnuslukuja tai karakterisointeja, kuten rakennusten ominaisuuksia ja tietyn tyyppisiä teknisiä ratkaisuja, joiden avulla pyritään indikoimaan rakennuksen tai hankkeen hyvyttä ekologisesti kestävä kehityksen mielessä. On ilmeistä, että koko indikaattorin käsite kaipaa täsmennystä rakennusalalla. Muussa tapauksessa on vaarana, että indikaattoreista tulee perustelemattomia ja jäsentymättömiä luetteloita, joiden haitta on suurempi kuin hyöty rakentamisen ekotehokkuuden kehittämisessä. Välttämätöntä ei niinkään ole saada aikaan kansainvälisesti yleisesti hyväksyttyä indikaattoriluetteloa kuin luoda kehys, jonka avulla eri tyyppisiä indikaattoreita voidaan ymmärtää ja käsitellä.

EU:n viidennen puiteohjelman tutkimusohjelmassa ”City of Tomorrow” kaupunkialueiden ekologisuuden arviomallit ja indikaattorit on yksi keskeisistä teemoista. Tutkimusohjelman alkaneissa verkostohankkeissa vieläpä laajennetaan tarkastelunäkökulmaa ekologisesti kestävä kehityksen aspektista myös sosiaalisten, kulttuuristen ja taloudellisten seikkojen huomioon ottamiseen.

## 2 EKOTEHOKKUUS

### 2.1 Ekotehokkuuden käsitteen määrittely

Ekotehokkuustermin toi esille ensimmäisenä kansainvälistä elinkeinoelämää edustava järjestö World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) raportissaan YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssille vuonna 1992 (Rion kokous)<sup>3</sup>. Termin sisältö on ollut keskustelun kohteena sekä sen esille tuoneen järjestön taholta että myös mm. OECD:n<sup>4</sup> toiminnassa. Myös EU on osallistunut ekotehokkuudesta käytyyn keskusteluun yhdessä mm. edellä mainittujen tahojen sekä kansalaisjärjestöjen kanssa.

Ekotehokkuuden sisällölle on annettu erilaisia muotoiluja. OECD:n ministerikokouksissa<sup>5</sup> oli ekotehokkuus esillä ja termille on mm. OECD raportissa Eco-efficiency vuodelta 1998 määritelty sisältö:

Ekotehokkuus ilmaisee tehokkuutta, jolla inhimilliset tarpeet täytetään käyttäen ekologisia resursseja (Eco-efficiency expresses the efficiency with which ecological resources are used to meet human needs).

Edelleen se voidaan OECD:n raportin mukaan määritellä tuotoksen tai hyödyn (output) ja panoksen (input) suhteena. Tällöin tuotos on tuotteiden ja palveluiden arvo, jotka yritys, sektori tai talous kokonaisuudessaan tuottaa. Panos on ympäristöön kohdistuvien paineiden tai kuormitusten (environmental pressures<sup>6</sup>) summa, jonka yritys, toimiala tai talousjärjestelmä aiheuttaa. Siten ekotehokkuus voidaan määritellä seuraavasti.

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

*Kaava 1. Ekotehokkuus.*

WBCSD<sup>7</sup> on määritellyt ekotehokkuuden käsitettä mm. seuraavasti:

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

WBCSD on edelleen kehittänyt ekotehokkuuden määritelmään konkreettisemmän laajennuksen vuonna 1996 julkaisussa Eco-efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance<sup>8</sup> esittelemällä seitsemän ekotehokkuuden elementtiä:

<sup>3</sup> Tarkasti sanoen termin esittäjä oli WBCSD:tä edeltänyt Business Council for Sustainable Development. Vuonna 1995 WBCSD muodostettiin yhdistämällä Business Council for Sustainable Development (Genevessä) ja World Industry Council for the Environment (WICE).

<sup>4</sup> The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 1998. Eco-efficiency.

<sup>5</sup> OECD Meetings of the Environment Policy Committee at Ministerial Level, February 1996 and April 1998

<sup>6</sup> Environmental pressure -käsitettä on käytetty sekä OECD:n että EU:n (Eurostatin ja EEA:n) toiminnassa. Sillä ymmärretään ympäristön kuormitusta laajassa merkityksessä siten, että myös luonnonvarojen käyttö on mukana. Ekotehokkuuden yhteydessä on osoittajan myös määritelty koostuvan "environmental influence" -käsitteestä (WBCSD), merkityksen ollessa kuitenkin OECD:n kanssa samansisältöinen.

<sup>7</sup> Lehni, M. 1998. WBCSD Project on Eco-efficiency Metrics & Reporting, State-of-Play Report. WBCSD.

- 1) tavaroiden ja palvelujen materiaalien tarpeen vähentäminen
- 2) tavaroiden ja palvelujen energian tarpeen vähentäminen
- 3) myrkyllisten aineiden leviämisen vähentäminen
- 4) materiaalien kierrätyksen lisääminen
- 5) uusiutuvien resurssien kestävä (kestävän kehityksen mukaisen) käytön maksimointi
- 6) tuotteiden kestävyuden parantaminen
- 7) tuotteiden ja palveluiden palveluintensivisyyden lisääminen.

WBCSD on katsausraportissaan<sup>9</sup> päätenyt myös ekotehokkuuden kuvaamiseen yhtälönä, jossa osoittajana on tuotteen tai palvelun arvo ja nimittäjänä ympäristövaikutus. Tämä määrittely on tuotetasoinen, jolloin lähestymistapa on lähellä elinkaariajattelua.

EU:n ympäristötoimiston (EEA) järjestämässä seminaarissa (workshop) "Making Sustainability Accountable" joulukuussa 1998 keskusteltiin muiden seminaariteemaan liittyvien käsitteiden ohella myös ekotehokkuudesta. Sen todettiin olevan strategia tai lähestymistapa, jolla pyritään katkaisemaan yhteys luonnon käytön (resurssien käyttö ja päästöt) ja inhimilliset tarpeet (hyvinvoinnin) tyydyttävän taloudellisen aktiviteetin välillä. Samanlaiseen johtopäätökseen oltiin tultu myös jo OECD:n ministerikokouksessa 1996.

Ekotehokkuustermiä ja erityisesti siitä johdettua "ekotehokas" -adjektiivia on käytetty viime aikoina niin Suomessa kuin maailmallakin melko yleisesti. Tällöin sen sisältö jää kuitenkin usein lukijalle tai kuulijalle epäselväksi tai epätarkaksi ja merkitys onkin ymmärrettävissä yleisemmin "ympäristönsuojelun kannalta tehokkaaksi" tai "kestävän kehityksen kannalta tehokkaaksi tai hyväksi". Myös ekotehokkuustavoitteen kohdentamisessa on erilaisia ulottuvuuksia, alkaen "mikroekonomiselta" yritys- ja tuotetasolta aina "ekotehokkaan Suomen" näkökulmaan asti.

Ekotehokkuutta ja siihen liittyviä käsitteitä käsitellään mm. viitteissä<sup>10, 11, 12, 13, 14, 15, 16</sup> ja<sup>17</sup>.

WBCSD:n mukainen ekotehokkuuden määrittely sisältää ilmaukset inhimilliset tarpeet ja elämän laatu, jotka ovat sosiaalisia käsitteitä. Niiden mittaaminen on luonnollisesti ympäristöön liittyviä tai taloudellisia suureita vaikeampaa. WBCSD onkin raportissaan

---

<sup>8</sup> WBCSD. 1996. Eco-Efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance.

<sup>9</sup> The WBCSD Working group on Eco-efficiency Metrics & Reporting. 1999. Eco-efficiency Indicators & Reporting Report on the Status of the Project & Work in Progress and Guideline for Pilot Application. Geneva, 6.4.1999.

<sup>10</sup> OECD, Eco-efficiency, 1998.

<sup>11</sup> Lehti, M. 1998. WBCSD Project on Eco-efficiency Metrics & Reporting, State-of-Play Report. WBCSD.

<sup>12</sup> Eco-efficiency indicators & reporting. Report on the Status of the Projects, Work in Progress and Guideline for Pilot Application, WBCSD, 1999.

<sup>13</sup> Eco-Efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance, WBCSD, 1996.

<sup>14</sup> WBCSD and UNEP (United Nations Environment Programme). 1998. Cleaner Production and Eco-efficiency - Complementary Approaches to Sustainable Development.

<sup>15</sup> Ekotehokkuustyöryhmä. 1998. Ekotehokkuus ja factor-ajattelu. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 1/1998.

<sup>16</sup> The Nordic Council of Ministers. 1999. Factors 4 and 10 in the Nordic Countries -the Transport sector-the Forest Sector- the Building and Real Estate Sector- the Food Supply Chain. Nordic Council of Ministers, Tema Nord 1999:528.

<sup>17</sup> The National Round Table on the Environment and the Economy. 1997. Measuring Eco-efficiency in Business. National Round Table on the Environment and the Economy (NRTEE) publications. Ottawa, Kanada.

Eco-efficiency Metrics & Reporting <sup>9</sup> todennut jättäneensä ne tarkastelun ulkopuolelle projektinsa ensi vaiheessa.

Ekotehokkuuden käsitteessä suhteutetaan toisiinsa tuotteiden arvo ja ympäristöön kohdistuvat paineet. Ekotehokkuudessa pyritään yhdistämään tavoitteet elämän laadun säilyttämisestä ja tuotannon resurssi-intensiteetin ja ekologisten vaikutusten pienentämisestä. Olennaista tässä määrittelyssä on se, että tarvittava muutos ekotehokkuuteen pyritäessä koskee erityisesti tuotantoa. Suurin muutospaine koskee tavaroiden ja palveluiden tuotantotapaa, jotta tuotannon aiheuttamat ympäristöpaineet pienenisivät. Vastaavasti tässä raportissa ekotehokas rakentaminen määritellään siten, että siinä rakennukselle asetetut vaatimukset toteutetaan mahdollisimman vähäisen ympäristökuormituksen aiheuttavalla maan ja muiden resurssien käytöllä (kts luku 3). Jos välttämättömäksi katsottu elämän laatutaso nousee ja haluttu korkea laatutaso koskee yhä useampia ihmisiä, rakentamisen aiheuttamat ympäristöpaineet voivat kasvaa, vaikka tuotannon aiheuttamat ympäristöpaineet tuotteen arvoa kohtaan pienenisivät. Täten esimerkiksi matala-energiarakentamisen ekologinen hyöty voi peittyä sisäilmaston laatuun ja asumisväljyyteen kohdistuvien vaatimusten kasvaessa. Kysymys on olennainen kehittyneissäkin maissa, kuten Suomessa, mutta se on äärimmäisen tärkeä sellaisissa kehitysmaissa kuten Kiinassa. Merkittäviä parannuksia tai edes tilanteen pysymistä ennallaan ympäristöpaineiden syntymisessä rakentamisesta ei ehkä saavuteta, mikäli muutoksia ei samalla tapahdu arvoissa, asenteissa ja käyttäytymistottumuksissa. Tämän kysymyksen tärkeyden selvittämiseksi tarpeen olisi selvittää vaatimustason hintaa sekä taloudelliselta kannalta että ympäristökuormituksen kannalta.

## **2.2 Muita ympäristölliseen suorituskykyyn liittyviä termejä ja niiden suhde ekotehokkuuskäsitteeseen**

Koko organisaation tai laajemman kokonaisuuden ympäristöön liittyvän toiminnan tarkasteluun on toisaalla mm. standardointiin liittyvässä kansainvälisessä työssä kehitetty muita samantyyppisiä termejä ja sisältöjä. ISO-standardiluonnos 14031<sup>18</sup> pitää sisällään mm. käsitteet

- Environmental Performance (suomennosehdotuksena ympäristönsuojelun taso)
- Environmental Performance Evaluation (ympäristönsuojelun tason arviointi),
- Environmental Performance Indicator (ympäristönsuojeluindikaattori) sekä
- Management Performance Indicator (johdon tehokkuusindikaattori).

Nämä ovat organisaatiolle (käytännössä laitokselle, yritykselle tai konsernille) tarkoitettuja johtamisen tukena käytettäviä työkaluja. Niitä voidaan käyttää yhdessä ympäristöjärjestelmän kanssa, mutta mikäli yrityksellä ei sellaista ole, myös itsenäisinä apuvälineinä.

Rakennushankkeiden suorittamisen ja rakennusalan yritysten ympäristönsuojeluindikaattoreita ja johdon tehokkuusindikaattoreita käsitellään enemmän tämän esitutkimusraportin luvussa 6, jossa esitetään alustavia hahmotelmia mahdollisista tehokkuusindikaattoreista.

Tuotteisiin ja palveluihin liittyvää ympäristöllisen suorituskyvyn arviointia on tehty jo kauemmin. Tällaisia lähestymistapoja ovat mm. elinkaariarviointit (LCA) sekä tuotteiden ympäristömerkintä. Luvussa 4 esitetään elinkaariarvioinnin peruseriaatteet ja kehitystarpeet silmällä pitäen rakentamisen ekotehokkuuskonseptin kehittämistä.

---

<sup>18</sup> ISO/FDIS 14031 : 1999(E) Final draft international standard. Environmental management - Environmental performance evaluation – Guidelines. 32 s.

Ekotehokkuustermi on usein esitetty liittyneenä keskusteluihin ja projekteihin, jotka käsittelevät kestävästä kehityksestä, kuten factor 4- ja factor 10-tavoitteita. Ekotehokkuuden käsite saatetaan usein ymmärtää WBCSD:n ja OECD:n määrittelyä laajemmin esimerkiksi juuri kestävästä kehityksestä sen osajoukkona. Factor-tavoitteissa tavoiteltavan lisättävän tehokkuuden määrittely on myös tyypillisesti rajattu koskemaan resurssien (mm. materiaalien) käytön tehostamista. Kuitenkin resurssien käytön on siinä arvioitu tuovan luonnollisesti mukanaan myös päästöjen vähenemisen. Joissakin yhteyksissä, kuten YK:n kestävästä kehityksestä toiminnassa, ekotehokkuuden arviointi on liitetty melko kiinteästi factor-tavoitteisiin.

### 2.3 Ekotehokkuuden mittaaminen ja ilmaiseminen indikaattorein

Jotta ekotehokkuutta voi käyttää yrityksen tai muun taloudellisen kokonaisuuden toiminnan suunnittelussa ja arvioinnissa hyväksi, on ekotehokkuuden konkreettinen määrittely tarpeen. Termiin liittyen on nähty tarpeelliseksi kehittää ja sopia erilaisia mitattavia tai muuten määriteltäviä indikaattoreita ekotehokkuuden hyvyyden arvioimiseksi. On esitettykin runsaasti erilaisia tavoitteita kehitettävälle indikaattoreille, kuitenkin varsinaisia ekotehokkuuden indikaattoreita on ilmeisesti melko vähän testattu tai otettu käyttöön.

Ekotehokkuuden indikaattoreiksi on input-tekijöiksi ehdotettu jo aiemmin käytössä olleita luonnonvarojen käyttöä ja päästöjä luonnehtivia, mitattavia tai muuten luotettavasti arvioituja suureita, esimerkiksi energiankäyttö tai CO<sub>2</sub>-päästöt vuodessa. Output-tekijöiksi on ehdotettu erilaisia taloudellisen toiminnan ja tuloksen arvioinnissa käytettyjä tunnuslukuja, esimerkiksi tuotannon määrä, liikevaihto ja käyttökate. WBCSD on ryhmitellyt potentiaalisia indikaattoreita ydinindikaattoreiksi (core indicators) ja täydentäviksi indikaattoreiksi (supplemental indicators). Edellä mainituilla tarkoitetaan sellaisia indikaattoreita, jotka sopivat käytännöllisesti katsoen kaikille yritystoiminnan aloille, jälkimmäisiä käytettäisiin vastaamaan tietyn alan tarpeisiin. WBCSD suosittelee täydentävien indikaattorien valinnassa käytettäväksi oppaana ISO 14031-standardia (vielä luonnos). Sen sijaan inhimillisten tarpeiden tyydyttämisen mittaamiseen ei ole esitetty yleispäteviä indikaattoreita.

Seuraavassa on esimerkkejä WBCSD:n listaamista "ydin-indikaattoreista". Osa indikaattoreista on WBCSD:n ehdottamana potentiaalisia, eli niitä tulisi testata ensi vaiheessa (during the pilot phase), jotta niiden kelvollisuudesta ydinindikaattoreiksi voitaisiin päättää. Kelvollisuuden perusteina ovat yleinen yksimielisyys indikaattorin maailmanlaajuisesta merkityksestä (global concern), mittaamenetelmästä sekä asianmukaisuudesta ja merkitysvyydestä käytännöllisesti katsoen kaikkeen yritystoimintaan<sup>19</sup>.

Tuotteen/palvelun arvoon liittyviä (*kursivoidut WBCSD:n ehdottamia potentiaalisia*):

- Valmistetun tai myydyt tuotteen tai palvelun määrä/yksikkömäärä/lukumäärä
- Liikevaihto (myynnin nettosumma)
- *Lisäarvo*
- *Käyttökate (katetuotto)*
- *Voitto/tuotto/tulo*

Tuotteen ja palvelun valmistuksen/luomisen ympäristöllisiin paineisiin liittyviä (*kursivoidut WBCSD:n ehdottamia potentiaalisia*):

- Käytetty energia (GJ)
- Käytetyt materiaalit (tonnia)

---

<sup>19</sup> The WBCSD Working group on Eco-efficiency Metrics & Reporting. 1999. Eco-efficiency Indicators & Reporting Report on the Status of the Project & Work in Progress and Guideline for Pilot Application. Geneva, 6.4.1999. [Http://www.wbcscd.ch/ecoeff1.htm](http://www.wbcscd.ch/ecoeff1.htm).

- Käytetty vesimäärä (m<sup>3</sup>)
- Kasvihuonekaasupäästöt (tonnia CO<sub>2</sub> -ekvivalenttina)
- Otsonia tuhoavien aineiden päästöt (tonnia CFC11-ekvivalenttina)
- *Happamoitumista aiheuttavat päästöt (tonnia protoniekvivalenttina)*
- *Rehevöittävät päästöt vesistöihin (tonnia typpeä ja fosforia)*
- *COD/BOD jätevesipäästöissä*
- *VOC-päästöt*
- *POP-päästöt*
- *Priorisoidut raskasmetallipäästöt*
- *Maan käyttö*

Jotta ekotehokkuuden suhdeluvulle saataisiin arvo, tulee osoittajan (output) ja nimittäjän (input) mahdolliset useat indikaattorit pystyä summaamaan tai muuten yhdistämään. Erityisesti ympäristöön kohdistuvien kuormitusten (pressures) kohdalla yhdistämisessä voidaan käyttää erilaisia elinkaariarvioinnissa sovellettuja menetelmiä. Menetelmiä käytettäessä joudutaan yleensä turvautumaan jonkinasteisiin subjektiivisiin painotuksiin. Eri indikaattoreiden yhdistelemissä WBCSD suosittelee melko varovaista etenemistä ennen yhdistämiseen liittyvien rajoitteiden tarkkaa arviointia. Yksittäisten indikaattoreiden käyttöön output-input -suhdeluvun määrittämiseksi ja ajallisen kehityksen arvioimiseksi yrityksissä WBCSD näyttää sen sijaan kannustavan.

Edellä mainitut tuotteen tai palvelun valmistamisen ympäristöpaineisiin liittyvät indikaattorit ovat kaikki aiheutuvia päästöjä tai aiheutuvaa resurssien käyttöä suoraan kuvaavia suureita. Indikaattoreiksi on toisaalta rakennuslalla ehdotettu myös kuvaajia, jotka liittyvät tuotteen toiminnallisiin tai teknisiin ominaisuuksiin ja joiden katsotaan epäsuorasti kuvaavan aiheutuvia ympäristöpaineita. käsitteen selkeyttämiseksi tämän esitutkimuksen luvussa 5 esitetään alustava indikaattoreiden jäsentelyehdotus.

### 3 RAKENNUSALAN EKOTEHOKKUUS

Rakennusalan<sup>20</sup> ekotehokkuus voidaan määritellä luvussa 2 esitetyn OECD:n määritelmän mukaisesti rakennusalan tuotteiden ja palvelujen arvon ja ympäristöön kohdistuvien paineiden suhteena. Tässä yhteydessä rakennusalan ekotehokkuus rajataan käsittämään rakennuksia, niiden tuottamista, käyttöä, purkua ja loppusijoitusta. Rakennukset ovat merkittävä osa rakennettua ympäristöä, johon liittyy koko yhdyskuntatason perusrakenne verkostoinen, palveluinen ja liikennevirtoinen. Rakennetun ympäristön ekotehokkuuteen liittyviä kysymyksiä ei kuitenkaan tässä raportissa tarkastella rakennustasoa laajemmin.

Ekotehokkaassa rakentamisessa hankkeelle asetetut vaatimukset täytetään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavalla maan ja resurssien käytöllä rakennuksen koko elinkaaren aikana. Ekotehokkaan rakentamisen konseptissa yhdistetään toimivuuksajattelu ja elinkaariajattelu. Toimivuuksajattelulla rakentamisessa tarkoitetaan menettelytapaa, jossa rakentamisen lopputuotteesta kuvataan valintavaiheessa käytönaikaiset ominaisuudet eikä teknistä ratkaisua. Suunnittelun lopputuloksena on se tekninen ratkaisu, joka täyttää asetetut vaatimukset. Suunnittelun teknisen ratkaisun toteuttaminen aiheuttaa elinkaarensa aikana tietyn ympäristökuormituksen ja elinkaarikustannukset. Mitä suurempi on rakennuksen ominaisuuksiin pohjautuvan arvon ja ominaisuudet toteuttavan teknisen ratkaisun aiheuttaman ympäristökuormituksen suhde, sitä ekotehokkaampi rakennus on.

Rakennuksen ekotehokkuuden arvioimiseksi rakennus on määriteltävä ominaisuuksiensa ja niihin liittyvien arvojen perusteella, ja toisaalta on määriteltävä haluttujen ominaisuuksien toteuttamisen aiheuttama ympäristökuormitus elinkaarimetodiikalla. Ekotehokkuusajattelussa elinkaarimetodiikan toiminnallinen yksikkö (functional unit) määritetään täten siis rakennuksen toimivuuksominaisuuksien perusteella. Ympäristökuormitus puolestaan määritetään LCA-metodiikan mukaisesti koostamalla inventaario rakennuksen tuotannon ja käytön olennaisista syötteistä ja tuotoksista ja arvioimalla näihin liittyvät potentiaaliset ympäristövaikutukset. Kokonaisympäristökuormitusta on kuitenkin mahdollista myös indikoida joillakin keskeisiksi katsotuilla tekijöillä (kts. kohta 5.3).

Rakennuksen ekotehokkuus ja kustannustehokkuus voidaan ymmärtää samanmuotoisesti siten, että kummassakin on kysymys rakennuksen haluttujen ominaisuuksien ja arvojen toteuttamisesta tietyin elinkaariseuraamuksin - elinkaarikustannuksin tai elinkaaren aikana syntyvin ympäristökuormituksin. Rakennuskohteen ekotehokkuus ja kustannustehokkuus voidaan määritellä seuraavasti.

Ekotehokkuus	=	$\frac{\text{ARVO}}{\text{ELINKAAREN AIKAINEN YMPÄRISTÖKUORMITUS}}$
Kustannustehokkuus	=	$\frac{\text{ARVO}}{\text{ELINKAARIKUSTANNUKSET}}$
ARVO = KOHTEEN OMINAISUUDET TAI NIISTÄ JOHTUVA ARVO.		

Kaava 2. Ekotehokkuus ja kustannustehokkuus.

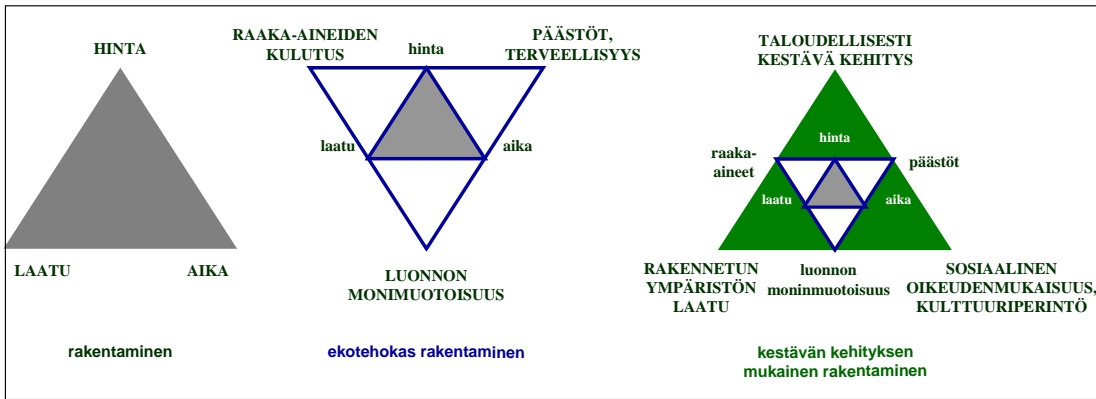
<sup>20</sup> Kts. termin määrittely sanastossa liitteessä 1.



Taulukko 1. VTT ProP ominaisuusjäsentely.

<b>A KIINTEISTÖN TOIMIVUUS</b>	
<b>A1 KELPOISUUS OMISTAJAN JA KÄYTTÄJÄN TOIMINTAAN</b>	<b>A4 KÄYTTÖIKÄ JA VAURIORISKI</b>
A 1.1 Ydinprosessit	A 4.1 Käyttöikä
A 1.2 Tukiprosessit	A 4.2 Toimivuuteen vaikuttavat vauriot
A 1.3 Yrityskuva	<b>A5 MUUNTOJOUSTO</b>
A 1.4 Esteettömyys	A 5.1 Tilajärjestelmät ja reititysjärjestelmät
<b>A2 SIJAINTI</b>	A 5.2 Suunnittelun muuntojousto ja käytönaikainen muuntojousto
A 2.1 Tontin ominaisuudet	<b>A6 TURVALLISUUS</b>
A 2.2 Liikenne yhteydet	A 6.1 Rakenteellinen turvallisuus
A 2.3 Palvelut	A 6.2 Paloturvallisuus
A 2.4 Vaikutukset lähiympäristöön	A 6.3 Käyttöturvallisuus
<b>A3 SISÄOLO</b>	A 6.4 Murtoturvallisuus
A 3.1 Sisäilmasto	A 6.5 Luonnonkatastrofit
A 3.2 Äänisolosuhteet	<b>A7 VIIHTYISYYS</b>
A 3.3 Valaistusolosuhteet	
<b>B KUSTANNUS- JA YMPÄRISTÖOMINAISUUDET</b>	
<b>B1 ELINKAARIKUSTANNUKSET</b>	
B 1.1 Perustamiskustannukset	
B 1.2 Hoitokustannukset	
B 1.3 Kunnossapitokustannukset	
B 1.4 Loppusijoitus ja arvo	
<b>B2 MAANKÄYTÖN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET</b>	
<b>B3 RAKENNUKSEEN SITOUTUNEET RESURSSIT JA YMPÄRISTÖKUORMITUS</b>	
B 3.1 Rakennuksen ympäristökuorma	
B 3.2 Kierrätys	
<b>B4 KÄYTÖNAIKAINEN YMPÄRISTÖKUORMITUS</b>	
B 4.1 Rakennuksen kulutus ja kuormat	
B 4.2 Käyttäjien kulutus ja kuormat	

Ekotehokkaan rakentamisen konsepti voidaan laajentaa kuvan 1 mukaisesti koskemaan ekologisesti kestävä kehityksen lisäksi taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä kehityksen huomioon ottamista. Tällöin rakennuksen arvo (kaavan 3 osoittaja) olisi määriteltävä paitsi sen toimivuusominaisuuksiin pohjautuvan arvon myös sen kulttuurisen ja sosiaalisen arvon pohjalta.



Kuva 1. Ekotehokas rakentaminen ja kestävän kehityksen mukainen rakentaminen.

Vastaavasti myös seurausvaikutuksien (kaavan 3 nimittäjän) tarkastelua voitaisiin laajentaa koskemaan muitakin kuin ekologisesti kestävään kehitykseen liittyviä vaikutuksia. Tällöin ei tosin enää välttämättä puhuta ekotehokkuudesta. Seurausvaikutusten selvittämiseksi voitaisiin inventoida paitsi aiheutuva ympäristökuormitus myös esimerkiksi kohteen toteutuksen sosiaaliset seurausvaikutukset, kuten esimerkiksi kohteen toteuttamisen työllisyysvaikutukset, seurausvaikutukset alueen sosiaalisten palvelujen tarjontaan tms.

## 4 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI RAKENNUSALAN EKOTEHOKKUUDEN OSANA

### 4.1 Ympäristövaikutusten arvioinnin lähestymistavat

Ekotehokkuus on edellä määritelty rakennuksen ominaisuuksien tai niistä seuraavan arvon ja ympäristövaikutusten suhteeksi. Rakennuksen ympäristövaikutukset aiheutuvat pääosin rakennukseen käytettävien tuotteiden tuotantoprosessista, rakentamisen maankäytöstä ja rakennuksen lämmityksen, ilmastoinnin, veden käytön ja laitteiden käytön energiatarpeesta.

Ympäristövaikutusten arvioinnin lähtökohtana on rakennustuotteisiin, rakentamiseen ja rakennuksen käyttöön sekä poistoon liittyvät päästöt, jätteet, luonnonvarapanokset sekä maankäyttöön liittyvät tekijät. Näiden ympäristöä muuttavien ja kuormittavien tekijöiden perusteella voidaan tehdä arvioita erilaisten vaihtoehtojen paremmuudesta ympäristövaikutusten perusteella ilman, että kyseessä olevia tekijöitä työstetään eteenpäin. Esimerkiksi jos vertailtavana on kaksi vaihtoehtoista tuotantotapaa jollekin tuotteelle ja toinen vaihtoehto on jokaisen tarkasteltavan ympäristömuuttujan suhteen parempi, voidaan vaihtoehtojen paremmuus ympäristönäkökulmasta ratkaista yksiselitteisesti. Mikäli muuttujien paremmuus menee ristiin eri vaihtoehtojen suhteen, tilanne on ongelmallisempi. Käytännössä tällaiseen tilanteeseen törmätään usein.

Ekotehokkuuden ympäristövaikutusosan tulkinnassa joudutaan helposti vaikeuksiin luokusten ympäristömuuttujien takia. Ekotehokkuuden ympäristövaikutusosan kuvaamiseen voidaan käyttää ympäristöindikaattoreita, jotka helpottavat rakentamisen ympäristövaikutusten tulkintaa. Ympäristöindikaattorit kuvaavat erilaisia ympäristöä muuttavia ja kuormittavia tekijöitä, joiden määrien uskotaan kuvaavan riittävällä tarkkuudella ympäristövaikutuksia.

Ekotehokkuuden yhteydessä on usein mainittu *luonnonvarojen kokonaiskäyttö* yhtenä tällaisena indikaattorina. Sitä on perusteltu muun muassa sillä, että luonnonvarojen kokonaiskäyttö on laaja-alainen perustekijä, josta erilaiset ympäristövaikutukset seuraavat. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö mittaa tarkasteltavan tuotejärjestelmän käyttämää kokonaisuusmateriaalimäärää tonneina. Sen kyky kuvata ympäristövaikutuksia on kuitenkin kyseenalainen, koska siinä lasketaan yhteen erilaisia ja yhteiskunnassa hyvin eri tavalla prosessoitavia materiaaleja. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö on ennemminkin ympäristövaikutusta ennakoiva ja selittävä kuin vaikutuksia kuvaileva indikaattori <sup>23</sup>.

Rakentamisen ekotehokkuuden ympäristövaikutusosan kuvaajana yksittäinen päästö tai vastaava kuormitusmuuttuja on ongelmallinen, koska ne kuvaavat vain rajoitetusti ympäristövaikutuksia. Yksinkertaistukset voivat tulla jossakin tapauksessa kysymykseen, jos esimerkiksi yksityiskohtaiset case -tutkimukset pystyvät perustelemaan yksittäisten kuormitusmuuttujan laajempaa kuvauskykyä. Tällä hetkellä ei perusteltuja yksinkertaistuksia ole kuitenkaan vielä tarjolla.

Ekotehokkuuden ympäristövaikutusosan lähtökohtana tulisi olla, että se muodostuisi ympäristövaikutuksien kannalta merkittävimmistä päästöistä ja muista ympäristöä muuttavista tekijöistä. Edelleen näistä mitattavista/arvioitavista tekijöistä tulisi kyetä tekemään johtopäätöksiä ympäristövaikutuksen suuruudesta. Absoluuttisten ympäristö-

---

<sup>23</sup> Juutinen, A. & Mäenpää, I. 1999. Suomen talouden luonnonvarojen kokonaiskäytön aikasarjat yhteenvedo. Ekotehokas Suomi-projektin väliraportti 23.6.1999. Thule-instituutti, Oulun Yliopisto.16 s.

vaikutustunnuslukujen sijasta olisi tavoiteltavaa, että erilaisten vaihtoehtojen suhteelliset erot vaikutuksiin pystyttäisiin arvioimaan.

Edellä esitetyt näkökulmat on pyritty ottamaan huomioon elinkaariarvioinnissa, joka on etenkin tuotteiden ympäristövaikutusten analysointiin kehitetty työväline. Elinkaariarvioinnin vahvuutena on se säännöstö ja systematiikka, jolla tarkasteltavan tuotejärjestelmän päästöt, luonnonvarojen käyttöön ja maankäyttöön liittyvät tekijät arvioidaan. Näiden tietojen pohjalta on mahdollista tehdä elinkaariarvioinnin vaikutusarviointi, jonka metodologia ei ole kuitenkaan vielä kaikilta osin valmis. Tästä huolimatta voidaan sanoa, että elinkaariarviointi antaa menetelmälliset valmiudet ekotehokkuuden ympäristökuormitusosan (kaavan 3 nimittäjän) määrittämiseen.

Elinkaariarvioinnin soveltamisen lähtökohtana ekotehokkuudessa on, että elinkaariarvioinnissa tutkittava toiminnallinen yksikkö määritellään samaksi kuin ekotehokkuustarkastelun kohde eli tuotejärjestelmä. Esimerkiksi rakennus muodostuu erilaisista rakennustuotteista, joista löytyy nykyisin melko hyvin elinkaari-inventaariotuloksia. Näistä tiedoista voidaan periaatteessa muodostaa koko rakennuksen elinkaari-inventaario. Kun siihen lisätään rakentamisvaiheen ja käytön aikaiset vaikutukset, saadaan koko rakennuksen inventaarioaineisto, mikä muodostaa ekotehokkuuden ympäristövaikutusosan perustan. Elinkaariarvioinnin käyttö ekotehokkuusmittarissa ottaa huomioon tuotantotoiminnan ympäristövaikutusten lisäksi muiden elinkaarivaiheiden aiheuttamat ympäristövaikutukset, joihin tuotteiden valmistajat voivat vaikuttaa muun muassa valitsemalla mahdollisimman ympäristömyötäiset alihankkijat ja kuljetussuoritteet.

#### **4.2 Tarkasteltavat ympäristövaikutukset**

Rakennusalan ympäristövaikutukset liittyvät luonnonvarojen käyttöön, ihmisen terveyteen ja ekologiisiin vaikutuksiin, mikä vastaa myös elinkaariarvioinneissa yleisesti käytettyä vaikutusluokkien pääjakoa<sup>24</sup>. Vaikutusluokan määrittelyn lähtökohtana on yhteinen vaikutus tai vaikutusjoukko, jonka suhteen arviointi tehdään. Elinkaariyhteisössä on kehitetty ja kehitetään edelleen sopivaa vaikutusluokkajakoa (taulukko 2) sekä sitä, mitkä ympäristömuuttujat kytkeytyvät mihinkin vaikutusluokkaan. Lähtökohtana tulisi olla, että rakentamisen ekotehokkuuden ympäristöindikaattorissa tulisi olla kaikki olennaiset ympäristövaikutusluokat.

*Taulukko 2. SETAC:in ympäristövaikutustyöryhmän ehdotus elinkaariarvioinneissa käytettäviksi vaikutusluokiksi*<sup>25</sup>

- Elollisten luonnonvarojen otto
- Elottomien luonnonvarojen otto
- Maankäyttö
- Ilmastonmuutos
- Yläilmakehän otsonin tuhoutuminen
- Ihmiseen kohdistuva toksisuus
- Ekotoksisuus
- Alailmakehän foto-oksianttien muodostuminen

<sup>24</sup> Lindfors, L-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntilla, V., Hanssen, O-J., Ronning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Århus, AKA-PRINT A/S. Nord 1995:20. 222 s.

<sup>25</sup> Udo de Haes, H.A., Jolliet, O., Finnveden, G., Hauschild, M., Krewitt, W. & Müller-Wenk, R. (toim.) 1999. Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment. Background Document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2). Int. J. LCA 4 (2) 66-74 & 4 (3) 167-174.

- Happamoituminen
- Rehevöityminen

---

Nykyiset elinkaariarvioinneissa käytetyt vaikutusarviointimetodit keskittyvät päästöasioihin ja sivuuttavat muun muassa maankäyttöön liittyvät ympäristönäkökohdat. Maankäyttö on kuitenkin yksi keskeisistä rakentamisen ympäristönäkökohdista. Erilaisen luonnonympäristöjen väheneminen ja niiden eliölajiston uhanalaistuminen ovat ensisijassa seurausta luonnonympäristöjen muuttumisesta esimerkiksi maa- ja metsätalouden, yhdyskuntarakentamisen sekä maa- ja kiviainesten oton seurauksena. Rakentamisen merkitys lajien uhanalaistumisen syynä on kasvanut. Maankäytön käsittelyä elinkaariarvioissa ollaan kehittämässä eri tahoilla<sup>25</sup>. Työ etenee kuitenkin hyvin hitaasti. Lisäksi on mahdollista, että kehitystyö ei kuitenkaan suoraan palvele rakentamisen ympäristövaikutuksien arviointia. Rakentamisen maankäytön arvioinnin menettelytavan tulisi koskea Suomen biologista monimuotoisuutta koskevaa kansallista toimintaohjelmaa<sup>26</sup> mukaillen seuraavien muutoksien ehkäisemistä:

- lintuvesien häviäminen
- rantojen käyttö
- harjualueiden käyttö sekä maa- ja kiviainesten käyttö
- arvokkaiden biotooppien muutokset ja luonnonympäristöjen pirstoutuminen
- lajien uhanalaistuminen

Päästöjen vaikutusten arvioinnissa suurimmat puutteet liittyvät ympäristövaarallisiin aineisiin. Tämä koskee sekä terveyshaittoja että ekotoksisia vaikutuksia. Myös jätteiden ja luonnonvarojen arviointi edellyttää uudenlaista tietopohjaa ja menetelmällistä kehitystyötä.

### **4.3 Elinkaariarviointiin perustuva vaikutusarviointi**

#### **4.3.1 Perusteet**

Ympäristöä kuormittavien tekijöiden ja ympäristövaikutusten käsittelyä on pyritty voimakkaasti yhtenäistämään ja systematisoimaan kansainvälisessä elinkaariarviointityössä. Elinkaariarvioinnin lähtökohtana on inventaarioanalyysi, jossa on arvioitu johonkin tuotteeseen tai toimintoon liittyvät ympäristöä muuttavat ja kuormittavat tekijät. Inventaariotietojen analysointiin on elinkaariarvioinnissa käytetty muun muassa seuraavia vaikutusarviointimenetelmiä :

- ympäristöprioriteettistrategiat, EPS<sup>27</sup>
- Tellus-menetelmä<sup>28</sup>
- "ekoniukkuus"-menetelmä<sup>29</sup>
- "CML"- menetelmä<sup>30</sup>
- "ympäristöteema"-menetelmä<sup>31</sup>

---

<sup>26</sup> Ympäristöministeriö 1997. Suomen biologista minimuotoisuutta koskeva kansallinen toimintaohjelma 1997-2005. Oy Edita Ab, Helsinki. Suomen ympäristö 137. Luonto ja luonnonvarat. 189 s.

<sup>27</sup> Steen, B. & Ryding, S.-O. 1992. The EPS Enviro-Accounting Method - An application of environmental accounting principles for evaluation and valuation of environmental impact in product design. Göteborg, Swedish Environmental Research Institute (IVL), B 1080. 57 s.

<sup>28</sup> Tellus Institute 1992. The Tellus Packaging Study. Boston, Tellus Institute, MA. (Ref. Lindfors et al. 1995)

<sup>29</sup> Ahbe S., Braunschweig, A. & Müller-Wenk, R. 1990. Methodik für oekobilanzen auf der basis ökologischer optimierung (A method for ecobalance and ecological optimization), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. Schriftenreihe Umwelt, nr. 133, 39 s.

<sup>30</sup> Heijungs, R., Guinée, J.B., Huppes, G., Lankreijer, R.M., Udo de Haes, H.A. & Sleeswijk, A.W. 1992. Environmental life cycle assessment of products, MultiCopy, Leiden. CML (Centre of Environmental Science) report 9267, 130 s.

- "ekoindikaattori 95"-menetelmä<sup>32</sup>
- päätösanalyysiin pohjautuva vaikutusten arviointi (DAIA) (Seppälä 1997,1999)<sup>33 34</sup>

Eri vaikutusarviointimenetelmien laskentaperusteet eroavat huomattavasti toisistaan. Neljä viimeksi mainittua menetelmää noudattavat kuitenkin kansainvälisen ekotoksisuusjärjestön SETAC:n<sup>(35, 25)</sup> ja standardisointijärjestön ISO:n (ISO/DIS 14042) mukaisia vaikutusarviointivaiheita, jotka otetaan seuraavan esityksen pohjaksi.

Elinkaariarviointiin perustuvan vaikutusarvioinnin ensimmäisenä vaiheena on luokitella inventaariossa kerätyt tiedot päästöistä, luonnonvarojen käytöstä ja maankäyttöön liittyvistä tekijöistä vaikutusluokkiin (ks. kohta 4.2 ja kuva 2). Luokittelua seuraa karakterisointi eli luonnehdinta. Se on prosessi, jossa eri ympäristömuuttujien arvot muutetaan yhteismitalliseksi ko. vaikutusluokkaan nähden. Käytännössä tämä tehdään kertomalla inventaariossa arvioitu kuormitusmuuttujan arvo ns. karakterisointikertoimella. Esimerkiksi vaikutusluokan "ilmastonmuutos" yhteydessä hiilidioksidi- (CO<sub>2</sub>), typpioksiduuli- (N<sub>2</sub>O) ja metaanipäästöt (CH<sub>4</sub>) kerrotaan kunkin muuttujan vastaavalla GWP - kertoimella (=karakterisointikerroin ilmastonmuutoksessa), jolloin eri aineiden päästöt voidaan laskea yhteen CO<sub>2</sub>-ekvivalenttimääränä.

Elinkaariarvioinnissa lähtökohtana on, että karakterisointikertoimet pyritään määrittämään mahdollisimman hyvin luonnontieteellisiin tosiasioihin perustuen. Karakterisointikertoimien kehittämisessä on vilkas kansainvälinen kehitystyö meneillään (esim.<sup>25</sup>). Pohdintaa aiheuttaa muun muassa se, kuinka paikalliset vaikutukset tulee ottaa karakterisointikertoimissa huomioon ja missä tilanteessa käytetään paikalliset vaikutukset huomioonottavia kertoimia. Aikaisemmin elinkaaritarkastelut pyrkivät vain tuottamaan potentiaalisia vaikutuseroja mantereellisten ja globaalien ympäristönäkökohtien kesken. Paikallisten vaikutusten ei katsottu kuuluvan elinkaariarvioinnin piiriin eikä vaikutusarvioita mielletty todellisten vaikutusten mittariksi. Tässä suhteessa on tapahtunut selvä muutos, mikä oli nähtävissä muun muassa kevään 1999 SETAC:n vuosikokouksessa. Todettakoon, että Suomessakin on ollut pyrkimyksenä kehittää Suomen maantieteellisen aseman huomioivia karakterisointikertoimia. Tällaisia malleja on muun muassa Jaakko Pöyry Group Oyj:llä<sup>36</sup> ja Suomen ympäristökeskuksella<sup>33</sup> ja<sup>34</sup>.

Karakterisoinnin tuloksena saadaan laskettua kullekin vaikutusluokalle indikaattoriluvut (esim. ilmastonmuutoksen yhteydessä CO<sub>2</sub>-ekvivalenttimäärä). Nämä vaikutusluokkaindikaattorit tiivistävät inventaariotiedon helpommin vastaanotettavaksi. Vaihtoehtojen edullisuusvertailua on helpompi tehdä noin kymmenen vaikutusluokkaindikaattoriluvun kuin esimerkiksi 50 ympäristömuuttujan arvon kesken.

---

<sup>31</sup> Baumann, H. & Rydberg, T. 1994. A comparison of three methods for impact analysis and valuation. *Journal of Cleaner Production*, vol. 2, no. 1, s. 13-20.

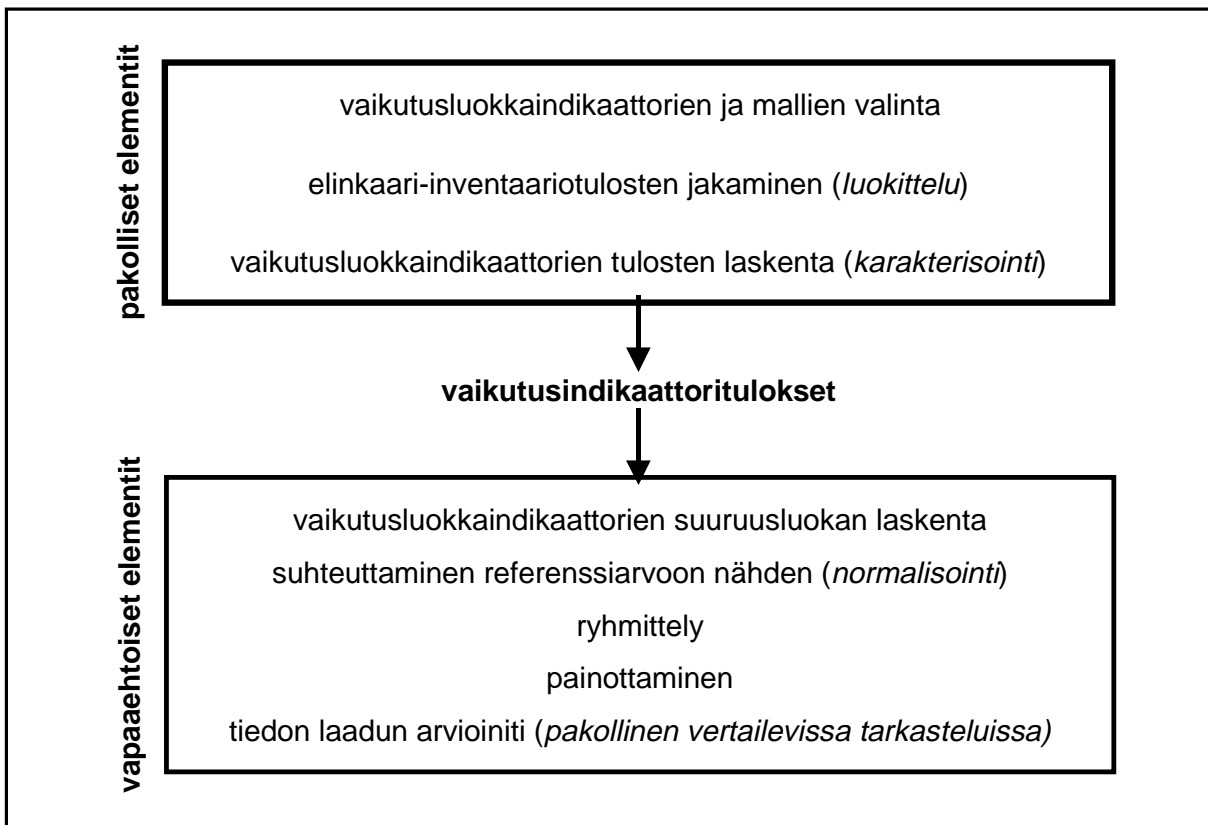
<sup>32</sup> Goedkoop, M. 1995. The Eco-indicator 95. Final Report. MultiCopy, Leiden. National Reuse of Waste Research Programme (NAOH) report 9523, 85 s.

<sup>33</sup> Seppälä, J. 1997. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Oy Edita Ab, Helsinki. Suomen ympäristö 123. 137 s.

<sup>34</sup> Seppälä, J. 1999. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. Julk.: Klöpffer, W. & Hutzinger (toim.), LCA Documents, Vol 4. Eco-Infoma Press, Landsberg .174 s.

<sup>35</sup> Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay B., Séguin, J. & Vigon, B. (toim.) 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A =Code of Practice=. Brussels, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 69 s.

<sup>36</sup> Kommonen, F. 1999. Jaakko Pöyry Group Oyj:n vaikutusarviointimalli. Suullinen tiedonanto.



Kuva 2. Vaikutusarvioinnin elementit elinkaariarvioinnissa (ISO/DIS 14042).

Karakterisoinnin jälkeen voidaan tehdä ns. normalisointi, jossa tuotteen vaikutusluokkaindikaattoriluvut jaetaan tietyn alueen vastaavilla tiedoilla. Normalisointitekijä  $N_i$  on jonkun määrätyn alueen aiheuttama vaikutusluokkaindikaattorin kokonaisarvo jonkin ajanjakson, esimerkiksi vuoden aikana<sup>35, 37</sup>. Normalisoinnissa lasketaan siis tarkasteltavan tuotejärjestelmän suhteellinen vaikutusosuus referenssiarvoon nähden. Esimerkiksi tuloksena voidaan saada, että tuotejärjestelmän osuus Suomen happamoittavista päästöistä on 0,03 % ja rehevöittävästä päästöistä 0,00001 %. Tällaisesta tuloksesta voidaan jo sanoa luotettavasti, että tarkasteltavan tuotejärjestelmän happamoittavien päästöjen rajoittaminen on tärkeämpää kuin rehevöittävien vaikka eri vaikutusluokkien välistä painottamista ei olekaan tehty. Edellä mainittu johtopäätös perustuu siihen tosiasiaan, ettei erilaisissa kansainvälisissä arvottamistutkimuksissa ole saatu vaikutusluokkien painokerrointen välisiksi suurusluokkaeroiksi yli kymmenen eroja<sup>38</sup>.

Normalisoinnilla on siis jo itsestään oma merkitys tulosten tulkinnessa. Toisaalta se on välttämätön vaihe ennen tulosten lopullista yhdistämistä kokonaisindikaattoriksi. Vaikutusluokkaindikaattorien paremmuus voi nimittäin mennä ristiin eri vaihtoehtojen kesken, jolloin vaihtoehtojen edullisuusvertailu saattaa edellyttää kokonaisvaikutusindikaattorin laskentaa kullekin vaihtoehdolle - mitä suurempi haittapiste, sitä huonompi vaihtoehto.

Kokonaisvaikutusindikaattori saadaan kertomalla normalisoidut vaikutusluokkaindikaattorit kunkin vaikutusluokan painokertoimella ja summaamalla tulot yhteen. Kokonaisvaikutusindikaattorin laskennan yhtenä suurena kysymyksenä on kuinka vaikutusluokkapainot määritellään. Yleisimmät painottamismenetelmät voidaan

<sup>37</sup> Wentzel, H., Hauschild, M. & Alting, L. 1997. Environmental assessment of products, Vol. 1. Chapman & Hall, London.

<sup>38</sup> Lundi, S. & Huppel, G. 1999. Environmental Assessment of Products: The Ranges of Societal Preferences Method. The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol.4, No. 2, pp. 7-15.

jakaa kolmeen eri pääryhmään: 1) asiantuntijapaneeleihin/yhteisöjen preferensseihin perustuvat menetelmät, 2) taloudelliset menetelmät ja 3) tavoitetasoihin suhteuttavat menetelmät.

Taloudellisissa painotusmenetelmissä lähtökohtana on, että ympäristöhaitalle voidaan määritellä kustannus. Ympäristökustannusten väliset erot kertovat suoraan eri vaikutusluokkien välisen tärkeyseron. Ympäristökustannusarviointimenetelmiä on useita (taulukko 3) ja ne soveltuvat erilaisiin käyttötarkoituksiin. Eri menetelmien käyttökelpoisuus painokertoimien määrittämiseen on hieman epäselvä ja kansainvälisen kehitystyön kohteena. Eräs keskeinen ongelma kaikissa taloudellisissa menetelmissä on tulevaisuudessa realisoituvien hyötyjen ja haittojen nykyarvon määrittäminen eli diskonttaus.

*Taulukko 3. Ympäristökustannusten arviointimenetelmiä.*

---

Vaikutuspolkumenetelmä (perustuu altistus-vaikutusfunktioihin)  
Vältettyjen kustannusten menetelmä  
Omaisuuksien muutoksia mittaava menetelmä  
Maksuhalukkuusmenetelmä eli Contingent valuation (CV)-menetelmä  
Tulonsiirtomenetelmä  
Matkakustannusmenetelmä  
Ennallistamiskustannusmenetelmä  
Palkka-riskimenetelmä  
Rahankäytön seuranta  
Conjoint-analyysi

---

Asiantuntijapaneelin käyttöön liittyvät menetelmät perustuvat vastaajien preferensseihin ympäristövaikutusten keskinäisestä tärkeyseroista. Tehtävä muodostuu muun muassa seuraavista vaiheista: vastaajajoukon valinta, taustatiedon valmistelu, kyselytekniikan valinta, toteutus, tulosten yhdistäminen ja tulkinta. Kaikkiin vaiheisiin liittyy erilaisia vaihtoehtoisia toteutustapoja, joiden vaikutukset lopputulokseen tunnetaan vain joltakin osin.

“Etäisyys tavoitteeseen” -menetelmää ja sen muunnoksia on käytetty yleisesti painokertoimien määrittelyssä (esim. ET-menetelmä<sup>31</sup>), Ekoindikaattori 95<sup>32</sup>. Yksinkertaisimmillaan siinä normalisointitekijä jaetaan yhteiskunnan tavoitetasolla vaikutusluokassa *i*. Tavoitetaso määrittelyyn on käytetty poliittisia tai lainsäädännöllisiä päätöksiä (esim. <sup>31</sup>). Eräissä tapauksissa taso on määritelty kriittisten kuormien avulla eli lähtökohtana on ollut luonnon sietokykyarviot.

Kokonaishaittaindeksin laskentaa kohtaan esiintyy maailmalla runsaasti epäluuloja, koska eri ympäristövaikutustietojen yhdistäminen yhdeksi luvuksi edellyttää aina tavalla tai toisella subjektiivista ratkaisua eri asioiden painottamisesta toisiinsa nähden. Sen sijaan että elinkaariarviointi tuottaisi objektiivisen kokonaistuloksen ympäristövaikutusten osalta, olemme sen tosiasiassa edessä, että tulos on subjektiivinen. Tämä ei kuitenkaan ole yksinomaan elinkaariarvioinnin puute, vaan sama ongelma liittyy kaikkiin ympäristövaikutustarkasteluihin. Toisaalta, jotta ekotehokkuusmittarin käyttö olisi helppoa, ympäristövaikutukset tulisi tiivistää mahdollisimman harvaan indeksilukuun.

Yhteenvedon voidaan sanoa, että vaikka elinkaariarviointiyhteisössä onkin yhteinen näkemys vaikutusarviointin vaiheista, ei ole olemassa yleisesti hyväksytyjä menetelmiä, joilla inventaariotietoja voidaan yhdistää johdonmukaisesti ja tarkasti ympäristövaikutustiedoiksi. Elinkaariarvioinneissa puhutaankin potentiaalisista, ei todellisista vaikutuk-

sista. Eri menetelmät eroavat muun muassa vaikutusluokkien valinnan, karakterisoinnin ja normalisoinnin laskentaperusteiden sekä vaikutusluokkien painojen määrittämisen suhteen, minkä takia vaikutuslaskentaan sisältyy runsaasti epävarmuustekijöitä. Merkittävänä yleisenä puutteena on todettava, että elinkaariarvioinneissa käytettävät menetelmät ottavat varsin heikosti huomioon paikalliset erityisolosuhteet, minkä vuoksi niillä saadut tulokset voivat erityisesti pistemäisten kuormituslähteiden paikallisten ympäristövaikutusten arvioinnissa olla virheellisiä ja väärin painottuneita. Kansainvälinen tutkimustyö ympäristövaikutusten paikka- ja aikatekijöiden huomioon ottamisessa on vilkasta ja vaikutusarviointimenetelmien kehittyminen on ilmeistä lähitulevaisuudessa.

#### 4.3.2 Esimerkki vaikutusarviointista

Seuraavassa pyritään selventämään vaikutusarviointin toteutusta ja tulosten tulkintaa esimerkin avulla. Tehtävänä on verrata sähkön ja kaukolämmön ympäristöystävällisyyttä energiantuotannossa. Esimerkissä ei ole tarkoitus ottaa kantaa siihen millä periaatteella päästöt sähkön ja kaukolämmön kesken pitäisi jakaa.

Vaikutusten laskenta on tehty kahdella erilaisella vaikutusarviointimallilla, Suomen olosuhteet karkeasti huomioivalla vaikutusarviointimallilla (DAIA = Decision Analysis Impact Assessment)<sup>33, 34</sup> ja elinkaariohjelmistoissa yleisesti käytetyllä yleiseurooppalaisella Ekoindikaattori 95-mallilla<sup>32</sup>. Kumpikin menetelmä noudattaa standardisointityössä (ISO/DIS 14042) ja SETACissa<sup>35</sup> esitettyjä vaikutusarviointin vaiheita, mutta eroavat perusteiltaan selvästi. Mallien teoreettiset perusteet esitetään kyseisissä julkaisuissa.

Taulukossa 4 on esitetty laskennan lähtötiedot ja karakterisoinnin tulokset. Todettakoon, että energiantuotantotapojen ympäristörasittavuustiedoissa on mukana jakelu- ja siirtohäviöt sekä hyötysuhteen vaikutukset.

Tarkasteltavana on kolme vaikutusluokkaa: ilmastonmuutos, happamoituminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Kummankin mallin karakterisoinnin tulokset on sovitettu samaan yksikköön kussakin vaikutusluokassa, mutta erilaisista mallien lähtökohdista johtuen tulokset eivät ole kuitenkaan vertailukelpoisia eri menetelmien kesken. Laskemalla yhteen kunkin vaikutusluokan karakterisoidut päästöarvot, saadaan vaikutusluokkaindikaattorit (tummennetut lukuarvot taulukossa 4).

Ekoindikaattori 95 –malli tuottaa kaukolämmölle suuremmat ilmastonmuutoksen ja happamoitumisen indikaattoriluvut kuin sähkölle. DAIA –malli tuottaa saman tuloksen ilmastonmuutoksen ja happamoitumisen osalta, mutta alailmakehän otsonin muodostumisen suhteet tulokset eroavat mallien kesken. Ekoindikaattori 95 tuottaa suuremmat alailmakehän otsonin muodostumisen indikaattoriluvut sähkölle, kun taas DAIA tuottaa suuremmat luvut kaukolämmölle. Erot johtuvat ennen kaikkea typen oksidien päästöistä, joita Ekoindikaattori 95 ei ota huomioon. Ekoindikaattori 95:n mallikertoimet perustuvat Keski-Euroopan olosuhteisiin, jossa käytännössä vain haihtuvat orgaaniset yhdisteet aiheuttavat alailmakehän otsonin muodostumista. Tilanne on eri Pohjois-Euroopassa, jossa nimenomaan alailmakehän otsonin muodostajana toimii typen oksidit<sup>24</sup>. Todettakoon, että pienet erot myös ilmastonmuutoksen ja happamoitumisen indikaattoriluvuissa johtuvat mallien erilaisista karakterisointiperusteista metaanin ja typen oksidien osalta.

DAIA -mallin tulosten perusteella sähkö näyttäisi olevan ympäristöystävällisempi energiamuoto kuin kaukolämpö, koska kaikkien kolmen vaikutusluokan osalta kaukolämmön vaikutusluokkaindikaattorit ovat suuremmat kuin sähkön. Mitä suurempi vaikutusluokkaindikaattoriluku, sitä suurempi on ympäristövaikutus. Ekoindikaattori 95 –mallin tuloksista ei voi tehdä heti samanlaista johtopäätöstä. Tekemällä normalisoinnin saamme paremman käsityksen energiantuotantomuotojen suhteellisista vaikutuksista ko. ym-

päristöongelmiin ja pystymme edelleen tulkitsemaan eri vaikutusluokkien keskinäistä merkitystä jonkin verran pidemmälle.

*Taulukko 4. Energiantuotantotapojen kuormitustiedot sekä Ekoindikaattori 95 - ja DAIA –mallilla lasketut sähkön ja kaukolämmöntuotannon karakterisoinnin tulokset.*

KUORMITUSMUUTTUJAT g/MJ	ILMASTONMUUTOS (g CO <sub>2</sub> ekv/MJ)		HAPPAMOITUMINEN (g SO <sub>2</sub> ekv/MJ)		OTSONIN MUODOSTUMINEN (g eteeni ekv/MJ)	
	Eko 95	DAIA	Eko 95	DAIA	Eko 95	DAIA
<b>SÄHKÖ v. 1995</b>						
CO <sub>2</sub>	64,4406	64,4406	64,4406			
CO	0,0959				-	0,0019
NO <sub>x</sub>	0,1519			0,1063	0,0597	-
SO <sub>2</sub>	0,1090			0,1090	0,1090	
HIUKKASET	0,0159					
PÖLYÄMINEN	0,1593					
HC (kok)	0,1861					
CH <sub>4</sub>	0,1825	2,0071	3,8317			0,0013
PAH	0,0000					0,0000
Bentseeni	0,0002					0,0000
Halogenoidut	0,0000					0,0000
Muut	0,0035					0,0014
KERÄTTY TUHKA RIKINPOISTOJÄTE RADIOAKT.JÄTTEET - käytetty polttoaine	1,6972 0,0003					
		<b>66,4477</b>	<b>68,2723</b>	<b>0,2153</b>	<b>0,1687</b>	<b>0,0028</b>
						<b>0,2245</b>
<b>KAUKOLÄMPÖ v. 1995</b>						
	g/MJ					
CO <sub>2</sub>	92,1475	92,1475	92,1475			
CO	0,0379					-
NO <sub>x</sub>	0,1927			0,1349	0,0758	-
SO <sub>2</sub>	0,1933			0,1933	0,1933	
HIUKKASET	0,0013					
PÖLYÄMINEN	0,1566					
HC (kok)	0,2615					
CH <sub>4</sub>	0,2615	2,8765	5,4914			0,0018
		<b>95,0240</b>	<b>97,6389</b>	<b>0,3282</b>	<b>0,2691</b>	<b>0,0018</b>
						<b>0,2814</b>

*Taulukko 5. Sähkön ja kaukolämmön normalisoidut vaikutusluokkaindikaattoriluvut Ekoindikaattori 95 - ja DAIA –mallilla laskettuna.*

ENERGIANTUOTANTOTAPA	NORMALISOIDUT VAIKUTUSLUOKKAINDIKAATTORILUVUT					
	Ekoindikaattori 95			DAIA		
	Ilmast.	Happam.	Otsonin muodostum.	Ilmast.	Happam.	Otsonin muodostum.
SÄHKÖ	0,00507	0,00191	0,00015	0,00090	0,00065	0,00047
KAUKOLÄMPÖ	0,00725	0,00291	0,00010	0,00128	0,00104	0,00057

Normalisoinnin perusteella energiantuotantovaihtoehtoilla on suhteellisesti pienin vaikutus alailmakehän otsonin muodostajana (taulukko 5). Kummassakin mallissa vaikutusluokkien järjestys on sama vaikka mallien normalisointitekijät poikkeavat toisistaan. Jotta Ekoindikaattori 95- mallin tulokset antaisivat kaukolämmölle edullisemman lop-

putuloksen täytyisi alailmakehän otsonin muodostumisongelman painokerroin olla moninkertainen ilmastomuutoksen ja happamoitumisen painokertoimiin nähden. Käytännössä näin ei ole missään mallissa. Todettakoon, että taulukon 5 lukuarvot eivät ole vertailukelpoisia eri menetelmien välillä erilaisesta normalisointiperustasta johtuen.

Kertomalla normalisoidut vaikutusluokkaindikaattoriluvut kummankin mallin vaikutusluokkien oletuspainokertoimilla saadaan eri energiantuotantotapojen kokonaisvaikutusindikaattorit (taulukko 6). Kummallakin mallilla saadaan sama lopputulos: sähkö on ympäristöystävällisempi.

*Taulukko 6. Energiantuotantotapojen kokonaisvaikutusindikaattorit.*

ENERGIANTUOTANTOTAPA	KOKONAISVAIKUTUSINDIKAATTORIT							
	Ekoindikaattori 95				DAIA			
	Ilmast.	Happam.	Otsonin m.	Yht.	Ilmast.	Happam.	Otsonin m.	Yht.
SÄHKÖ	0,01268	0,01912	0,00039	<b>0,03219</b>	0,00018	0,00012	0,00004	<b>0,00034</b>
KAUKOLÄMPÖ	0,01813	0,02915	0,00026	<b>0,04754</b>	0,00026	0,00018	0,00005	<b>0,00049</b>

Edellä esitetty lopputulos saadaan kun tarkasteltavina vaikutusluokkina on ilmastomuutos, happamoituminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Toisaalta tiedetään, että bentseeni- ja PAH -päästöt voivat aiheuttaa syöpää. Ekoindikaattori 95:ssä on vaikutusluokka "syöpää aiheuttavat aineet" mukana. Lisäämällä sähkön kokonaisvaikutusindikaattorilukuun bentseenin- ja PAH -päästöjen vaikutus saadaan yhteispisteeksi 0,20655, jolloin sähkö osoittautuikin selvästi huonommaksi vaihtoehdoksi. Mutta voimmeko olla varmoja, että kaukolämmön osalta ei tule mitään vastaavia terveyshaittoja aiheuttavia päästöjä? Ovatko Ekoindikaattori 95:n laskentaperusteet terveyshaittojen osalta oikeita ja siirrettävissä Suomen olosuhteisiin?

Tarkastelusta puuttuu lisäksi typen oksidien vesistöjä rehevöittävä vaikutus. Rehevöitymisen vaikutuspisteillä on kuitenkin vaihtoehtojen kokonaisvaikutusindikaattoreihin hyvin pieni merkitys (Ekoindikaattori: sähkö 0,00258 ja kaukolämpö 0,00328; DAIA: sähkö 0,00001 ja kaukolämpö 0,00001), eikä niillä ole vaikutusta vaihtoehtojen edullisuuden punnintaan edellä esitettyjen vaikutusluokkaindikaattorilukujen valossa.

Lähtötiedoista puuttuu ilmaan menevät metallipäästöt, joita syntyy energiantuotannossa käytettävistä polttoaineista. Tulosten tulkintaa vaikeuttaa lisäksi se, ettei jätekysymyksiä käsitellä vertailussa lainkaan. Lähtötietona on annettu vain joitakin jätetietoja sähkön osalta (ks. taulukko 4). Vaikutusarviointimalleissa ei ole kuitenkaan kunnollisia työvälineitä jätteiden käsittelyyn, minkä takia ne jäävät käytännössä aina tarkasteluista pois. Sama koskee monia muitakin, esimerkiksi maankäyttöön liittyviä, ympäristönäkökohtia.

#### **4.4 Rakennusalan ympäristövaikutusten arvioinnin erityispiirteitä**

Rakennukset, rakennusmateriaalit ja -tuotteet poikkeavat muista tuotteista elinkaariarvioinnin kannalta. Erityispiirteet asettavat vaatimuksia myös arviointimenetelmien kehittämiseksi. Erityispiirteitä ja niiden elinkaariarviointiin aiheuttamia ongelmia ovat esimerkiksi:

- Rakennusten, rakennusmateriaalien ja -tuotteiden käyttöikä on yleensä pitkä. Sen takia seuraavat seikat pitäisi ottaa huomioon elinkaariarvioinnissa:
  - ympäristörasitukset tulevaisuudessa (kunnossapito, huolto, korjaukset ja lopullinen jätteen käsittely, käyttötarkoituksen muuttaminen)

- rakennusmateriaalien ja -tuotteiden mahdollinen uudelleen käyttäminen tai kierrätys käyttöön umpeuduttua.

- Rakennustuotteiden ominaisuudet ja käyttötapa voivat vaikuttaa rakennuksen käytönaikaisiin ympäristörasituksiin.

Muilta osin rakennustuotteiden elinkaariarviot eivät olennaisesti eroa yleensä prosessiteollisuuden tuotteiden elinkaariarvioista.

Rakennusten tuotantoon liittyvässä elinkaariarvioinnissa on yleensä otettu huomioon energian ja materiaalien raaka-aineiden hankinnan energian kulutus ja päästöt sekä käytön aikainen energian kulutus ja päästöt. Materiaalisista raaka-aineista on yleensä tarkasteltu pääraaka-aineita (ks. liite 2). Vaikutusarviointia ei yleensä ole sovellettu, vaan elinkaariarvio on jätetty tältä osin inventaariotasolle.

Hanketasolla elinkaariarvion avulla voidaan saada käsitys kohteen aiheuttamien ympäristökuormien tai -vaikutusten suuruusluokasta. Tämän jälkeen voidaan erotella merkittävimmän kokonaisuuteen vaikuttavat osaprosessit. Osaprosessien sisällä voidaan soveltaa tuote- tai tuotekokonaisuuskohtaista elinkaaritietoa eri vaihtoehtojen vertailuun. Tarkastelun suorittaminen hanketasolla edellyttää kuitenkin tietoa rakennustuotteiden ja -osien sekä rakennuksen energiankäytön aiheuttamista ympäristökuormista ja -vaikutuksista.

Vaikutusarviointia ja erityisesti sen painottamisosaa kohtaan on virinnyt voimistuvaa kiinnostusta rakennusalalla, vaikka painottaminen ei enää sisälly ISO -standardiluonnoksessa vaikutusarvioinnin pakolliseen osaan. Painottamismenetelmien käytön esteenä on tähän saakka ollut lähinnä menetelmien perusteiden puutteellinen "läpinäkyvyys" ja tyydyttävän menetelmän puuttuminen. Painottamismenetelmiä tarvitaan kuitenkin tiivistämään ja yksinkertaistamaan karakterisoituja tuloksia, jotta elinkaariarvioinnin tulokset voitaisiin ottaa hanke- ja rakennussuunnittelussa huomioon.

## 5 RAKENNUSALAN EKOTEHOKKUUDEN INDIKAATTORIT

### 5.1 Indikaattoreiden ominaisuudet ja käyttötarpeet

Rakennusalan ekotehokkuuden kehittämistä, eri ratkaisujen vertailua ja rakennusten ekotehokkuuden ilmoittamista ja todentamista varten tarvitaan ekotehokkuuden täsmällinen määritelmä ja menetelmät määritelmän mukaisen tulosteen laskemiseksi tai arvioimiseksi. Toisaalta rakennusalalla on paljon tilanteita, joissa tarvitaan yksinkertaisia indikaattoreita suuntaviivojen, alustavien suunnitelmien ja luonnosten ekotehokkuudesta. Indikaattoreita tarvitaan, kun päätettävästä tai suunniteltavasta asiasta ei vielä ole riittävästi tietoa ekotehokkuuden arvioimiseksi (kts. kaava 2, luvussa 3).

Indikaattorit ovat osoittimia, joiden avulla tieto monimutkaisista ilmiöistä, kuten ympäristön kuormituksesta, yksinkertaistetaan helposti ymmärrettävään ja käytettävään muotoon. Näin asia on helpompi kertoa niillekin, jotka eivät ole alan ammattilaisia tai jotka tarvitsevat tiedon nopeasti. Indikaattorit auttavat myös selittämään kuinka asiat ovat muuttuneet ajan myötä ja kuinka ne ovat kehittyneet suhteessa asetettuihin tavoitteisiin.

Tärkeä indikaattorin ominaisuus on objektiivisuus. Lisäksi indikaattorien pitää olla selkeitä, että niiden tulokset ovat toistettavia. Hyvän indikaattorin arvo ei muutu mittausvaihtuessa, ja mittausmenetelmien tulee olla standardoituja. Indikaattorin olisi hyvä olla myös kansainvälisesti vertailukelpoinen, vaikka sitä ensisijaisesti käytettäisiin kotimaassa.

Indikaattorien käytössä riskinä saattaa olla yksinkertaistaminen, jollain tietoa voi hävitä liikaa. Tilanteen koko kuva ei välttämättä tule esiin vain muutamaa indikaattoria käyttämällä. Toisaalta tämä asettaa haasteen sellaisten indikaattorien kehittämiseen, joilla harjoittamisen mahdollisuus olisi minimaalinen.

Yleisesti indikaattoreiden käyttö on tarpeen rakennusalalla arvioitaessa sellaisia ominaisuuksia, arvoja ja vaikutuksia, joita ei voida suoraan kuvata eri parametrien avulla, ja tilanteissa, joissa ei ole riittävästi pohjatietoa. Indikaattoreiden käyttötarpeet voidaan jao-  
tella seuraavasti:

1. Käsitellään aspekteja, joiden suhteen ei ole olemassa suoria mittareita, kuten
  - sosiaaliset arvot (tai vaikutukset)
  - kulttuuriset arvot (tai vaikutukset)
  - biodiversiteettivaikutukset.
2. Toiminnan vaikutukset halutaan ottaa huomioon päätöksenteossa sellaisessa vaiheessa, jossa lopputuloksesta ei vielä ole riittävästi tietoa täydellisen vaikutusarvion tekemiseksi, esimerkiksi
  - strategisessa suunnittelussa tai
  - hankesuunnittelussa.
3. Halutaan ottaa huomioon hyvin laajan tai monimutkaisen projektin vaikutukset, vaikka varsinaisen vaikutusarvion tekemiseen ei ole riittävästi resursseja.
4. Tarkastellaan sellaista systeemiä tai toimintaa, jonka tärkeimmät vaikutukset ovat välillisiä. Tällöin voidaan tarvita indikaattoreita, jotka kuvaavat esimerkiksi yrityksen toiminnan tai johtamisen aiheuttamia epäsuoria ympäristövaikutuksia.

## 5.2 Ekotehokkuuden indikaattoreiden jäsentelyä

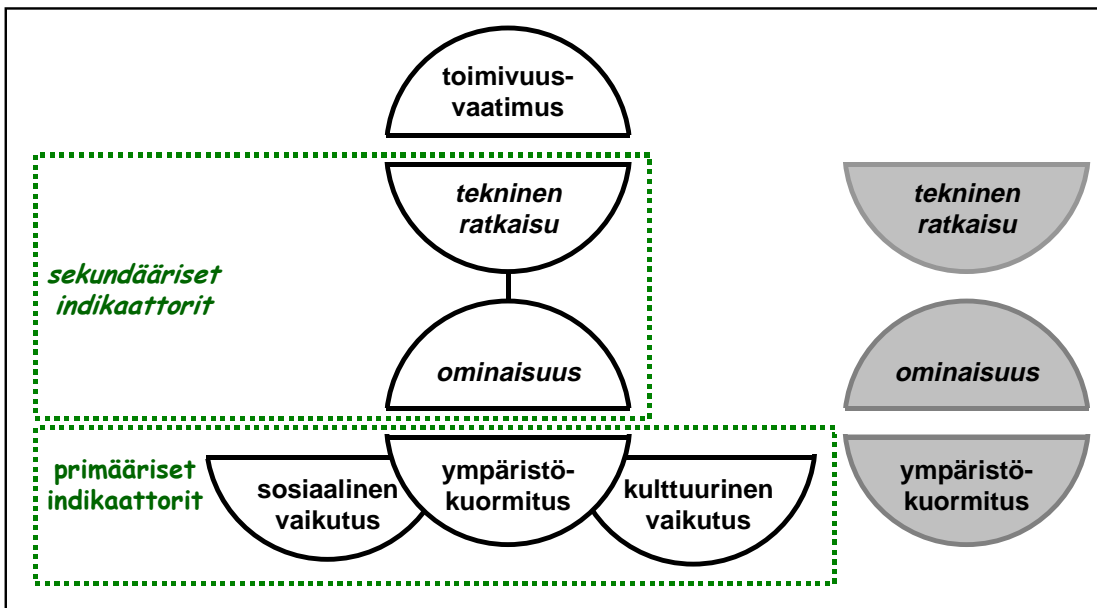
Rakennusalalla on kehitetty useita systeemejä rakennuksen ekologisesti kestävästä laadun ilmaisemiseen. Seuraavassa hahmotellaan eri muuttujien käyttömahdollisuuksia ekotehokkuuden indikaattoreina lähtien liikkeelle WBCSD:n määritelmästä.

Yleensä tuotteen ja palvelun valmistuksen ympäristöpaineisiin liittyviksi indikaattoreiksi valitaan jotkut keskeisiksi ja vaikuttaviksi katsotut ympäristökuormituksen parametrit. Esimerkiksi WBCSD:n luettelemia ydinindikaattoreita on mm. käytetyn energian ja materiaalien määrä, kasvihuonepäästöt, happamoitumista aiheuttavat päästöt jne (vrt luku 2.2 ekotehokkuuden mittaamisesta). Tällöin siis ekotehokkuuden indikaattorina on ratkaisusta aiheutuva arvioitu **ympäristökuormitus ja resurssien käyttö**.

Ekotehokkuus on edellä määritelty rakennuksen ominaisuuksien tai niistä juontuvan arvon ja ratkaisun aiheuttaman ympäristökuormituksen suhteeksi. Kohteen aiheuttama ympäristökuormitus useimmiten muuttuu, kun kohteen ominaisuudet muuttuvat. Jos vaikutussuunta tunnetaan, niin ekologisuuden indikaattorina voidaan pitää tunnistettuja **ominaisuuksia**, jotka tyypillisesti vaikuttavat kohteen ympäristökuormitukseen. Täten esimerkiksi kestävyys ja muuntojouston katsotaan monissa rakennusten arviointimenetelmissä indikoivan rakennuksen ympäristövaikutuksia. Kestävästä tuotteesta tehty muuntojoustava liikerakennus onkin todennäköisesti ekotehokkaampi kuin vähemmän kestävästä tuotteesta ja vähemmän joustaviin ratkaisuihin perustuva liikerakennus, jossa sama rakennuksen käyttöikä toteutetaan tuotteita uusimalla ja korjaamalla. Joissakin tapauksissa kuitenkin esimerkiksi kestävyysominaisuuden parantaminen voi olla resurssien käyttöä lisäävää ylimitoitusta. Täten tiettyjen ominaisuuksien käyttöä ekotehokkuuden osoittimena on pidettävä toissijaisena keinona.

Arvioidun ympäristökuormituksen ja tietyyntyyppisten ominaisuuksien lisäksi rakennuksen ekotehokkuuden indikaattorina on mahdollista käyttää myös vaadittujen ominaisuuksien tietyn tyyppisiä **teknisiä ratkaisuja**. Esimerkiksi rakennuksen ekotehokkuuden indikaattorina käytetään usein tiettyjä nimettyjä lämmityksen, ilmanvaihdon tai vesihuollon teknisiä ratkaisuja. Koska tiettyjen teknisten osaratkaisujen hyvyys saattaa kuitenkin riippua kohteesta, niin myös näiden käyttöä ekotehokkuuden osoittimena on pidettävä toissijaisena keinona (kuva 3).

Ekologisesti kestävästä kehityksen mukaisuuden tai ekotehokkuuden indikaattoreiden tarvetta lisää halu ottaa vaikutukset huomioon suunnittelussa ja päätöksenteossa. Mitä täydellisimpiä ovat kohteen ympäristökuormituksen ja ympäristövaikutusten laskentamallit sitä paremmin ne soveltuvat todentamiseen, mutta sitä vaikeampi niitä on käyttää suunnittelussa ja päätöksenteon apuvälineenä. Syynä on tarkkojen mallien vaatima pohjatiedon suuri määrä. Riittävä pohjatieto on saatavissa vasta, kun suunnitelma on valmis, ja mallia on vaikea käyttää päätöksentekoon suunnittelun suuntaviivoista. Lisäksi indikaattoreiden tarve kasvaa kohteen monimutkaistuesssa. Indikaattoreiden tarve on huomattavasti pienempi tuotesuunnittelussa kuin esimerkiksi aluesuunnittelussa ja kiinteistömassan muutostoimenpiteiden suunnittelussa.



Kuva 3. Saman vaatimuksen voi täyttää usea ratkaisu, joista yksi valitaan toteutettavaksi. Valitulla ratkaisulla on ominaisuuksia, jotka aiheuttavat ympäristövaikutuksia. Jälkimmäisiä voidaan käyttää (primäärisenä) ekotehokkuuden indikaattoreina ja itse ominaisuuksia sekundäärisinä indikaattoreina.

EU:n viidennen puiteohjelman tutkimusohjelmassa "City of Tomorrow" kaupunki-alueiden ekologisuuden arviomallit ja indikaattorit on yksi keskeisistä teemoista. Rakennettujen alueiden ekologisuuden indikaattorien kehittämiseksi on ilmeistä tarvetta. Tällöin joudutaan miettimään, miten voidaan jäsenellä rakennetun ympäristön ominaisuuksia ja vaihtoehtoisia ratkaisuja sekä millaisilla ympäristökuormituksen arviointimenetelmillä taikka ominaisuuksiin tai vaihtoehtoisiin ratkaisuihin liittyvillä indikaattoreilla voidaan osoittaa kohteen laatua ekologisesti kestävä kehityksen mielessä. Tutkimusohjelman "City of Tomorrow" alkaneissa verkostohankkeissa sitä paitsi laajennetaan tarkastelunäkökulmaa ekologisesti kestävä kehityksen näkökulmasta myös sosiaalisten, kulttuuristen ja taloudellisten aspektien huomioon ottamiseen.

Taulukossa 7 ja liitteessä 4 esitetään esimerkkejä eri kansainvälisten työryhmien esittämistä rakentamisen ekologisista indikaattoreista. Esimerkkien pohjalta voidaan todeta, että koko käsite kaipaa täsmennystä. Muussa tapauksessa on vaarana, että indikaattoreista tulee perustelemattomia ja jäsentymättömiä keskenään vaihtelevia luetteloita, joiden todellinen apu rakentamisen ekotehokkuuden kehittämisessä jää vähäiseksi. Välttämättä ei niinkään ole saada aikaan kansainvälisesti yleisesti hyväksytyä indikaattoriluetteloa, mutta tarpeen on luoda kehys, jonka avulla eri tyyppisiä indikaattoreita voidaan ymmärtää ja niitä voidaan käsitellä.

Ekotehokkuuden indikaattoreita tarvitaan erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yksi tarve edellä esitetyn mukaisesti on kehittää indikaattoreita suunnittelun ja päätöksenteon tueksi. Rakennusalan yritysten toiminta on toinen kohde, minkä suhteen on tarvetta kehittää ekotehokkuuden indikaattoreita. Rakennushankkeiden suorittamisen ja rakennusalan yritysten ympäristönsuojeluidikaattoreita ja johdon tehokkuusindikaattoreita käsitellään seuraavassa luvussa, jossa esitetään myös alustavia hahmotelmia mahdollisista tehokkuusindikaattoreista.

Indikaattoreita tarvitaan kuvaamaan rakennustuotteiden ja palvelujen ekotehokkuutta ja rakennusalan yritysten toiminnan ekotehokkuutta. Kokonaan oman ongelmakenttensä muodostaa lisäksi sellaisten vaikutusten kuvaaminen, joita ei lainkaan voida suoraan mitata. Tällaisia vaikutuksia ovat ekologisesti kestävä kehityksen näkökulmassa erityi-

sesti rakentamisen maankäytön vaikutukset ja biodiversiteettivaikutukset. Rakentamisen maankäytön ja luonnon monimuotoisuusvaikutusten huomioonottamiseksi olisi kehitettävä menetelmiä. Nämä menetelmät voisivat toisaalta osoittaa erityyppisten rakentamisen maankäyttöön liittyvien toimenpiteiden rasittavuutta ja toisaalta kuvata indikaattoreiden avulla erityyppisten maa-alueiden herkkyyttä luonnon monimuotoisuuden säilymisen kannalta esimerkiksi viitteen<sup>39</sup> mielessä.

Jos näkökulmaa laajennetaan ekologisesti kestävä kehityksen näkökulmasta myös taloudelliset, kulttuuriset ja sosiaaliset vaikutukset huomioonottavaan tarkasteluun, niin indikaattoreita tarvitaan myös sellaisten kulttuuristen ja sosiaalisten arvojen (tai ominaisuuksien) ja seurausvaikutusten kuvaamiseen, joita ei voida suoraan mitata tai arvioida.

*Taulukko 7. EcoEffect Indicators 1999 (Mauritz Glaumann, KTH Sweden).*

Assessment area	Aggregated indicators	Indicators
Use of Energy and materials	Emissions	Global warming, GWP Ozone layer depletion, POCP Acidification Eutrophication Ground level ozone Human toxicity Eco toxicity
	Waste	Construction and demolition waste Nuclear waste Slag and ashes Hazardous waste
	Natural resources	Fuels Metals Minerals Biofibres
Indoor environment	Health	Allergy Sick Building Syndrome Cancer Infections Spec. Environmental Sensibility Joints problems
		Poisoning, caustic, reproduction
	Comfort	Noise Thermal comfort
Outdoor environment (on the estate)	Health	Air pollution
		Ground pollution Electromagnetic fields
	Comfort	Noise Wind Shade Odour
	Biological diversity	Vegetation Water
Temporary (will be moved to materials use when calc. of impact is settled of)	Eco cycling	Source separation of waste Composting
	Impacts on recipient	Storm water pollution

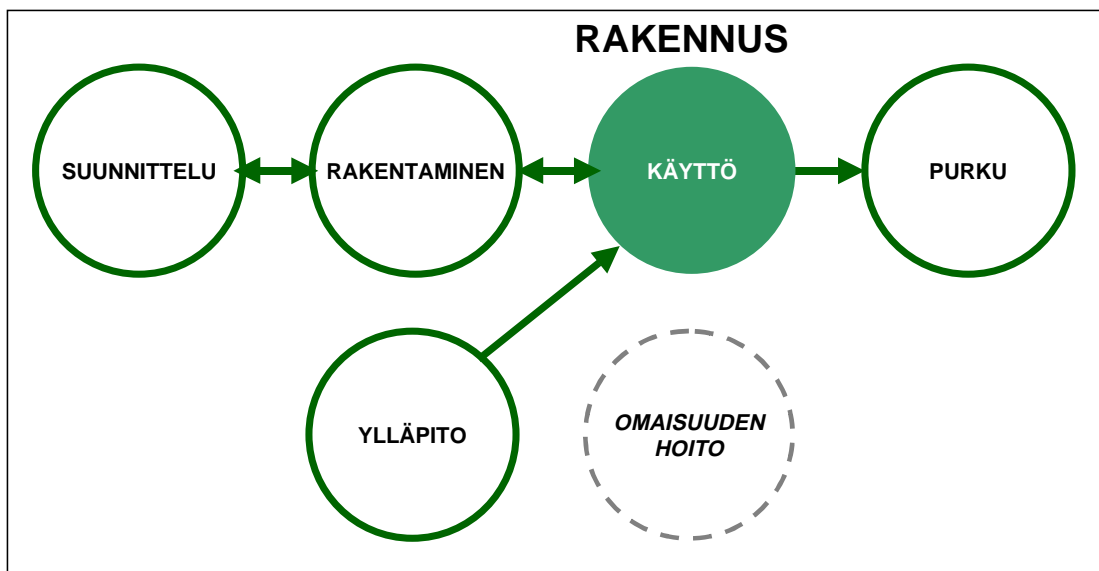
<sup>39</sup> Teeriaho, J. Ehdotus luonnon monimuotoisuuden indikaattoreiksi kunnille. Suomen ympäristö, luonto ja luonnonvarat 221. Suomen ympäristökeskus, Helsinki 1998. 95 s.

## 6 INDIKAATTORIEN SOVELTAMINEN RAKENNUSALAN YRITYKSISSÄ JA HANKKEISSA

### 6.1 Johdanto

Rakentamisen lopputuotteena syntyvä rakennus palvelee käyttäjiensä ydinprosesseja. Rakennusta ylläpidetään, jotta se säilyttäisi toimivuutensa ja arvonsa suunnitellun elinkaarensa aikana. Rakennus on myös yksi mahdollinen pääoman sijoituskohde. Tässä raportissa rakennusta tarkastellaan sen elinkaaren ajan suunnittelun alkuvaiheesta, rakentamiseen, käyttöön, purkuun ja loppusijoitukseen asti (kuva 4). Kiinteistösijoittamisen ja omistamisen liiketoimintaprosessit on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle.

Seuraavassa käsitellään rakennushankkeiden toteuttamisen ja rakennusalan yritysten ympäristönsuojeluidikaattoreita ja johdon tehokkuusindikaattoreita. Kohdissa 6.2 - 6.4 esitetään myös alustavia hahmotelmia mahdollisista tehokkuusindikaattoreista.

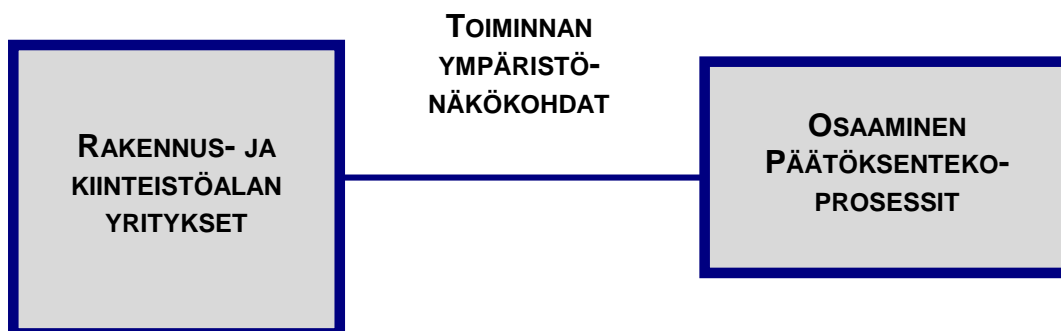


Kuva 4. Rakentamisen lopputuotteena syntyvä rakennus palvelee käyttäjiensä ydinprosesseja. Rakennusta ylläpidetään, jotta se säilyttäisi toimivuutensa ja arvonsa suunnitellun elinkaarensa aikana. Rakennus on myös yksi mahdollinen pääoman sijoituskohde. Tässä raportissa rakennusta tarkastellaan sen elinkaaren ajan suunnittelun alkuvaiheesta, rakentamiseen, käyttöön, purkuun ja loppusijoitukseen asti. Rakennusallalla tarkoitetaan tähän prosessiin osallistuvia osapuolia. Kiinteistösijoittamisen ja omistamisen liiketoimintaprosessit on rajattu tämän tarkastelun ulkopuolelle.

### 6.2 Rakennuttaminen, suunnittelu, urakointi ja kiinteistöomistus ja ylläpito

Rakennuksen elinkaaren aikana syntyvää ympäristökuormituksesta ja resurssien käytöstä rakennuksen suunnitteluprosessiin, toteutukseen ja kiinteistönpitoon osallistuvien yritysten toiminnan vaikutus on vähäinen, jos tarkastellaan toiminnan aiheuttamia suoraa ympäristökuormitusta kohdennettuna yksittäiselle rakennukselle. Rakennusalan liiketoiminnan merkitys rakennusalan ympäristövaikutuksissa on kuitenkin huomattava rakennuksen elinkaarta koskevan päätöksenteon vuoksi. Jotta rakennusallalla voitaisiin arvioida yritystoimintaa ympäristövastuullisuuden ja tähän liittyvän osaamisen perusteella, niin tarvitaan rakennusalan yritystoiminnan ympäristönäkökohtia kuvaavia indikaattoreita. Näiden indikaattoreiden tulisi kuvata toisaalta rakentamisen ympäristövaiku-

tuksien huomioonottamiseen liittyvää osaamista ja toisaalta valmiuksia viedä ympäristövaikutuksia koskeva tieto yrityksen päätöksentekoon ( kuva 5).



*Kuva 5. Rakennusalan yritysten tehokkuusindikaattoreiden tulisi kuvata rakentamisen ympäristövaikutuksien huomioon ottamiseen liittyvää osaamista sekä valmiuksia viedä ympäristövaikutuksia koskeva tieto yrityksen päätöksentekoon.*

Seuraavassa hahmotellaan alustavasti omistamisen, rakennuttamisen ja suunnittelun ekotehokkuuden mahdollisia indikaattoreita.

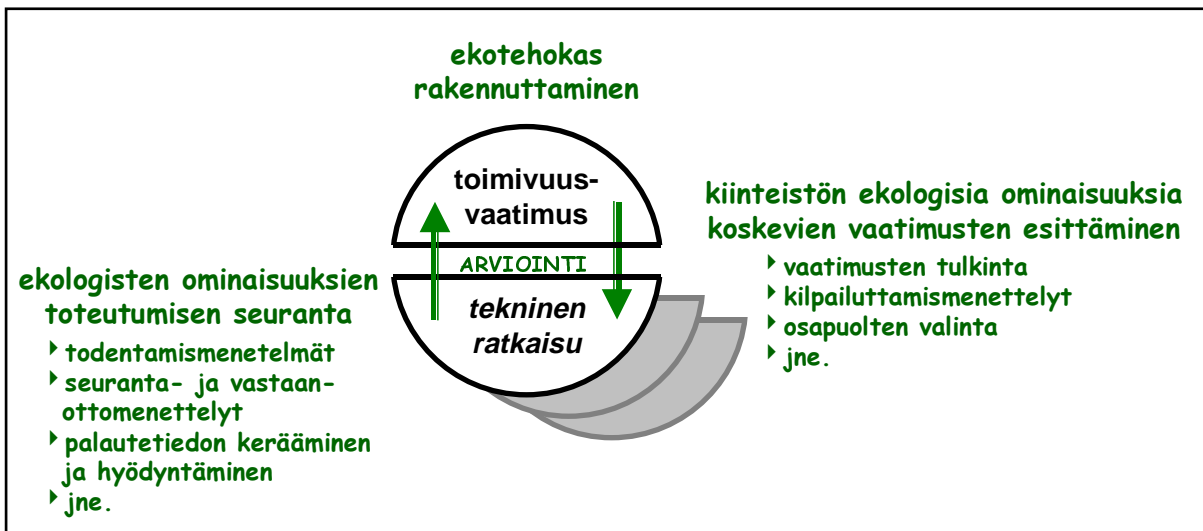
#### Omistaminen

Rakennusalan ekotehokkuus kiinteistö- ja rakennusklusterin osana ei rajoitu yksin rakennusalaan. Rakennukset tuotetaan niiden käyttäjiä varten eli rakentaminen palvelee ensisijaisesti muiden yhteiskunnan sektoreiden tarpeita. Toisaalta kiinteistöjen omistajat tarkastelevat rakennuskantaa yhtenä potentiaalisena sijoituskohteena optimaalista tuottoa pääomalleen hakiessaan. Kiinteistöjen omistajia ja käyttäjiä palvelevat toiminnot liittyvät kiinteistönpitoon ja omaisuudenhoitoon. Rakennuskannan ekotehokkuus tarkoittaa siis myös kykyä täyttää rakennusalan ulkopuolisten sektoreiden muuttuvia tarpeita. Vastaavasti rakennusalan yritysten ekotehokkuus tarkoittaa niiden kykyä hallita rakennusten elinkaari-prosessin ympäristövaikutuksia ja kykyä palvella asiakkaitaan.

#### Rakennuttaminen

Rakennuttajaorganisaation ekotehokkuuteen vaikuttaa erityisesti rakennuksen elinkaari-vaatimusten hallinta. Rakennuksen elinkaari-vaatimusten hallintaan kuuluu (kuva 6) rakennuksen toiminnallisten- ja ympäristöominaisuuksien osaaminen ja tähän systemaatiikkaan liittyvien vaatimuskäytäntöjen toteutuminen.

Rakennuttajaorganisaation keskeisiin ympäristönäkökohtiin voidaan lukea myös hankintojen kilpailuttaminen elinkaari-vaikutusten nojalla. Merkittävää vaikutusta rakennusten ympäristökuormitusten vähenemiseen voisi olla esimerkiksi taloteknisten kokonaisjärjestelmien kilpailuttamisella.

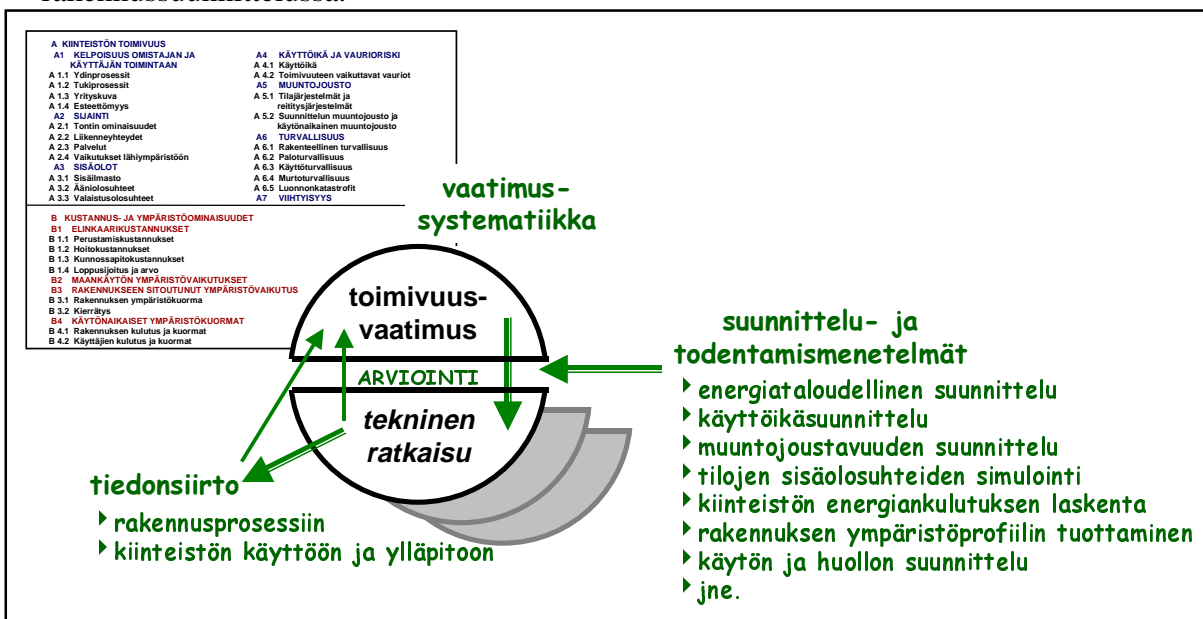


Kuva 6. Ekotehokkaan rakennuttamisen keskeiset näkökohdat.

## Suunnittelu

Rakennussuunnittelun ekotehokkuutta kuvaavat (kuva 7):

- elinkaarivaatimussystematiikan hallinta,
- rakennuksen käyttöikä, muuntojoustoon, terveellisyteen (sisäilmaston laatuun) ja välittömään energia- ja ekotehokkuuteen liittyvien suunnittelumenetelmien hallinta,
- rakennuksen energia- ja materiaalivirtojen ja näihin liittyvän ympäristökuormituksen arviointimenetelmien hallinta sekä
- rakennuksen ympäristövaikutusten hallintaan liittyvän osaamisen toteutuminen rakennussuunnittelussa.



Kuva 7. Ekotehokkaan rakentamisen keskeiset suunnittelunäkökohdat.

## 6.3 Rakennustuotteiden tuotanto

Rakennustuotteiden tuotannon ekotehokkuutta kuvaa suoraan tuotantoprosessien ekotehokkuus. Rakennustuotetuotannon ympäristövastuullisuuteen kuuluu lisäksi huolehtiminen tuotteen käytön, kierrätyksen ja loppusijoituksen ympäristönäkökohdista siltä osin kuin se on tuottajan toimesta mahdollista. Tähän kuuluu erityisesti

- tarvittavan tuoteinformaation tuottaminen ekotehokkaan suunnittelun, hankinnan ja kiinteistönpidon tarpeisiin,
- tarvittavan tuoteinformaation tuottaminen ja mahdollisesti tarvittavien kierrätysprosessien kehittäminen tuotteiden kierrätyksen tai mahdollisimman haitattoman loppusijoituksen varmistamiseksi.

Vaikka tuoteteollisuuden suhteen ekotehokkuutta voidaan arvioida suoraan tuotannon aiheuttaman ympäristökuormituksen ja resurssien käytön perusteella, niin joissakin tapauksissa myös tuoteteollisuus saattaa tarvita toiminnan kokonaisvaltaista ympäristövastuullisuutta kuvaavia mittareita. Käytännössä tällaisten mittareiden tarve on tullut esille erityisesti suurten kansainvälisten yritysten kohdalla, jotka eivät halua elinkaariarvioiden tai muiden ympäristövaikutusarvioiden tulosten julkaisemista ja joutumista vertailun kohteeksi (mahdollisesti kohtuuttomien perustein).

Ympäristövastuullisuuden arviointiin on Hollannissa kehitetty (BDA Milieu, Guideline for the Issue of a BDA Report on the subject of an Environmental Statement) menetelmä, jossa vastuullisuutta kuvaavina tekijöinä ovat:

- tuotteiden kestävyys,
- purkukukan käsittely,
- kierrätysteknologioiden kehittäminen,
- tuotteiden ympäristövaikutusten arviointi (LCA),
- ympäristöjohtamisjärjestelmän luominen ja
- reklaamaatioiden käsittely.

#### **6.4 Rakennushanke**

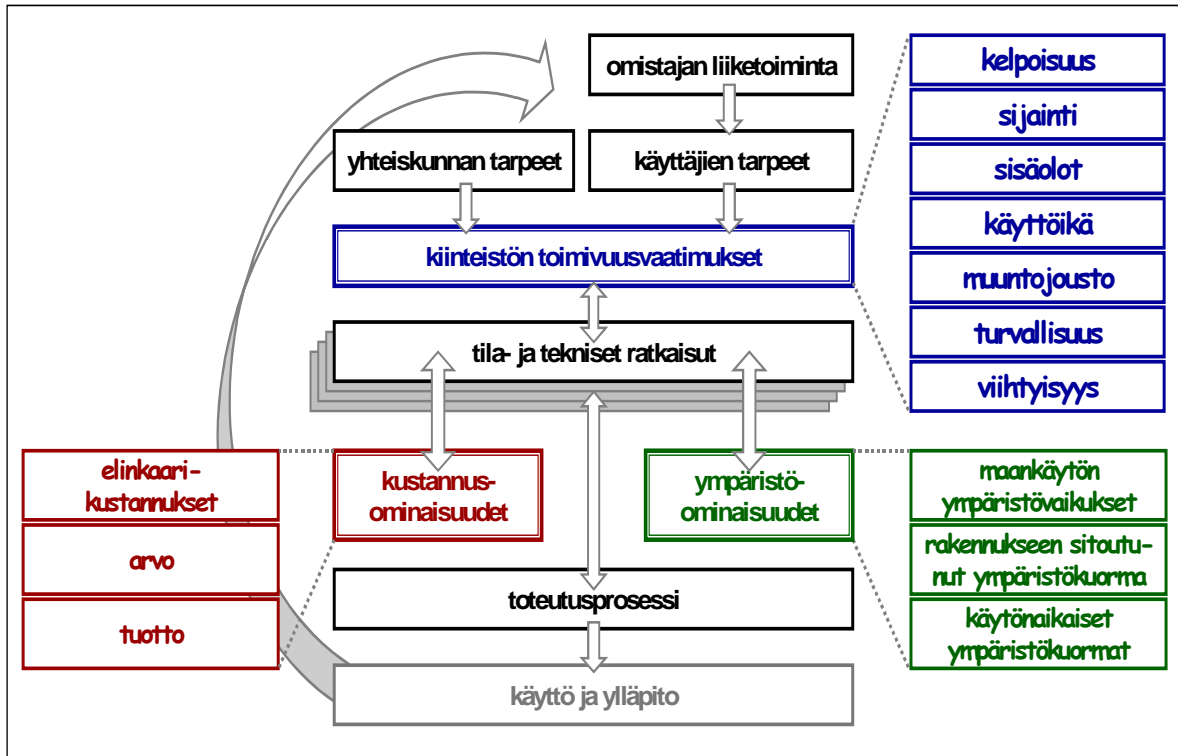
Hanketasolla ekotehokas rakentaminen ja sen kustannustehokas läpiviemi asettaa haasteita erityisesti:

- ympäristövaatimusten asettamiseen,
- vaatimustenmukaisten ratkaisujen hallintaan ja
- rakennustuotteiden ja -prosessien kehittämiseen.

Käytännön rakentamisessa ongelmia esiintyy tänä päivänä kaikilla osa-alueilla. Tilaajataho on keskeisessä asemassa ympäristövaatimuksia asettaessaan edellyttäen muilta osapuolilta "uutta osaamista", jota niiltä ei välttämättä ole aiemmin vaadittu. Menettelytapoja ja työkaluja vasta kehitetään vaatimusten asettamisen tueksi.

Suunnittelijoiden, valmistajien ja urakoitsijoiden tehtävänä on osoittaa, että heidän ratkaisunsa täyttävät asetetut vaatimukset – ja mielellään myös ne ekotehokkaan rakentamisen vaatimukset, joita tilaaja ei ole syystä tai toisesta asettanut. Perinteinen käytäntö, missä rakentamisen lopputuotteesta tarjousvaiheessa kuvataan tekninen ratkaisu ja valinta tapahtuu hankintakustannuksia painottaen ei aina kannusta eri osapuolia tuotteiden ja prosessien kehittämiseen. Toimivuusajattelun mukainen rakentaminen, missä valistunut tilaaja kohdentaa kilpailun kiinteistön ominaisuuksiin, palkitsee ympäristömyönteiset ja kehitysaktiiviset yritykset ja yritysryhmät kannustaen näitä pitkäjänteiseen yhteistyöhön.

Rakennushankkeen kestäessä joudutaan usein eri syistä muuttamaan alkuperäisiä suunnitelmia. Muutosten yhteydessä ei aina varmistuta siitä täyttääkö muuttunut kokonaisuus alkuperäiset tavoitteet mikäli niitä ei ole dokumentoitu ja vaatimusten toteutumista todennettu. Rakennushankkeen aikana tulee myös koota myös riittävästi tietoa kiinteistön käytöstä ja ylläpidosta. Kuvassa 8 esitetään VTT Rakennustekniikassa käytetty lähestymistapa tavoitelähtöiseen rakennusprosessiin.



Kuva 8. Systemaattinen lähestymistapa kiinteistön toimivuuden hallintaan.

## 7 TUTKIMUS- JA KEHITTÄMISTARPEET

Rakennusalan ekotehokkuuden arvioinnissa on mahdollista yhdistää toimivuusajattelu ja elinkaariajattelu. Toimivuusajattelulla tarkoitetaan menettelytapaa, jossa rakentamisen lopputuotteesta kuvataan valintavaiheessa käytönaikaiset ominaisuudet eikä teknistä ratkaisua. Suunnittelun lopputuloksena on se tekninen ratkaisu, joka täyttää asetetut vaatimukset. Suunnitellun teknisen ratkaisun toteuttaminen aiheuttaa elinkaarensa aikana tietyn ympäristökuormituksen ja elinkaarikustannukset. Mitä suurempi on rakennuksen ominaisuuksiin pohjautuvan (käyttö)arvon ja toisaalta ominaisuudet toteuttavan teknisen ratkaisun aiheuttaman ympäristökuormituksen suhde, sitä ekotehokkaampi rakennus on. Rakennuksen tai rakennetun alueen ekotehokkuuden arvioinnissa tarkastellaan siis arvon suhdetta ympäristökuormitukseen.

Rakennuksen ekotehokkuuden arvioimiseksi rakennus on määriteltävä ominaisuuksien perusteella, ja toisaalta on määriteltävä haluttujen ominaisuuksien toteuttamisen aiheuttama ympäristökuormitus elinkaarimetodiikalla. Ekotehokkuusajattelussa elinkaari-metodiikan toiminnallinen yksikkö voidaan siis määrittää rakennuksen toimivuusominaisuuksien perusteella. Ympäristökuormitus voidaan puolestaan määrittää LCA-metodiikan mukaisesti koostamalla inventaario rakennuksen tuotannon ja käytön olennaisista syötteistä ja tuotoksista ja arvioimalla näihin liittyvät potentiaaliset ympäristövaikutukset. Kokonaisympäristökuormitusta on kuitenkin mahdollista myös indikoida joillakin keskeisiksi katsotuilla tekijöillä.

Ekotehokkuuden määritelmää voidaan edelleen laajentaa käsittämällä kohteen arvon perustuvan paitsi toimivuusominaisuuksiin myös esimerkiksi kohteen kulttuuriseen ja sosiaaliseen luonteeseen ja imagoon.

Toisaalta myös seurausvaikutuksien tarkastelua voidaan laajentaa koskemaan muitakin kuin ekologisesti kestävään kehitykseen koskevia vaikutuksia. Tällöin ei tosin enää välttämättä puhuta ekotehokkuudesta. Seurausvaikutusten selvittämiseksi voitaisiin inventoida paitsi aiheutuva ympäristökuormitus myös esimerkiksi kohteen toteutuksen sosiaaliset seurausvaikutukset, kuten esimerkiksi työllisyysvaikutukset, kokonaisvaikutukset alueen sosiaalisten palvelujen tarjontaan tms.

Seuraavassa esitetään lähinnä rakentamisen sekä rakennusalan yritysten ekotehokkuuden arvioinnin tutkimus- ja kehittämistarpeita.

### **Ominaisuusjäsentely ja ominaisuuksien arvottaminen käyttäjän toimesta**

Rakennusalan ekotehokkuus- ja kustannustehokkuusmääritelmän kehittämiseksi käyttökelpoisempaan muotoon laaditaan rakennustyyppikohtainen ominaisuusjäsentely sekä laaditaan vaadittujen ominaisuuksien arvottamissysteemi.

Arvottamissysteemi muodostaa kehyksen, jonka avulla käyttäjä voi arvottaa vaaditut ominaisuudet tarpeidensa mukaan.

Ominaisuusjäsentelyssä tarkennetaan erityisesti kelpoisuusvaatimuksia rakennusten käyttökohteittain. Kunkin ominaisuuden suhteen pyritään esittämään lisäksi luokitus tai kriteeristö, minkä avulla ominaisuutta koskeva vaatimus voidaan asettaa viittauksena tiettyyn luokkaan. Ominaisuusjäsentelyä laajennetaan lisäksi koskemaan tonttia ja rakennusryhmiä siten, että tuloksia voidaan soveltaa EU:n City of Tomorrow -ohjelman hankkeissa.

### **Ympäristövaikutukset**

Ekotehokkuuden määritelmässä nimittäjänä olevan ”ympäristöön kohdistuvien paineiden summan” arviointi edellyttää tarpeelliseksi katsottujen kuormitusmuuttujien mää-

rittämistä ja kuormitustietojen yhdistämistä kokonaisvaikutuksia kuvaavaksi ympäristövaikutusindikaattoriksi.

Elinkaariarviointi näyttäisi antavan teoreettisen perustan ekotehokkuuden ympäristövaikutusosan määrittämiselle. Vaikutusarviointi on kuitenkin elinkaariarvioinnissa kehitysvaiheessa, minkä takia mitään kiistatonta valmista kokonaisvaikutusten arviointimenetelmää ei ole tarjolla. Vaikutusten arviointiin on kuitenkin mitä suurin tarve, minkä takia loppukäyttäjille tulisi tarjota ”paras käyttökelpoinen vaikutusarviointikäytäntö”. Jatkossa olisi tämän takia selvitettävä:

- rakentamisen kannalta keskeiset ympäristöä kuormittavat tekijät ja vaikutusluokat sekä niissä käytettävien karakterisointikertoimien määrittelyn ja käytön perusteet,
- menettelytavat, joilla eri rakennusten ympäristömyötäisyyttä vertaillaan,
- vaikutusarviointimallin laskentasäännöt ja yksityiskohtaisuus (erilaiset ympäristövaikutukset kattava malli vs. indikaattorimalli (jossa vain esim. CO<sub>2</sub>-päästöt ympäristönäkökohdan kuvaajana)),
- eri vaikutusluokkapainojen määrittämismenetelmien heikkoudet ja vahvuudet.

Selvitysten perusteella tulisi tehdä synteesi suositeltavasta mallista, jonka toimivuus pitäisi varmistaa pilottikohteilla ja menetelmävertailulla muihin keskeisiin käytössä oleviin menetelmiin. Ekotehokkuuden ympäristövaikutustekijän osalta on tärkeää, että sen laskentaperiaatteet ja soveltamisohjeet ovat yksiselitteiset, jotta rakentamisen eri osapuolet voivat liittää ympäristövaikutuslaskennan käytännön työhönsä. Samalla tulee huolehtia siitä, että menetelmä on sopusoinnussa kansainvälisen kehitystyön kanssa.

### **Ekotehokkuuden indikaattoreiden viitekehys ja luokitus**

Rakentamisen ekotehokkuuden kehittämistä varten, eri ratkaisujen vertailua ja rakennusten ekotehokkuuden ilmoittamista ja todentamista varten itse ekotehokkuuden käsite on kyettävä täsmentämään. Toisaalta tarvitaan myös ekotehokkuuden yksinkertaisia indikaattoreita päätöksenteon ja suunnittelun tueksi.

EU:n viidennen puiteohjelman tutkimusohjelmassa City of Tomorrow kaupunkialueiden ekologisesti kestävä kehitys ja kestävä kehitys arviomallit ja indikaattorit on yksi keskeisistä teemoista. Kansainvälisissä työryhmissä on jo esitetty ehdotuksia rakennusten ekologisista indikaattoreista. Työ jatkuu ainakin EU:n viidennen puiteohjelman verkostoissa siten, että tarkastelun kohteena on koko rakennettu ympäristö. Ekologisesti kestävä kehitys tai yleisemmin kestävä kehitys mukaisen rakentamisen indikaattoreiden käsite tarvitsee täsmennystä, jottei indikaattoreista tule perustelemattomia ja jäsentymättömiä keskenään vaihtelevia luetteloita, joiden todellinen apu rakentamisen ekotehokkuuden kehittämisessä jää vähäiseksi. Välttämätöntä ei niinkään ole, että saadaan aikaan kansainvälisesti yleisesti hyväksytty indikaattoriluettelo, vaan tarpeen on muotoilla kehys, jonka avulla eri tyyppisiä indikaattoreita voidaan ymmärtää ja käsitellä.

Tavoitteena on rakentamisen ekotehokkuuden indikaattoreiden viitekehysten ja luokituksen luominen. Tarkoituksena on, että tätä kehystä voidaan edelleen käyttää kansainvälisissä yhteyksissä rakentamisen kestävä kehitys indikaattoreiden muotoilussa. Tavoitteena on lisäksi muotoilla kansallisesti hyväksyttävät kestävä kehitys mukaisen rakentamisen indikaattorit.

Indikaattoreiden käyttö on lisäksi tarpeen arvioitaessa sellaisia ekologisia vaikutuksia, joita ei voida käsitellä ko. vaikutusta suoraan kuvaavien parametrien avulla. Tällaisia ovat esimerkiksi maankäytön vaikutukset. Indikaattoreita tarvitaan myös tilanteissa, joissa ei ole riittävästi pohjatietoa tai resursseja varsinaisen vaikutusarvion tekemiseksi, vaan halutaan, että vaikutusta voitaisiin indikoida kohteen ominaisuuksien tai piirteiden perusteella. Standardin ISO 14031 mielessä indikaattoreita tarvitaan myös yritysten toiminnan ja johtamisen ympäristönäkökohtien tunnistamiseen ja kuvaamiseen. Tavoitteen-

na ei tällöin ole niikään arvioida toiminnan suoria ympäristövaikutuksia, vaan arvioida toimintatapojen ja johtamistapojen merkitystä ympäristövaikutusten aiheutumisen kannalta.

Tavoitteena on luokitella indikaattorit käyttötärpeen mukaisesti palvelemaan rakennus- ja kiinteistöalan tarpeita. Tarkoituksena on edesauttaa eri lähtökohdista tapahtuvaa indikaattoreiden kehittämistä.

#### Indikaattoreiden kehittäminen ja implementointi pilottikohteissa

Tavoitteena on luoda ekotehokkaan rakentamisen jäsentely sekä konkreettiset indikaattorit, jotka testataan todellisissa rakennushankkeissa. Työ liittyy kahteen EC V puiteohjelman verkostohankkeeseen (Crisp, Presco), joiden puitteissa on mahdollista ehdottaa Suomessa kehitettävää ja testattavaa menettelytapaa yhteiseurooppalaiseksi käytännöksi.

#### Toimialakohtaiset indikaattoritavoitteet ja benchmarking

Kuvataan toimialakohtaisesti (omistaminen, rakennuttaminen, suunnittelu, urakointi, tuoteteollisuus, ylläpito) edellä esitetty yleinen jäsentely. Asetetaan tavoitetasot kansallisesti, mitataan niiden arvot sekä vertaillaan niitä toisiinsa. Pyrkimyksenä on koko kiinteistö- ja rakennusalaan kattavan järjestelmän kehittäminen.

#### Kansainvälinen vertailu

Toteutetaan suomalaisen ekotehokkaan rakentamisen indikaattorien tulosten kerääminen ja kansainvälinen vertailu. Tavoitteena on paikallisten, kansallisten, alueellisten ja globaalien tavoitetasojen hahmottaminen osana kestävän kehityksen strategiaa sekä kansainvälisiä sitoumuksia.

## 8 LOPPUSANAT

EU:n "Towards sustainability" -ohjelmassa kestävän kehityksen onnistumisen ydinkysymyksiksi on nähty ympäristönäkökulman integroiminen kaikkeen päätöksentekoon sekä "käske-ja-kontroloii" -käytännön korvaaminen jaetun vastuun (hallitusten, teollisuuden ja kuluttajien jaetun vastuun) käytännöllä. Käytännössä nämä ydinkysymykset merkitsevät sitä, että on luotava menettelytavat ja työkalut ympäristönäkökohdat huomioon ottavaan päätöksentekoon ja että informaatio-ohjauksen tärkeys korostuu suhteessa määrä- ja taloudelliseen ohjaukseen. Kestävän kehityksen strategia vaatii toteutuakseen menetelmiin ja järjestelmiin liittyviä uusia välineitä, kuten standardoituja arviointimenetelmiä, ympäristömerkinnän ja ympäristöjohtamisen järjestelmiä, tiedotusta, koulutusta ja tutkimusta ja taloudellista tukea standardien, menetelmien, järjestelmien kehittämiseen ja tutkimiseen.

Toisaalta ekotehokkuus ei reaalisesti lisääny metodeja, menetelmiä ja indikaattoreita kehittämällä vaan tuotantomenetelmiä ja tuotteita kehittämällä. Rakentamisen ekotehokkuuden kehittämisessä painoarvoa pitäisi suunnata kehitettyjen ja kehitettävien menettelytapojen todelliseen hyötykäyttöön rakennusalan yritysten tuotanto- ja toimintamenetelmien kehittämiseksi. Lisäksi menetelmien käytössä ja erityisesti niiden käytössä tuotteiden markkinoinnissa pitäisi aina korostaa menetelmän avulla saatua ympäristöhyötyä. Muutoin on olemassa vaara, että menetelmiin suhtaudutaan itseisarvoina.

Tämän esitutkimuksen tavoitteena oli määrittää rakennusalan ekotehokkuuskäsite lähtien liikkeelle raportin alkuosassa esitettävästä ekotehokkuuden yleisestä määrittelystä, mutta soveltaen se tutkijoiden näkemyyksen mukaisesti rakennusosalalle käyttökelpoiseksi konseptiksi. Perusajatuksena oli pyrkimys yhdistää rakennusalan toimivuusajattelu ja elinkaariajattelu.

Esitutkimuksen tavoitteena oli lisäksi määrittellä tutkimustarpeet rakennusalan ekotehokkuuden ja siihen liittyvien menetelmien kehittämiseksi. Ehdotetut tutkimuskokonaisuudet ovat

- ominaisuusjäsentely ja ominaisuuksien arvottaminen käyttäjän toimesta,
- ympäristövaikutukset ja
- ekotehokkuuden indikaattoreiden viitekehys ja luokitus.

Kokonaistavoitteena on kehittää ekotehokkuuden konsepti sellaiseksi, että rakennusala ja alan yritykset voisivat hyödyntää sitä kokonaisvaltaisessa kestävän kehityksen mukaisessa kehitystyössä. Jatkotutkimusehdotus liittyy kiinteästi EU:n viidennen puiteohjelman tutkimusohjelmassa "City of Tomorrow" alkaviin verkostohankkeisiin.

## LIITE 1

### SANASTO

Seuraavassa esitetään kestäväan kehitykseen, ympäristöasioiden hallintaan, ekotehok-  
kaaseen rakentamiseen ja elinkaariarviointiin liittyviä määritelmiä. Määritelmät on laa-  
dittu pääosin viitteiden <sup>40</sup>, <sup>41</sup> ja <sup>42</sup> nojalla. Lisäksi osa määritelmistä on suoraan standar-  
dien SFS-EN ISO 14040 <sup>43</sup> tai ISO/FDIS 14031 <sup>44</sup> mukaisia.

#### **RAKENTAMINEN** <sup>41</sup>

##### **Kiinteistö- ja rakennusklusteri, kiinteistöala ja rakennusala** <sup>45</sup>

Kiinteistö- ja rakennusklusteri on tuotannollista ja palvelutoimintaa, jonka tärkeimmät  
toimialat ovat kiinteistöala ja rakennusala. Toimialueena on koko rakennettu ympäristö.  
Kiinteistöalaan kuuluvat kiinteistöomistus, kiinteistöjen käyttö ja ylläpito, kiinteistö- ja  
asuntokauppa. Rakennusalaan kuuluvat rakennustoiminta, rakennustuoteteollisuus, talo-  
tekniikkateollisuus sekä kalusto- ja muut palvelut. Vuorovaikutteisesti rakennusalan ja  
kiinteistöalan kanssa rakennus- ja kiinteistöklusterissa toimivat lisäksi suunnittelu, ra-  
kennuttaminen, rauta- ja lvis-kauppa, tutkimus, koulutus viranomaistoiminnot, kaavoit-  
tus sekä vakuutus ja rahoitus.

Tässä tutkimuksessa termiä rakennusala käytetään edellä olevan rakennusalan määritel-  
män mukaisesti mukaan lukien kuitenkin suunnittelu ja rakennuttaminen.

##### **Rakentaminen**

Toiminta, jonka tarkoituksena on aikaansaada rakennus.

Tässä raportissa rakentamisen katsotaan käsittävän myös rakennuksen suunnittelun sekä  
rakennustyön rahoittamisen ja käyttöönottamisen kannalta välttämättömät rakennutta-  
mis- ja hallintotoimet.

##### **Kiinteistö**

Rakennus sekä siihen liittyvä rajattu maa-alue ja kasvillisuus.

##### **Rakennuttaminen**

Rakentamisen teettäminen.

Tässä raportissa rakennuttamisen katsotaan käsittävän myös rakentamisen suunnittelun  
teettämisen.

##### **Rakennuksen käyttö**

Rakennuksen toiminnallinen hyödyntäminen.

---

<sup>40</sup> Anon 1998. Ympäristösanasto. Ympäristöalan keskeiset käsitteet ja termit. Tekniikan sanastokeskus.  
Jyväskylä. 163 s.

<sup>41</sup> Tekniikan sanastokeskuksen termipalvelu (mm. Kiinteistönpidon perussanastoa [1996], KIMI-sanastoa  
[1994] sekä Teollisen talonrakennuksen sanastoa [1991] soveltaen).

<sup>42</sup> Rakennusmateriaalien ja rakenteiden käyttöikäohjeet. RIL 183-7-1996.

<sup>43</sup> Anon 1997. SFS-EN ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja  
pääpiirteet. Vahvistettu 22.9.1997

<sup>44</sup> ISO/FDIS 14031. Environmental management - Environmental performance evaluation - Guidelines.  
1999

<sup>45</sup> Pajakkala, P. Kiinteistö- ja rakennusklusteri ja sen keskeiset toimialat. Esiselvitys. VTT Rakennustek-  
niikka. Rakentaminen ja kiinteistönhallinta. Espoo, 1998. (Esitutkimus jonka tavoitteena oli kiinteistö- ja  
rakennusklusterin määrittely ja tärkeimpien kehitystarpeiden osoittaminen)

Käyttö alkaa usein rakentamisen päätyttyä, mutta ei aina esim. korjausrakentamiskoh-teissa.

### **Rakennuksen ylläpito**

Toiminta, jonka tarkoituksena on rakennuksen kunnon, arvon, käytettävyyden ja koetta-vuuden säilyttäminen.

### **Kiinteistönpito**

Juridiseen oikeuteen tai velvollisuuteen perustuva vastaaminen kiinteistön jatkuvasta olemassaolosta.

Rakentaminen ja purkaminen voidaan myös katsoa kiinteistönpitoon kuuluviksi kerta-luonteisiksi toimenpiteiksi. Purkaminen päättää yleensä rakennuksen elinkaaren, mutta ei välttämättä kiinteistön.

### **Rakennushankkeen tilaaja**

Rakennushankkeen osapuoli, joka päättää hankkeen toteuttamisesta ja vastaa rahoituk-sesta.

### **Rakennuttaja**

Rakennushankkeen osapuoli, joka vastaa hankkeen läpiviennin organisoinnista.

### **Rakennuksen pääsuunnittelija**

Rakennushankkeen osapuoli, joka vastaa rakennussuunnittelun koordinoinnista.

## **KESTÄVÄ KEHITYS JA EKOTEHOKAS RAKENTAMINEN**

### **Kestävä kehitys**

Suomessa kestävän kehityksen toimikunta julkaisi joulukuussa 1994 yhteenvedon kestä-vän kehityksen lähiajan toimenpiteistä Suomessa ja Suomen kansainvälisessä yhteis-työssä <sup>46</sup>. Raportin mukaan kestävä kehitys on ekologisesti kestävää kehitystä, yhteis-kunnallisesti oikeudenmukaista kehitystä ja ihmisen henkisesti uudistuvaa kehitystä.

### **Ekologisesti kestävä kehitys**

Ekologisesti kestävä kehitys on taloudellisen kasvun sopeuttamista luonnon asettamiin reunaehtoihin. Ekologisesti kestävä kehityksen perusehtona on luonnon monimuotoi-suuden säilyttäminen ja ihmisen taloudellisen toiminnan sopeuttaminen maapallon luon-nonvaroihin ja luonnon sietokykyyn (Suomen kestävän kehityksen toimikunta).

### **Ekotehokas rakentaminen**

Ekotehokkaassa rakentamisessa hankkeelle asetetut vaatimukset pyritään täyttämään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavalla maan ja resurssien käytöllä raken-nuksen koko elinkaaren aikana. Ekotehokkaan rakennuksen suunnittelussa keskeisiä suunnittelun kohteita ovat rakennuksen energiataloudellisuus, käyttöikä, joustavuus ja rakennusosiin sitoutuvat ympäristökuormat.

---

<sup>46</sup> Kestävä kehitys. Lähiajan toimenpiteitä Suomessa ja Suomen kansainvälisessä yhteistyössä. Suomen kestävän kehityksen toimikunta. Ympäristöministeriö. Helsinki 1995. 208 s.

## **Energiatehokas rakentaminen**

Energiatehokkaassa rakentamisessa halutut sisäolot toteutetaan site, että rakennuksen käytön aiheuttama energiankulutus on mahdollisimman vähäinen.

### **Indikaattori**

Indikaattorit ovat yksinkertaisia lukuja, joiden avulla tieto monimutkaisista ilmiöistä, kuten ympäristön kuormituksesta, yksinkertaistetaan helposti ymmärrettävään ja käytettävään muotoon.

### **Factor-tavoitteet**

Factor-tavoitteissa tavoiteltava ekotehokkuuden lisäys rajataan tyypillisesti koskemaan resurssien (mm. materiaalien) käytön tehostamista. Kuitenkin resurssien käytön arvioidaan samalla aiheuttavan myös päästöjen vähenemisen.

## **TOIMIVUUS**

### **Toimivuusajattelu (Performance approach)**

Toimivuusajattelulla rakentamisessa tarkoitetaan menettelytapaa, jossa rakentamisen lopputuotteesta kuvataan valintavaiheessa käytönaikaiset ominaisuudet eikä teknistä ratkaisua.

### **Toimivuusvaatimus (Performance requirement)**

vaadittu ominaisuus, joka esitetään erittelemättä teknistä ratkaisua

### **Toimivuus (Performance)**

tuotteen suoriutuminen tarkoitetussa käytössä

## **YMPÄRISTÖASIOIDEN HALLINTA**

### **Ympäristömerkki (Environmental label)**

kolmannen osapuolen myöntämä merkki tuotteelle tai palvelulle, joka täyttää tietyt ympäristövaatimukset

### **Ympäristötuoteseloste (Environmental declaration)**

kolmannen osapuolen myöntämä tai todentama seloste, jossa eritellään tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksiin liittyviä ominaisuuksia

### **Ympäristösertifiointi (Environmental certification)**

toimi, jolla asianosaisista riippumaton elin todistaa, että tuote tai järjestelmä on yhdenmukainen määritettyjen ympäristövaatimusten kanssa

### **Ympäristöasioiden hallintajärjestelmä, ympäristöjärjestelmä, ympäristöjohtamisjärjestelmä (Environmental management system)**

ympäristöasioiden hallinnassa tarvittavien organisaation resurssien, rakenteiden, prosessien ja menettelyjen muodostama järjestelmä

**Ympäristönsuojelun taso (Environmental performance)** <sup>47</sup>  
organisaation johtamisjärjestelmän tulokset ympäristönäkökohtiin nähden

**Ympäristönsuojelun tason arviointi (Environmental Performance Evaluation)**  
prosessi, jonka tarkoituksena on helpottaa ympäristönsuojelun tasoon liittyvää päätöksentekoa valitsemalla indikaattorit, keräämällä ja analysoimalla informaatiota, arvioimalla tätä informaatiota suhteessa ympäristönsuojelun tason kriteereihin, raportoimalla, tarkastamalla ja parantamalla tätä prosessia.

**Ympäristönsuojelun tason indikaattori (Environmental Performance Indicator)**  
Yrityksen ympäristönsuojelun tason osoitin.

## **ELINKAARIARVIOINTI**

**Elinkaari (Life cycle)**  
tuotejärjestelmän peräkkäiset tai vuorovaikuttiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tai luonnonvarojen tuottamisesta loppukäsittelyyn

**Elinkaariarvio (Life cycle assessment, LCA)**  
tekniikka, jolla tuotteeseen liittyviä ympäristönäkökohtia ja potentiaalisia ympäristövaikutuksia arvioidaan

- koostamalla inventaario tuotejärjestelmän olennaisista syötteistä ja tuotoksista,
- arvioimalla näihin syötteisiin ja tuotoksiin liittyvät potentiaaliset ympäristövaikutukset sekä
- tulkitsemalla inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia selvityksen tavoitteiden suhteen

**Ympäristövaikutus (Environmental effect)**  
muutos ympäristössä

**Ympäristökuormitus**  
Tässä raportissa ympäristökuormituksella tarkoitetaan resurssien käyttöä, kuten energia- ja raaka-aineresurssien käyttöä, ja terveydelle tai ympäristölle haitallisten päästöjä.

**Potentiaalinen ympäristövaikutus (Environmental impact)**  
ympäristökuormituksen mahdollinen vaikutus ympäristöön vaikutuspotentiaalinsa perusteella

**Toiminnallinen yksikkö (Functional unit)**  
tuotejärjestelmän määrällinen suorituskyky, jota käytetään referenssiyksikkönä elinkaariarviossa

**Inventaarioanalyysi (Life cycle inventory analysis)**  
elinkaariarvioinnin vaihe, jossa annetun tuotejärjestelmän elinkaaren aikaiset syötteet ja tuotokset yhdistetään ja kuvataan määrällisinä

---

<sup>47</sup> ISO/FDIS 14031 Environmental management - Environmental performance evaluation - Guidelines. 1999.

**Vaikutusarviointi (Life cycle impact assessment)**

elinkaariarvioinnin vaihe, jonka tarkoituksena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä

**Luokittelu (classification)**

inventaaritiedon jaottelu vaikutusluokkiin (esimerkiksi ilmaston muutosvaikutus ja happamoitumisvaikutus)<sup>48 49</sup>

**Luonnehdinta, kuvaus (characterization)**

inventaaritiedon mallintaminen vaikutusluokissa<sup>25 26</sup>

**Painotus (weighting)**

vaikutusluokkien painottaminen tai niiden yhdistäminen siten, että tulosten tai vaikutusluokkien suhteellista merkitystä voidaan arvioida<sup>26</sup>

**Normalisointi (normalization)**

luonnehdinnan tulokset liitetään kyseisen vaikutusluokan kokonaisvoimakkuuteen tarkastelupaikalla ajan funktiona<sup>26</sup>

**Arvottaminen (valuation)**

eri vaikutusluokkien painottaminen siten, että niiden merkitystä voidaan verrata toisiinsa (vrt. painotus)<sup>26</sup>

---

<sup>48</sup> Anon 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code for Practice, Edition 1. From the workshop held at Sesimbra, Portugal 31.3 - 3.4.1993 Ed. by Consoli, F. et al. Published by SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry). 68 s.

<sup>49</sup> Anon 1997. ISO / CD 14042. Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assesment. 19 s.

## LIITE 2

# RAKENTAMISEN MATERIAALIRESSURSSIEN KÄYTÖN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

### 1 Rakentamisen materiaali- ja energiavirrat - merkittävien tekijöiden tunnistaminen

Rakentamisen materiaali- ja energiavirtojen merkittävien tekijöiden tunnistaminen voi luoda perustan rakennusten ekotehokkuutta kuvaavien indikaattorien kehittämiseksi.

Rakennusten ympäristökuormat aiheutuvat rakennustuotteiden tuotannon ja rakennusten käytön aiheuttamista materiaali- ja energiavirroista. Kokonaisenergiankulutuksesta ja sen aiheuttamista päästöistä rakennuksen koko elinkaaren aikana suurin osa aiheutuu rakennuksen käytön aikana. Raaka-aineresurssien kulumisen ja maankäytön ympäristövaikutuksien samoin kuin joidenkin yksittäisten päästöjen suhteen rakennuksen koko elinkaaren aikana suuri osa aiheutuu puolestaan rakennustuotteiden tuotannossa ja rakentamisessa. Kuvissa 1-3 esitetään viitteen<sup>50</sup> mukaisesti laskelmia erään esimerkuotteiden valinnalla voi olla myös keskeinen merkitys rakennuksen elinkaaren aikana esimerkitapauksen ympäristökuormien jakautumisesta eri tekijöiden suhteen.

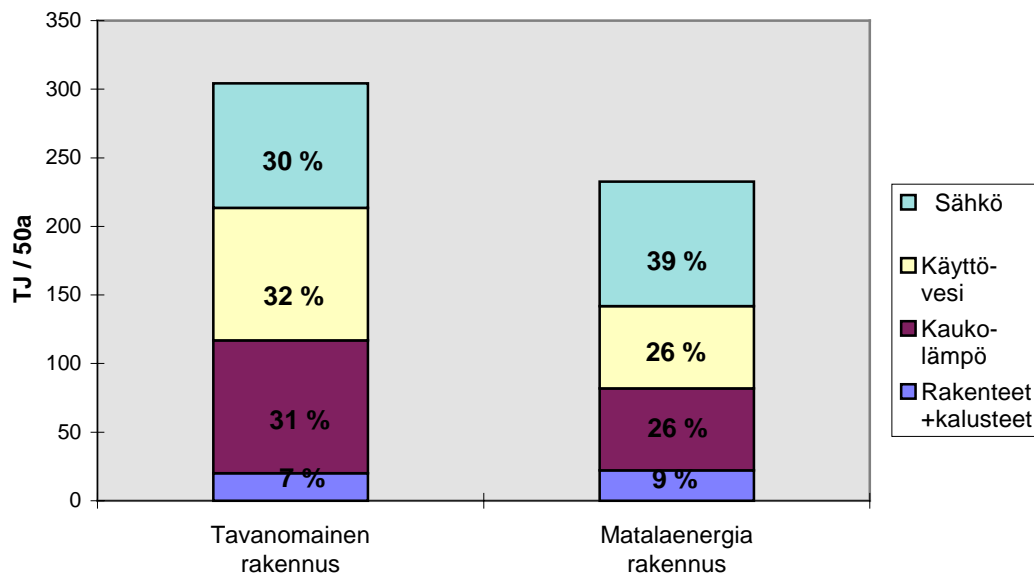
Elinkaaren aikaisten energiaresurssien kulumisen ja haitallisten päästöjen syntyminen suhteen merkittävin yksittäinen tekijä on tilojen lämmitys, joka aiheuttaa karkeasti arvioiden noin 40% käytön aikaisesta energiatarpeesta. Toiseksi merkittävin yksittäinen tekijä on veden lämmitys, joka aiheuttaa karkeasti arvioiden kolmanneksen käytön aikaisesta energiantarpeesta. Laitesähkö aiheuttaa noin neljänneksen käytön aikaisesta energiantarpeesta. Rakenteisiin sitoutuu energiaa valmistuksen, kuljetuksen ja rakentamisen yhteydessä karkeasti arvioiden noin 5 - 10 % verrattuna siihen primäärienergian määrään, joka kuluu rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitykseen ja sähkön käytöstä laitteiden käyttöön.

Lämmitysenergian ympäristökuormitus, so. uusiutumattoman ja uusiutuvan energiaresurssin kulumisen sekä päästöt ympäristöön riippuvat paitsi lämmitysenergian tarpeesta huomattavasti myös energian lähteestä. Energiankulutus sinänsä on yksi ympäristöparametri, jonka perusteella ratkaisujen ympäristövaikutuksia voidaan arvioida. Haitallisten päästöjen aiheutuminen vaihtelee kuitenkin energialähteittäin.

---

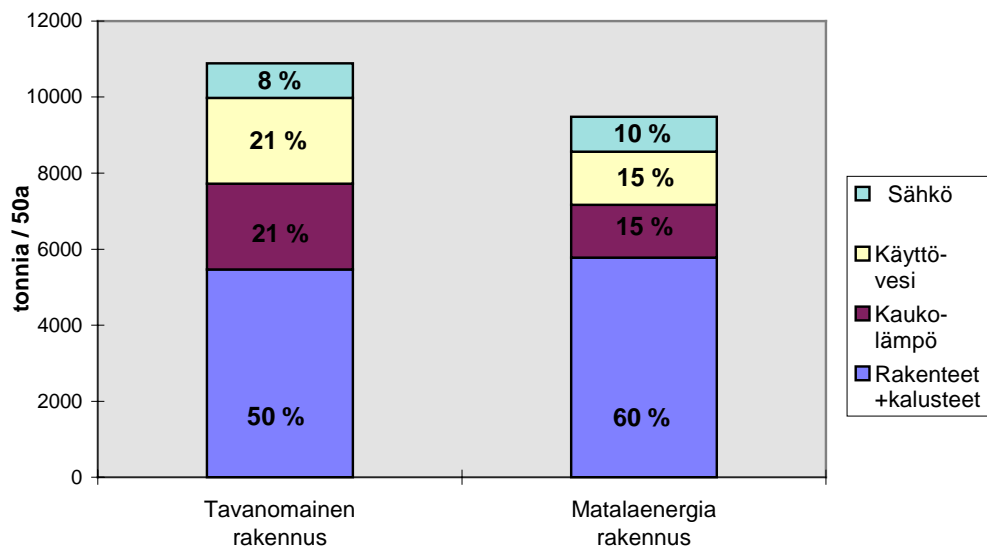
<sup>50</sup> Ekotehokkaan rakennuksen suunnittelu. VTT Rakennustekniikka 1999. Julkaistaan RTS:n EKOTIETO-sarjassa elokuussa 1999.

## Energia



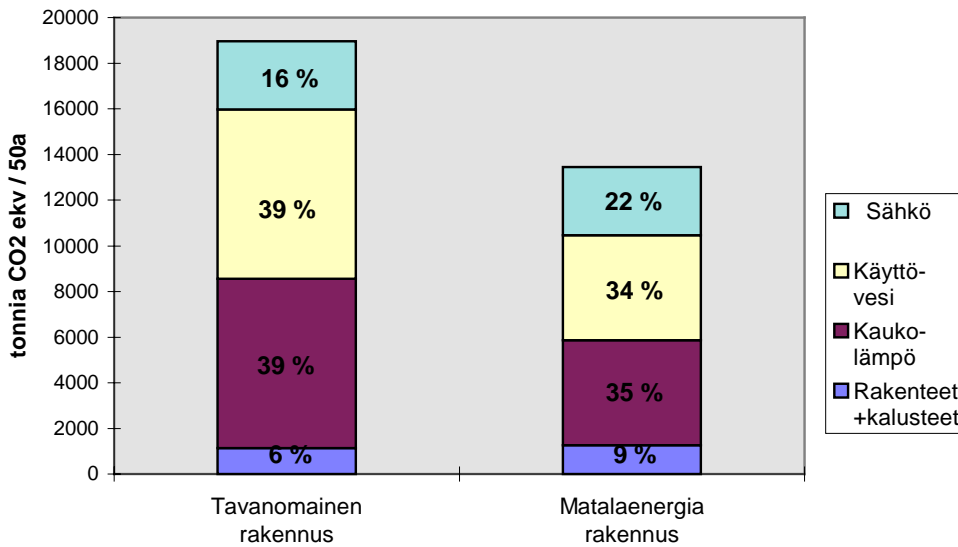
Kuva 1. Eri tekijöiden osuus rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuvasta kokonaisenergian kulumisesta (laskelma koskee betonirakenteista kerrostaloa, tarkastelujakso 50 v). Esimerkilaskelmassa tavanomaisen rakennuksen kokonaisenergisäily on 300 TJ, kun matalaenergiarakennuksen kokonaisenergisäily on 230 TJ. Kokonaisenergisäily koostuu rakennuksen käytön ja tuotteiden valmistuksen tarvitsemien energialaatuojen primääriarvojen summasta. Energialaadut voivat olla varsinaisia polttoaineita, materiaaleja, joilla on polttoarvo, sähköä tai kaukolämpöä.

## Raaka-aineet



Kuva 2. Eri tekijöiden osuus rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuvasta raaka-aineiden kulumisesta (laskelma koskee betonirakenteista kerrostaloa, tarkastelujakso 50 v). Esimerkilaskelmassa tavanomaisen rakennuksen kokonaisraaka-ainemäärä on 11000 t, kun matalaenergiarakennuksen kokonaisraaka-ainemäärä on 9500 t. Laskelmasta puuttuvat kaikki taloteknisten järjestelmien ja laitteiden materiaalit. Näiden mukaan ottaminen kasvattaisi jonkin verran rakenteiden+ kalusteiden+ varusteiden osuutta kokonaisraaka-ainemäärästä.

## Kasvihuonekaasut



Kuva 3. Eri tekijöiden osuus rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuvista kasvihuonekaasuista (laskelma koskee betonirakenteista kerrostaloa, tarkastelujakso 50 v). Kasvihuonekaasut on laskettu lähinnä hiilidioksidin ja metaanin painotettuna summana.

Merkittävimpiä keinoja rakentamisen ekotehokkuuden parantamiseksi ovat

- matalaenergiarakentaminen (energian kokonaiskäyttö),
- fossiilisten energialähteiden korvaaminen uusiutuvilla energialähteillä rakennuksen käytön energiakulutuksessa (hiilen, rikin ja typen oksidien päästöt),
- sivu- ja kierrätystuotteiden hyötykäyttö (materiaaliresurssien kuluminen),
- rakennustuotteiden käyttöään pidentäminen (materiaalieresurssien kuluminen) ja mahdollisesti
- materiaalien käytön vähentäminen,
- jätteiden syntymisen ehkäiseminen sekä
- rakennusmuovien ja polymeerien käyttömäärän vähentäminen.

Samat halutut rakennuksen ominaisuudet voidaan toteuttaa soveltamalla em. keinoja. Näitä keinoja voitaisiin siis pitää rakennuksen ekotehokkuuden epäsuorina mittareina.

## 2 Käytönaikaisen energiankulutuksen ja vedenkulutuksen vertailuarvoja

Ekotehokkaan rakentamisen kehittämiseksi tarvitaan hyvää ekologista tasoa kuvaavia viitearvoja. Tällaiset viitearvot ovat olemassa rakennuksen käytön suhteen. Taulukossa 1 esitetään viitearvoja lämmityksen ja laitesähkön energiantarpeesta sekä vedenkulutuksesta rakennustyypeittäin. Luvut ovat VTT Rakennustekniikan esittämiä viitearvoja käytettäväksi referenssiarvoina energian- ja vedenkulutuksen tavoitteenasettelussa<sup>51</sup>. Energiaa koskevat luvut esitetään energiantarpeena kWh:eina neliometriä ja vuotta kohden. Se primäärienergiämäärä, joka tarvitaan ko. energiantarpeen tyydyttämiseksi, vaihtelee energialähteen ja tuotantomuodon mukaan. Esimerkiksi tuottaessa sähköenergiana 1 kWh:a vastaava primäärienergiämäärä valtakunnallisen keskiarvon mukaan on noin 6,5 MJ (eli noin 2,1 kWh). Vastaavasti energiankäytöstä aiheutuvat päästöt riippuvat energian lähteestä.

<sup>51</sup> Ekotehokkaan rakennukseen suunnittelu. VTT Rakennustekniikka 1999. Julkaistaan RTS:n EKO-TIETO-sarjassa elokuussa 1999.

Taulukko 1. Viitearvoja rakennuksen energiantarpeesta ja käyttäjien aiheuttamasta energiankulutuksesta rakennustyypeittäin. Energiankulutus on esitetty huoneistopinta-alaa <sup>52</sup> kohti.

Rakennustyyppi	Luokka 3 Nykytaso	Luokka 2 Parannettu taso	Luokka 1 Ekotas
<b>RAKENNUKSEN KULUTTAMA ENERGIA, kWh/m<sup>2</sup>/a</b>			
<b>Tilojen lämmitysenergia (lämmitysverkko)</b>			
Asuinpientalot	yli 120	100 - 120	<b>alle 70</b>
Asuinkerrostalot	yli 140	120 - 140	<b>alle 80</b>
Toimistorakennukset	yli 90	70 - 90	<b>alle 60</b>
<b>Laitesähkö (kiinteistösähkö)</b>			
Asuinpientalot	yli 20	10 - 20	<b>alle 10</b>
Asuinkerrostalot	yli 20	15 - 20	<b>alle 15</b>
Toimistorakennukset	yli 35	20 - 35	<b>alle 20</b>
<b>KÄYTTÄJIEN AIHEUTTAMA ENERGIANKULUTUS, kWh/m<sup>2</sup>/a</b>			
<b>Käyttöveden lämmitys</b>			
Asuinpientalot	yli 25	15 - 25	<b>alle 15</b>
Asuinkerrostalot	yli 40	30 - 40	<b>alle 30</b>
Toimistorakennukset	yli 6	4 - 6	<b>alle 4</b>
<b>Laitesähkö (huoneistosähkö ja toimistolaitteet)</b>			
Asuinpientalot	yli 30	20 - 30	<b>alle 20</b>
Asuinkerrostalot	yli 40	25 - 40	<b>alle 25</b>
Toimistorakennukset	yli 40	30 - 40	<b>alle 30</b>

Vertailuarvoja on jonkin verran laskettu myös rakennuksen tuotannon ympäristökuormitusten suhteen. Laskelmia on kuitenkin tehty niin vähän, että varsinaista viitekehystä ei vielä ole olemassa.

### 3 Sähkön, kaukolämmön ja polttoaineiden ympäristöprofiilit

Ekotehokkaan rakentamisen edistämiseksi tarvitaan suunnittelijoiden käyttöön tiedostoja rakennuksen käytön energialähteiden ominaispäästöistä ja -resurssien kulumisesta. Ominaisarvoja on julkaistu eri energialähteistä valtakunnallisina keskiarvoina. Kaukolämmön ja sähkön suhteen tarvitaan kuitenkin myös alueellisia ja paikallisia laskelmia ja tuloksia.

Sähkön, kaukolämmön, öljyn ja puun ominaisarvojen lisäksi ekotehokkaan rakennuksen suunnittelun lähtötiedoksi olisi tarpeen saada myös vaihtoehtoisten energialähteiden, erityisesti aurinkolämmön ja maalämmön ympäristöprofiilit. Kaikki vaihtoehtoiset rakennuksen käytön energialähteet olisi yhteismitallistettava sekä elinkaaritaidollisesti että ympäristötekijöiden suhteen, ja tulosten pitäisi olla saatavissa vertailukelpoisissa yksiköissä.

<sup>52</sup> Rakennusten pinta-alan laskenta. SFS 2461. RT 120.22. Suomen standardisoimisliitto. Rakennustietosäätiö, Helsinki. 3 s.

#### 4 Rakentamisen materiaaliraaka-aineet ja niiden ympäristökuormitus

Rakentamisen päämateriaaleja ja -tuotteita (päämateriaalikoostumuksensa mukaan) ovat

- betoni (kalkkikivi ja runkoaineet)
- sahatavara,
- teräs ja sinkitty teräs,
- poltetut tiilet,
- kalkkiahiekkakivet (kalkkikivi ja hiekka),
- kipsi-kartonkilevyt (kipsi ja puu),
- lastulevyt (puu ja polymeerit),
- kuitulevyt (puu),
- mineraalivilla (mineraalit ja polymeerit),
- lasivilla (mineraalit ja polymeerit),
- polyuretaanieristeet (polymeerit),
- polystyreenieristeet (polymeerit),
- bitumihuovat ja -matot (mineraalit ja polymeerit),
- tasolasi (mineraalit),
- alumiiniprofiilit ja muut alumiinituotteet (bauksiitti),
- maalit ja lakat (polymeerit ja mineraalit).

Rakennustuotannossa kuluvia luonnonmateriaaleja ovat pääasiassa

- hiekka, sora ja kallio,
- savi,
- kalkkikivi,
- kipsi,
- puu,
- rautamalmi,
- bauksiitti,
- raakaöljy ja maakaasu.

Suurella osalla rakennustuotetuotantoa on mahdollista korvata merkittävä osa luonnon materiaaleista sekundäärimateriaaleilla, kuten kierrätysteräksellä, -alumiinilla ja -lasilla, sekundäärirunkoaineilla, sivutuotekipsillä ja muilla teollisuuden sivutuotteilla.

Valtaosa rakennustuotteiden valmistusprosessien ja rakennuksien käytön haitallisista päästöistä ympäristöön syntyy polttoaineiden käytöstä. Merkittäviä muita prosessipäästöjä aiheuttaa mm.

- polymeeriteollisuudessa (hiilivedyt ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet, COD),
- sementtiteollisuus (hiilidioksidi ja hiukkaset),
- muu rakennusmineraaliteollisuus (hiukkaset),
- metalliteollisuus (hiukkaset).

Täten potentiaalivaikutusten osa-alueista merkittävämpiä ovat resurssien kulumisen, ilmaston muutoksen ja happamoitumisen osa-alueet kuin rehevöitymisen tai otsonikadon osa-alueet. Koska toisaalta rakennuksen koko elinkaaren suhteen valtaosa ilmaston muutoksen ja happamoitumisen päästöistä aiheutuu rakennuksen käytön energiankulutuksesta, niin luonnonmateriaalien käyttöä voisi harkita rakennustuotannon ekologisenä indikaattorina. Rakennusalan tuotteiden elinkaariarviointiin kaivataan menettelytapoja myös ihmiselle haitallisten ja ekotoksisten vaikutusten arviointiin.

## 5 Rakentamisen materiaalivirrat ja piilovirrat sekä niiden ekologinen merkitys

Ympäristöongelmat aiheutuvat ympäristön tarjoamien resurssien ylikulutuksesta<sup>53</sup>. Resursseja ovat

- energia-
- raaka-aine- ja
- pinta-alavarat sekä
- saasteiden vastaanottokyky.

Suomessa syntyy jätteitä 85 – 90 miljoonaa tonnia vuodessa. Noin 96 % jätteistä syntyy tuotannollisessa toiminnassa (teollinen toiminta, rakennustoiminta ja maaseutuelinkeinot). Suurimmat jätemäärät syntyvät teollisessa toiminnassa. Teollisesta toiminnasta kaivostoiminnan osuus Suomen kokonaisjätemäärästä on noin 39 %, teollisuuden 17 % ja energia- ja vesihuollon 3,3 %. Rakennustoiminnan osuus on 9 %, ja se sisältää rakennus- ja purkujätteet sekä pääosan talotyömaiden ylijäämämassoista. Rakennustoiminnan jätteiden hyödyntämistä on nykyään noin 30 %. Maa- ja vesirakentamisen ylijäämämassat eivät sisälly edellä oleviin lukuihin. Maa- ja vesirakentamisessa siirrettiin vuonna 1997 maamassoja noin 120 miljoonaa tonnia. Ylijäämämassoja maa- ja vesirakennustyömailta jäi noin 25 miljoonaa tonnia.

Suomen jätehuollon kokonaiskustannukset olivat vuosikymmenen alussa noin 3,3 miljardia markkaa vuodessa<sup>1</sup>. Tuotannon jätehuollon osuus oli tästä noin 2,1 miljardia markkaa. Jätelain, EU:n direktiivien ja Valtakunnallisen jätesuunnitelman vaikutuksesta jätehuollon kokonaiskustannusten arvioidaan olevan vuonna 2005 noin 5,8 miljardia markkaa, josta tuotannon osuus on noin 3,4 miljardia.

Rakennusalan elinkaariarvioissa tarkastellaan yleensä materiaali- ja energioresurssien kulumista ja siitä aiheutuvia päästöjä toiminnallista yksikköä kohti. Materiaali- ja energioresurssit jaetaan tavallisesti uusiutuviin ja uusiutumattomiin. Tuotteiden raaka-aineiden hankinnasta aiheutuvia sivutuotteita ja jätteitä sekä niiden aiheuttamia potentiaalisia ympäristövaikutuksia ei yleensä oteta huomioon. Näitä materiaalivirtoja (ja myös niihin liittyviä energiavirtoja) voidaan kutsua tuotteen piilovirroiksi. Piilovirroilla voidaan toisaalta tarkoittaa myös raaka-aineiden hankintaan tarvittavien apuaineiden tai hankinnan apuprosessien ja –toimintojen aiheuttamia ympäristökuormia tai potentiaalisia ympäristövaikutuksia.

Elinkaariarvioissa rakennuksen käytön aikaisen energiankäytön osuus 50 vuoden aikana on tyypillisesti noin 90 % materiaalien ja käytön aiheuttamista yhteen lasketuista ympäristökuormista. Tämän seurauksena materiaalien ja esimerkiksi taloteknisten laitteiden valmistuksen ainoaksi oleelliseksi merkittäväksi tekijäksi mielletään usein ominaisuus minimoida rakennuksen energiankäyttöä. Eri materiaalivaihtoehtojen aiheuttamia maa-ainesten ottoa, jätemääriä ja jätteiden laatua sekä niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia ei käytännössä vertailla, koska

- ne eivät yleensä sisälly elinkaariarvioon
- maankäytön aiheuttamat vaikutukset ovat arvosidonnaisempia kuin ekvivalentit päästöt
- jätteiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia on usein vaikea mallintaa.

Rakentamisen maankäytön ja jätteiden merkitys on kuitenkin huomattava varsinkin, jos otetaan huomioon maa- ja vesirakentaminen ja rakennusmateriaalien ja –tuotteiden osuus kaivostoiminnan ja teollisuuden jätteistä. Esimerkiksi terästä käytettiin Suomessa

---

<sup>53</sup> Melanen, M. (toim.). Jätealan tutkimuksen puiteohjelma 1998 – 2002. Suomen ympäristö 161. Suomen Ympäristökeskus.

rakentamiseen vuonna 1994 karkeasti arvioiden 1 370 000 tn<sup>1</sup>. Samana vuotena teräksen tuotantomäärä oli noin 3 450 000 tonnia. Kun tuonnin ja viennin määrät otetaan huomioon, teräksen käyttömääräksi vuonna 1994 saadaan 2 400 000 tonnia. Siten rakentamisen osuus teräksen käytöstä oli noin 57 %. Tämän perusteella voidaan olettaa, että vastaava osuus terästeollisuutta palvelevan kaivostoiminnan sekä terästeollisuuden jäteistä liittyy rakentamiseen.

## **6 Kierrätettävyys resurssien käytön osatekijänä**

Rakentamisen suhteen lähinnä terästeollisuuden piirissä on merkittävää kehitystyötä kierrätettävyyden arvioinnin ja kierrätyksen tehostamiseksi. Yhtenä perusteena on ollut se, että elinkaariarvioinnin on katsottu kohtelevan rautamalmista valmistettavaa terästä epäoikeudenmukaisesti verrattuna romupohjaiseen teräkseen. Syynä tähän on teräksen käytön jatkuva lisääntyminen ja teräksen lähes täydellinen soveltuvuus kierrätykseen. Käytön lisääntymisen takia romupohjainen teräs ei riitä tyydyttämään kysyntää, joten rautamalmipohjaisen teräksen valmistus on välttämätöntä. Lisäksi teräksen kierrättäminen on yleensä helppoa ja romupohjaisen teräksen valmistaminen kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuin rautamalmipohjaisen.

Useissa alunperin terästeollisuuden tarpeisiin kehitetyissä allokointimalleissa (esim. Anderson & Borg -menetelmä) tarvitaan tarkasteltavan tuotteen kierrätysaste. Kierrätysasteen määrittäminen ei kuitenkaan ole matemaattisesti mitenkään yksiselitteistä. Itse asiassa kierrätysasteella tarkoitetaan elinkaarikeskusteluissa usein ainakin kolmea eri asiaa ottamatta edes tarkemmin kantaa tapaan, jolla kierrätysaste kussakin tapuksessa matemaattisesti määritetään.

Kierrätysasteella voidaan tarkoittaa ainakin

- markkinoilla olevan tai markkinoille tulevan tuotteen kokemusperäistä ja/tai arvioitua kierrätysastetta,
- käytöstä poistettavien tuotteiden tai materiaalien kierrätykseen menevää osuutta (esim. peruskorjauskohteessa),
- kierrätysmateriaalin osuutta tietyn materiaalin tai tuotteen tuotannossa.

Ensimmäisen lähestymistavan ongelmia ovat olemassa olevan tuotteen osalta

- tuotteen yksikäsitteinen määrittely,
- ajallinen ulottuvuus (mistä vuodesta tarkastelu aloitetaan, tuotteen käyttöiän jakauma),
- tiedon saanti vanhojen tuotteiden tuotantomääristä, käytöstä ja kierrätyksestä.

Markkinoille tulevien tuotteiden osalta pääongelma on kierrätysasteen ennustettavuus.

Toisessa lähestymistavassa ei oteta lainkaan huomioon käyttöön jääviä tuotteita, vaan tarkastelu kohdistuu ainoastaan purettaviin tuotteisiin. Tässä lähestymistavassa kierrätysaste on usein enemmän tuoteryhmäkohtainen tai materiaalikohtainen kuin ensimmäisessä. Tarkastelu on yksinkertainen, mutta antaa samalla kierrätyksestä melko suppean kuvan.

Kolmannen lähestymistavan pääongelma on se, että mallin antamat tulokset ovat sidoksissa kysynnässä tapahtuviin muutoksiin.

SCI:ssä (Steel Construction Institute) kierrätysasteesta on tehty laaja tutkimus, mutta yksikäsitteistä mallia ja ratkaisua kierrätysasteelle ei onnistuttu kehittämään. Nykyään kierrätysasteet perustuvat lähinnä laskelmiin, joiden perusteluja ei ole kattavasti dokumentoitu, tai teollisuuden tai yritysten omiin arvioihin.

---

<sup>1</sup> Lehmus, E. & al. 1999. Ympäristötietoa teräsrakentamisesta. VTT Rakennustekniikka. Espoo. 115 s. Julkaisematon.

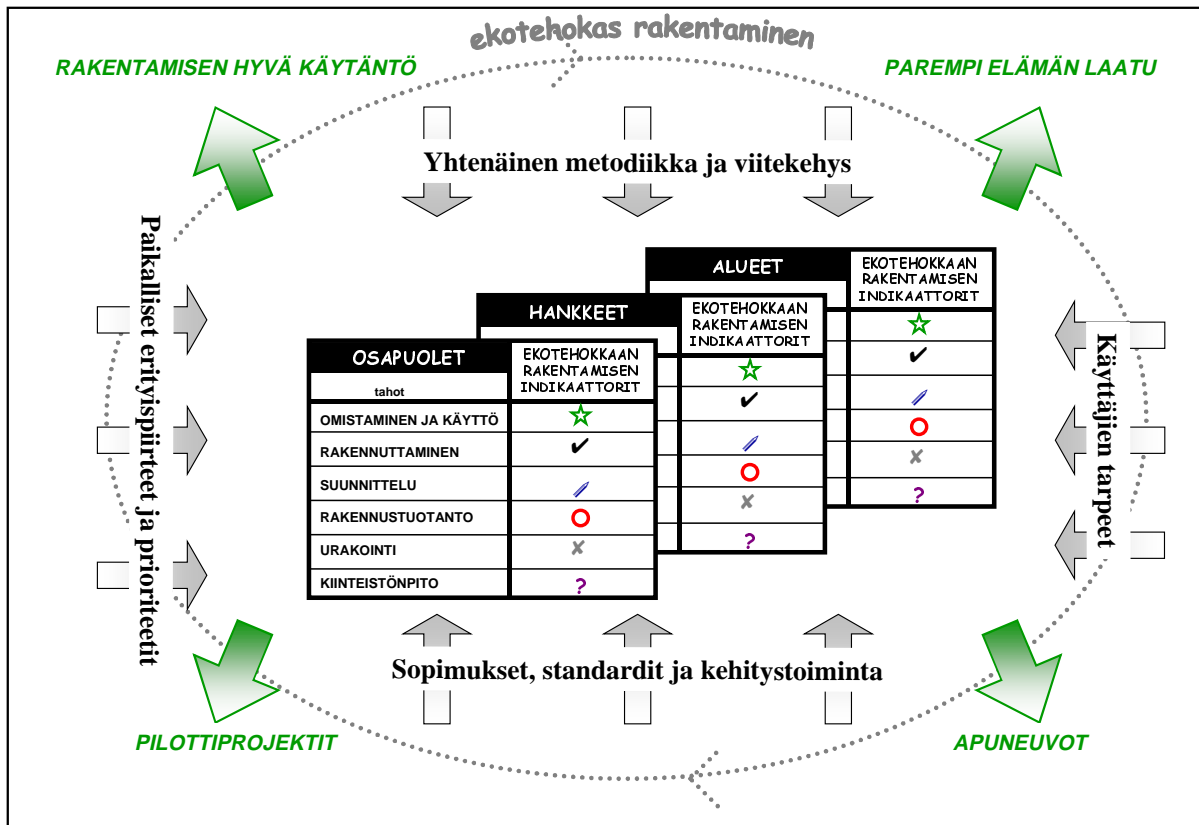
Allokointimallien avulla elinkaariarvioissa voidaan ottaa huomioon materiaalien ja tuotteiden soveltuvuus kierrätykseen. Rautamalmipohjaisen teräksen tapauksessa materiaalisyytteet, energiat ja päästöt voidaan jakaa allokointimallilla useille käyttökerroille. Tämä ei tietenkään lisää kierrätystä todellisuudessa, mutta antaa kuitenkin yhden lisämotiivin tuotekehityksen suuntaamiseksi siten, että kierrätettäviä ratkaisuja suositaan nykyistä enemmän.

# ESIMERKKEJÄ KANSAINVÄLISTEN TYÖRYHMIEN ESITTÄMISTÄ RAKENNUSALAN EKOLOGISISTA INDIKAATTOREISTA

## Green Building Challenge

GBC 2000		Design Performance Assessment		10 Sept. '99																																																	
Office Building		For further information contact: Nils Larsson, U&E IC, Natural Resources Canada at larsson@greenbuilding.ca																																																			
Building Name:	Egregious MegaCentre Ltd.	Office Building	<input checked="" type="radio"/>	Select																																																	
Building Type:	Office Building	Multi-Unit Residential	<input type="radio"/>	Primary																																																	
City & Country:	Toronto, Canada	School	<input type="radio"/>	Building																																																	
				Type																																																	
<table border="0"> <tr> <td>High-level weights:</td> <td></td> <td>Enter Score:</td> <td>Enter Weight:</td> <td>Enter field:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resource Consumption</td> <td>20%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ecological Loadings</td> <td>20%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Secondary Loadings</td> <td>10%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Quality of Indoor Environment</td> <td>20%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Economics</td> <td>10%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Functionality</td> <td>10%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Management</td> <td>10%</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						High-level weights:		Enter Score:	Enter Weight:	Enter field:		Resource Consumption	20%					Ecological Loadings	20%					Secondary Loadings	10%					Quality of Indoor Environment	20%					Economics	10%					Functionality	10%					Management	10%				
High-level weights:		Enter Score:	Enter Weight:	Enter field:																																																	
Resource Consumption	20%																																																				
Ecological Loadings	20%																																																				
Secondary Loadings	10%																																																				
Quality of Indoor Environment	20%																																																				
Economics	10%																																																				
Functionality	10%																																																				
Management	10%																																																				
<table border="0"> <tr> <td>Environmental Sustainability Indicator:</td> <td></td> <td>Weighted score field:</td> <td></td> <td>Formula field:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Criticality Indicator:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Enter text depends on building type:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Environmental Sustainability Indicator:		Weighted score field:		Formula field:		Criticality Indicator:						Enter text depends on building type:																																			
Environmental Sustainability Indicator:		Weighted score field:		Formula field:																																																	
Criticality Indicator:																																																					
Enter text depends on building type:																																																					
<table border="0"> <tr> <td colspan="2">Weighting and scoring</td> <td>Sub-criterion</td> <td>Criterion</td> <td>Category</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Score</td> <td>Weight</td> <td>Score</td> <td>Weight</td> <td>Weight</td> <td>Weight</td> </tr> <tr> <td>(Total 1)</td> <td>(Total 1)</td> <td>(Total 1)</td> <td>(Total 1)</td> <td>(Total 1)</td> <td>(Total 1)</td> </tr> </table>						Weighting and scoring		Sub-criterion	Criterion	Category		Score	Weight	Score	Weight	Weight	Weight	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)																														
Weighting and scoring		Sub-criterion	Criterion	Category																																																	
Score	Weight	Score	Weight	Weight	Weight																																																
(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)	(Total 1)																																																
<b>R RESOURCE CONSUMPTION</b>	<b>0,0</b>																																																				
R1 Consumption of non-renewable energy	M/AOA	0,0	25%	0,00																																																	
R2 Net consumption of biologically productive land	R/AOA	100%	0,0	25%	0,00																																																
R3 Net consumption of potable water	L/AOA	0,0	25%	0,00																																																	
R4 Net consumption of materials		0,0	50%	0,0																																																	
R4.1 Amount of materials used for initial building production		0,0	50%	0,0																																																	
R4.2 Amount of materials recoverable at major refurbishment and decommissioning		50%	0,0	50%	0,00																																																
R4.2.1 Amount of materials re-usable at decommissioning		50%	0,0																																																		
R4.2.2 Amount of materials re-cyclable at decommissioning																																																					
<b>E ECOLOGICAL LOADINGS</b>	<b>0,0</b>																																																				
E1 Emission of greenhouse gases	Kg/AOA	0,0	50%	0,00																																																	
E2 Emission of ozone-depleting substances	Kg/AOA	0,0	25%	0,00																																																	
E3 Emission of gases leading to acidification		8%	0,0	25%	0,00																																																
E3.1 Atmospheric emissions of kg SO <sub>2</sub> equivalent from building production																																																					
E3.2 Annual atmospheric emissions of kgSO <sub>2</sub> equivalent from operations																																																					
<b>S SECONDARY LOADINGS</b>	<b>0,0</b>																																																				
S1 Solid wastes		0,0	25%	0,00																																																	
S2 Liquid wastes		0,0	25%	0,00																																																	
S3 Thermal emissions		0,0	5%	0,00																																																	
S4 Impacts on Site and Adjacent Properties		0,0	25%	0,00																																																	
S5 Minimization of Transportation Impacts		0,0	20%	0,00																																																	
S5.1 Provision of facilities for bicyclists		0,0	0,0	50%	0,0																																																
S5.2 Provision for convenient access to public transport, where available		50%	0,0																																																		
<b>Q QUALITY OF INDOOR ENVIRONMENT</b>	<b>0,0</b>																																																				
Q1 Air Quality and Ventilation		0,0	40%	0,00																																																	
Q2 Thermal Comfort		0,0	25%	0,00																																																	
Q3 Daylighting, Illumination and Visual Access		0,0	25%	0,00																																																	
Q4 Noise and Acoustics		34%	0,0	10%	0,00																																																
Q4.1 Noise attenuation through the building envelope																																																					
Q4.2 Transmission of building equipment noise to principal workplace areas																																																					
Q4.3 Noise attenuation between principal work areas																																																					
<b>E ECONOMICS</b>	<b>0,0</b>																																																				
E1 Life-Cycle Cost of Building	S/AOA	0,0	60%	0,00																																																	
E2 Changes in Economic Value		0,0	40%	0,00																																																	
E2.1 Changes in building asset value		0	100%	0,0																																																	
E2.2 Changes in level of market rents for building		0	0%	0,0																																																	
<b>F FUNCTIONALITY</b>	<b>0,0</b>																																																				
F1 Flexibility and Adaptability		0,0	50%	0,00																																																	
F2 Maintenance of Performance		0,0	30%	0,00																																																	
F3 Controllability of Systems		34%	0,0	20%	0,00																																																
F3.1 Capability for off-hours operation of building technical systems																																																					
F3.2 Capability for personal control over indoor environment at work station																																																					
F3.3 Level of building automation appropriate to system complexity																																																					
<b>M MANAGEMENT</b>	<b>0,0</b>																																																				
M1 Construction Process Planning		0,0	25%	0,00																																																	
M2 Performance Tuning		0,0	25%	0,00																																																	
M3 Building Operations Planning		0,0	25%	0,00																																																	
M4 Transportation Management Planning		0,0	25%	0,00																																																	
M4.1 Measures to promote car-pooling		50%	0,0																																																		
M4.2 Provision of shuttle buses to main public transportation nodes		50%	0,0																																																		

Kuva 1. Green Building Challengeen lähestymistapa ja rakennuksen ekoindikaattorit (draft Sept '99).



Kuva 2. Rakentamisen ekoindikaattorien kehittäminen kansainvälisessä EU-Networkissä (CRISP).