

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Teknillinen tiedekunta  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Timo Siiskonen

**ELINKAARIMALLINTAMISEN SOVELLUSKOHTEIDEN  
TUNNISTAMINEN YRITYKSISSÄ**

Työntarkastajat: TkT, Risto Soukka  
TkL, Raija Lankinen

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Timo Siiskonen

### **Elinkaarimallintamisen sovelluskohteiden tunnistaminen yrityksissä**

Diplomityö

2010

66 sivua, 12 kuvaa, 2 taulukkoa

Tarkastajat: TkT, Risto Soukka  
TkL, Raija Lankinen

Hakusanat: Elinkaariarviointi, elinkaarikustannuslaskenta  
Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC)

Tuotteen tai palvelun aiheuttamien ympäristövaikutusten arvioimiseksi on huomioitava koko elinkaari, eli kaikki vaiheet suunnittelusta, käytöstä poistoon. Elinkaariarviointi on tehokas työkalu tähän tarkoitukseen. Elinkaariajattelua voidaan ympäristövaikutusten lisäksi soveltaa myös kustannuksiin, jolloin pystytään löytämään aidosti kokonaiskustannuksiltaan edullisimpia vaihtoehtoja.

Yritysten ei tarvitse nähdä ympäristöasioita tuotantoa haittaavina kuluerinä, vaan niitä voidaan käyttää myös lisäämään kilpailuetua ja voittoja. Ympäristövaikutusten määrittämisen lisäksi elinkaariarviointia voidaan käyttää mm. tuotekehityksen apuna, tuotannon optimoinnissa, markkinoinnissa sekä kritiikin torjunnassa. Hyvin tehty elinkaarikustannuslaskenta auttaa tunnistamaan tuotteen tai palvelun eri kustannuselementit, ja tätä kautta helpottaa säästötoimien kohdistamista.

Tässä työssä kehitettiin viitekehys, minkä avulla voidaan löytää elinkaariarvioinnin ja elinkaarikustannuslaskennan sovelluskohteita, jotka toisivat mahdollista lisäarvoa tarkastelluille yrityksille. Menetelmää testattiin tapaustutkimuksella kahden esimerkitapausyrityksen avulla. Molemmille tapauksille löydettiin useita erityyppisiä sovelluskohteita. Sovelluskohteiden toteutettavuudesta päättävät yritykset eikä sitä arvioida tässä työssä.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Degree Program in Environmental Technology

Timo Siiskonen

### **Identifying Life Cycle Analyses Applications in Companies**

Master's Thesis

2010

66 pages, 12 pictures, 2 tables

Examiners: D.Sc. (Tech.), Risto Soukka  
Lic.Sc, Raija Lankinen

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Life Cycle Costing (LCC)

To assess the environmental effects of a product or a service, one must take into account the whole life cycle, from design to recycle or final disposal. Life Cycle Assessment is an effective tool for this. In addition to environmental issues, life cycle thinking can be utilized to compare product or service costs in order to find the cheapest total cost alternative.

Companies do not have to see environmental issues as hindrance or money sink, but as an opportunity to gain an advantage and bigger profits. Furthermore, Life Cycle Assessment can also be used in estimation of environmental effects, in product design, optimizing production, as well as, marketing and countering critic. Well executed Life Cycle Costs modeling helps to identify the different cost elements of products or services, and thus helps to focus the saving efforts correctly.

The aim of this study was to develop a framework that could be used to find possible Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing applications, which could bring additional value to the companies. This framework was tested with a case-study approach using two example companies. As a result, multiple applications were found for both companies. However, the utilization of these applications is not assessed in this study, but it is left up to the studied companies to decide whether or not they want to utilize them.

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	2
2 ELINKAARIMALLINTAMINEN .....	4
2.1 Elinkaaren vaiheet .....	4
2.2 LCA – Elinkaariarviointi .....	7
2.2.1 Elinkaariarvioinnin toteuttaminen .....	7
2.2.2 Elinkaariarvioinnin tiedonkeruu .....	17
2.2.3 Vaihtoehtojen vertailu .....	20
2.2.4 Elinkaariarvioinnin ongelmia .....	21
2.3 LCC – Elinkaarikustannuslaskenta .....	22
2.3.1 Elinkaarikustannuslaskennan toteuttaminen .....	23
2.3.2 Epävarmuus- ja herkkyysanalyysi elinkaarikustannuslaskennassa .....	26
2.3.3 Elinkaarikustannuslaskennan tietojenkeruu .....	27
2.3.4 Elinkaarikustannuslaskentamallin käyttö .....	31
3 ELINKAARIMALLINTAMISEN HYÖDYT .....	33
3.1 Elinkaariarvioinnin hyödyntämismahdollisuudet .....	33
3.1.1 Elinkaarimallinnuksen rajaus .....	35
3.1.2 Elinkaarimallintamisen käyttö yrityksissä .....	35
3.2 Elinkaarikustannuslaskennan hyödyt .....	38
4 ESIMERKKIYRITYSTEN TOIMIALOJEN ESITTELY .....	41
4.1 Esimerkkiyritys 1 .....	41
4.2 Esimerkkiyritys 2 .....	43
5 ELINKAARIMALLINTAMISEN SOVELLUSKOHTEIDEN TUNNISTAMINEN .....	45
5.1 Yrityksen 1 SWOT-analyysi ja sovelluskohteiden määrittely .....	47
5.1.1 Yrityksen 1 vahvuuksien osoittaminen elinkaarimallinnusta soveltaen .....	48
5.1.2 Yrityksen 1 heikkouksilta suojautuminen elinkaarimallinnusta soveltaen .....	50
5.1.3 Yrityksen 1 mahdollisuuksien hyödyntäminen elinkaarimallinnusta soveltaen .....	51

5.1.4 Yrityksen 1 uhkakuvien torjuminen elinkaarimallinnusta soveltaen .....	54
5.2 Yritys 2 SWOT-analyysi ja sovelluskohteiden määrittely .....	55
5.2.1 Yrityksen 2 vahvuuksien osoittaminen elinkaarimallinnusta soveltaen .....	56
5.2.2 Yrityksen 2 heikkouksilta suojautuminen elinkaarimallintamista soveltaen .....	57
5.2.3 Yrityksen 2 mahdollisuuksien hyödyntäminen elinkaarimallintamista soveltaen .....	58
5.2.4 Yrityksen 2 uhkakuvien torjuminen elinkaarimallintamista soveltaen .....	59
6 TULOKSET .....	62
7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	63
LÄHTEET .....	65

## 1 JOHDANTO

Viime vuosina ympäristöasiat ovat nousseet selvemmin näkyville ja niihin kiinnitetään yhä enemmän huomiota. Monet ympäristömääräykset (esim. päästörajat) ovat kiristyneet huomattavasti, ja tulevat kiristymään myös tulevaisuudessa. Tämän lisäksi kuluttajat ovat entistä kiinnostuneempia tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksista. Kestävän kehityksen saavuttaminen vaatii tapoja ja työkaluja, jotka auttavat määrittämään ja vertailemaan eri tuotteiden- ja palveluiden ympäristövaikutuksia.

Tuotteita ja palveluita käytetään, koska ne täyttävät jonkun tarpeen. Jokaisella tuotteella on elinkaari. Tuotteen elinkaareen kuuluu suunnittelu, materiaalien keruu ja tuotantoon sekä osien että varsinaisen tuotteen valmistus, käyttö/kulutus ja lopuksi elinkaaren lopun vaiheet, kuten keräys / lajittelu, uusiokäyttö, kierrätys, jätteiden hävitys. Kaikki toiminta tai osaprosessit tuotteen elinkaaren aikana aiheuttavat ympäristövaikutuksia johtuen raaka-aineiden kulutuksesta, päästöistä luontoon ja muista ympäristö muutoksista kuten säteilystä. (Rebitzer et al. 2004, 701-702)

Ympäristövaikutuksien osalta tuotteiden ja palvelujen vaikutusketjut ovat usein pitkiä ja monimutkaisia näennäisesti yksinkertaistenkin tuotteiden kohdalla. Elinkaarimallintaminen on kehitetty juuri tuotteiden ja palveluiden kokonaisvaikutusten tutkimiseen. Tarkastelu voidaan jakaa kahteen osaan, elinkaariarviointiin, joka keskittyy elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin, sekä elinkaarikustannuslaskentaan, mikä puolestaan selvittää elinkaaren aikaisia kustannuksia. (ISO 14040, 2006, 12-47)

Yritys saa huomattavaa markkinaetua, jos se pystyy osoittamaan, että sen tuote on ympäristöystävällisin vaihtoehto. Elinkaariarvioinnilla on mahdollista tuottaa hyvinkin tarkka selvitys tuotteen elinkaaren aikaisista syötteistä ja tuotoksista, joten sitä voidaan hyödyntää myös muuhun, kuin pelkkään ympäristövaikutusten arviointiin. Esimerkiksi, kun tiedetään tarkasti, minkä verran materiaaleja kuluu tuotannon missäkin vaiheessa, on helpompaa keskittää materiaalitehokkuuden parantamiseen tähtäävät kehitystoimet oikeaan kohtaan elinkaarta.

Paitsi olemassa olevien palveluiden sekä tuotteiden analysoinnin ja vertailun lisäksi elinkaariarviointi on myös tehokas uusien tuotteiden suunnittelun apuväline. Tällöin voidaan kohtuullisen tarkasti arvioida syntyviä päästöjä, jolloin niihin pystytään puuttumaan jo suunnitteluvaiheessa.

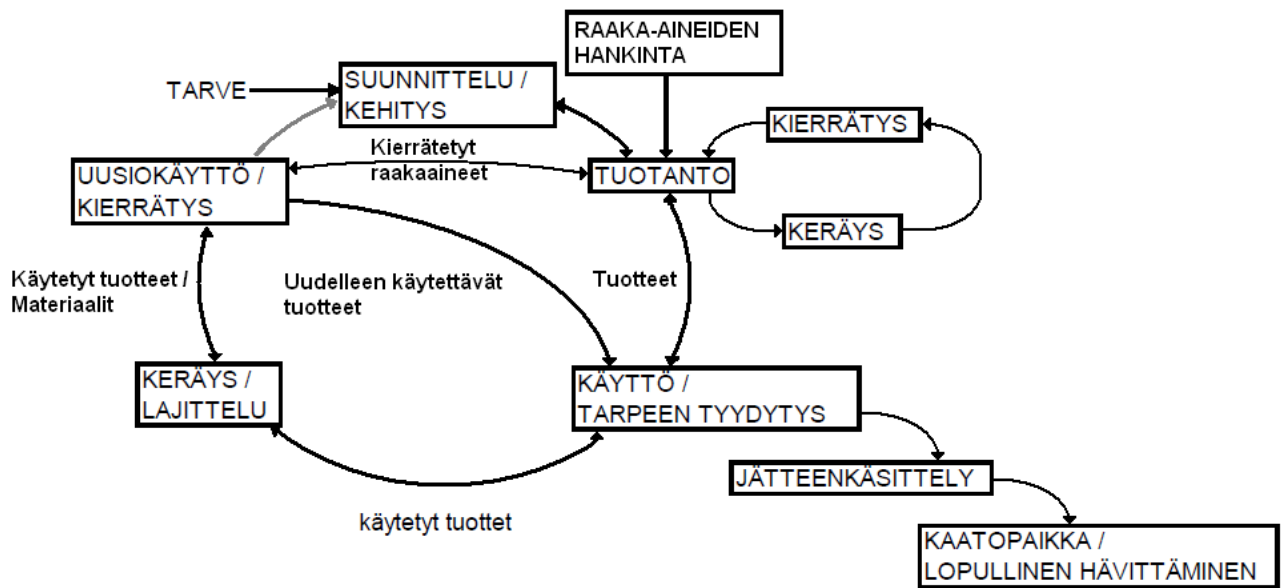
Työn tavoitteena oli kehittää keino hyötyjen tunnistamiseksi yrityksissä. Työssä kehitettyä menetelmää testattiin tapaustutkimuksena kahdelle esimerkkiyritykselle. Työn alkuosassa esitellään elinkaariarvioinnin ja elinkaarikustannuslaskennan periaatteet. Esittelyssä on pyritty tuomaan esille seikkoja, joita on hyvä huomioida mallinnusta tehtäessä, ja mitkä ovat mahdollisia ongelmakohtia. Tämän lisäksi on tarkemmin esitelty eri elinkaariarvioinnin ja -kustannuslaskennan -hyödyntämistapoja, ja pohdittu niiden toteuttamiskelpoisuutta. Työn empiirisessä osassa on kahden esimerkin avulla pyritty osoittamaan, kuinka elinkaarimallintamista voitaisiin käytännössä soveltaa ja mitä hyötyjä tarkastelulla voitaisiin saavuttaa.

## **2 ELINKAARIMALLINTAMINEN**

Tässä työssä elinkaarimallintamisella viitataan käsittelytapaan, jossa huomioidaan tuotteen tai palvelun elinkaaren vaiheita riittävän laajalta ajalta, jotta haluttu tulos saadaan selvitettyä. Elinkaarimallintamisella kuvataan siis tuotteen tai palvelun koko elinkaarta laajasti sen sijaan, että keskityttäisiin esimerkiksi vain käytön aiheuttamiin vaikutuksiin tai kustannuksiin. Elinkaarimallintaminen voidaan jakaa kahteen osaan. Elinkaariarviointiin, mitä sovelletaan ympäristövaikutusten selvittämiseen, sekä elinkaarikustannuslaskentaan, millä selvitetään elinkaaren aikaisia kustannuksia.

### **2.1 Elinkaaren vaiheet**

Jotta voitaisiin tehokkaasti ja systemaattisesti vaikuttaa tuotteiden ja palveluiden aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, täytyy huomioida kaikki oleelliset aine- ja energiavirrat. Tarkoituksena on tunnistaa ja määrittää kaikki ympäristövaikutukset, jotka liittyvät tuotteeseen. Koko tuotteen elinkaari on huomioitava, eli niin sanottu kehdestä – hautaan lähestymistapa. Tällä tavoin elinkaariarviointi tunnistaa, millä elinkaaren vaiheilla on suurimmat ympäristövaikutukset, ja parannustoimenpiteet voidaan keskittää niihin. (Andersson et al. 1998, 89.) Kuvassa 1 on esitetty tuotteen elinkaari elinkaarimallintamisen näkökulmasta. Kuvan keskeiset vaiheet on esitelty tarkemmin myöhemmissä kappaleissa.



**Kuva 1.** Tuotteen elinkaari (mukaillen Rebitzer et al. 2004, 702).

Kuvassa 1 esitetyn mukaisesti tuotteen elinkaari alkaa suunnittelusta. Elinkaariarviointia tehtäessä, suunnittelu ja kehitysvaihe jätetään yleensä pois, koska niiden ympäristövaikutukset oletetaan vähäisiksi. Elinkaarikustannuslaskennassa puolestaan suunnittelulla on suurempi merkitys, koska laitteen valinta määrää suuren osuuden sen elinkaarikustannuksista. On kuitenkin hyvä huomioida, että suunnittelussa tehdyt päätökset vaikuttavat huomattavasti myöhempien vaiheiden ympäristövaikutuksiin. Esimerkiksi auton suunnitteluvaihe pääasiassa määrää auton polttoaineenkulutuksen ja päästöt kilometriä kohden, sekä kuinka helppoa tai vaikeaa auton kierrätys on elinkaaren lopussa. Tämän takia, jos elinkaarimallinnusta on tarkoitus käyttää suunnittelun apuna (yksi tärkeimmistä sovelluskohteista), on se tehtävä mahdollisimman ajoissa, jotta siitä saataisiin suurin mahdollinen hyöty. (Rebitzer et al. 2004, 701-702)

Raaka-aineiden hankinta käsittää kaikki tarvittavien raaka-aineiden hankkimiseen liittyvät toiminnot ja niiden ympäristövaikutukset. Esimerkiksi puiden kaataminen tai öljynporausta kuljetuksineen hankintapaikalta jalostukseen kuuluvat tähän vaiheeseen. (Vigon et al. 1993, 9) Raaka-aineet puolestaan voidaan jakaa uusiutuviin ja uusiutumattomiin. Raaka-aineiden jako voidaan tehdä myös suoriin ja epäsuoriin materiaaleihin. Suorat materiaalit käytetään tarkasteltavan tuotteen komponenttien tai

itse tuotteen tekemiseen, kun taas epäsuorat liittyvät tuotannossa tarvittavien koneiden ja rakennusten infrastruktuurin rakentamiseen ja ylläpitoon. (Linnanen et al. 1994, 110-112)

Riippuen tuotteesta, raaka-aineiden hankinnalla voi olla helposti suurimmat ympäristövaikutukset koko elinkaareissa, kuten on esimerkiksi korujen kohdalla. Raaka-aineiden hankinnalla on usein myös suurimmat vaikutukset biodiversiteettiin, esimerkiksi hakkuilla, kaivoksilla ja viljelmillä syntyvien ympäristövaikutuksien kautta. Sosiaalisia vaikutuksia arvioidessa raaka-aineiden hankinnan merkitys korostuu, koska usein ne hankitaan köyhemmiltä alueilta tai vaarallisista työolosuhteista. (Vigon et al. 1993, 67-74)

Tuotanto puolestaan jaotellaan usein kolmeen vaiheeseen. Alkutuotanto eli tuotteen komponenttien tai materiaalien jalostus voi olla esimerkiksi öljyn jalostus muoviksi tai puun jalostus selluksi. Tuotannosta syntyy lähes aina hylkyä, jota prosessista riippuen voidaan käyttää uudestaan joko samassa tehtaassa tai muualla. (Vigon et al. 1993, 9, 74-77)

Tuotannon toisena vaiheena on varsinaisen tuotteen valmistaminen. Ongelmana on se, että lähes kaikki tuotantolaitokset tuottavat yleensä useampaa kuin yhtä tuotetta, joten laitoksen päästöistä on tietty osuus allokoitava eli kohdennettava tarkastelun kohteena olevalle tuotteelle. (Vigon et al. 1993, 9, 77-79)

Tuotannon kolmas vaihe on tuotteen pakkaaminen ja jakelu. Tähän vaiheeseen sisältyvät kaikki tuotteen pakkauksen valmistamiseen tarvittavat materiaalit ja energiat, sekä, myyntiin tai kuluttajille kuljettamiseen tarvittavat energiat. Pakkauksen tarkoituksena on suojata tuotetta kuljetuksen aikana, ja osa tuotteista vaatii useamman pakkauksen kuljetuksen ajaksi. Jotkin tuotteet vaativat myös erityiskuljetuksia, kuten kylmäkuljetuksia, mikä nostaa tuotteen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. (Vigon et al. 1993, 9 79-81)

Käyttövaihe sisältää tuotteen käytön aikana kuluvat energia- ja materiaalivirrat, esimerkiksi paristot, polttoaineet, akkujen lataukset jne. Käyttöön sisältyvät myös

mahdolliset huollot ja varastoinnit. Yksi suurimpia ongelmia on laitteiden, kuten pesukoneiden ja kylmäkoneiden energiankäytön arviointi, koska tämä riippuu suuresti laitteiden oikeaoppisesta käytöstä ja käyttöasteesta. Niinpä näiden vaiheiden osalta joudutaan usein käyttämään tilastollisia tietoja. (Vigon et al. 1993, 9, 82-84)

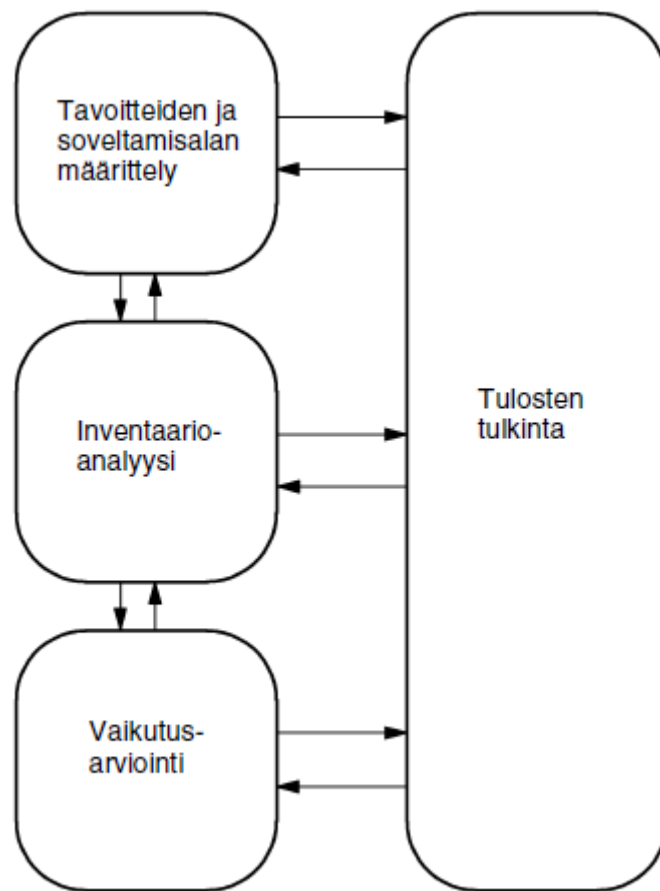
Kun laite on tullut elinkaarensa päähän, eikä sen korjaaminen ole enää mahdollista tai taloudellisesti kannattavaa, on se poistettava käytöstä. Käytöstä poisto sisältää tuotteen hävittämisen ympäristövaikutukset. Hävittämisen osalta voidaan huomioida myös ympäristövaikutuksia pienentävät tekijät, kuten tuotteen osittainen tai täydellinen kierrätys. Kierrätyksellä tuotetta tai sen sisältämiä materiaaleja voidaan käyttää uudelleen joko samaksi tuotteeksi (kuten pullot) tai muiksi tuotteiksi (kuten metalliromu). (Vigon et al. 1993, 9, 84-85)

## **2.2 LCA – Elinkaariarviointi**

Elinkaariarvioinnin (LCA – Life Cycle Assessment) avulla voidaan arvioida tuotteen elinkaaren aikana tapahtuvat / aiheutuvat ympäristövaikutukset. Näitä vaikutuksia on mm. ilmastonmuutos, otsonikato, savusumu, rehevöityminen, happamoituminen, myrkkujen rasittavuus ihmistenterveydelle ja ekosysteemeille, luonnonvarojen loppuminen, vedenkäyttö, maankäyttö ja melu. (Rebitzer et al.2004, 701-702) Elinkaariarviointi antaa edellytykset kuormituksen systemaattiseksi vähentämiseksi. Liiketaloudellisesti elinkaarella tarkoitetaan useasti tuotteen asemaa markkinoilla, eli esittely kasvu, kypsyys ja taantuma. Eli välittömästi yrityksen kontrollissa olevia vaiheita suunnittelusta myyntiin. Ympäristön kannalta tämä tarkastelu on kuitenkin vajavainen. (Linnanen et al. 1994, 110-112)

### **2.2.1 Elinkaariarvioinnin toteuttaminen**

Elinkaariarviointi koostuu kolmesta päävaiheesta. Nämä ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaario analyysi ja vaikutusarviointi. (SFS-EN ISO 14040. 2006, 22) Näiden lisäksi tehdään myös tulosten tulkinta sekä kriittinen arviointi.



**Kuva 2.** Elinkaariarvioinnin vaiheet (ISO 14040 s. 24)

### 2.2.1.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely ja rajaukset

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely esittää kuvauksen tuotantojärjestelmästä, järjestelmän rajojen ja toiminnallisen yksikön muodossa. (Rebitzer et al. 2004, 703-704) Ennen arvioinnin aloittamista on määriteltävä, mikä on arvioinnin kohde ja tavoite. Tämän perusteella pystytään tekemään tarvittavat rajaukset, jotta haluttuun tulokseen päästään. (Vigon et al. 1993, 8) Tutkittava tuote / toiminta muodostaa kokonaisuuden, johon sisältyy kaikki sen elinkaarenvaiheet sekä kaikki syötteet (aineet, energia yms.). Tutkimuksen aluksi on määriteltävä rajat, joiden sisällä olevat vaiheet huomioidaan tutkimuksessa. Tutkimuksen tavoite ratkaisee, kuinka tarkkaa tietoa käytetään tai edellytetään. Jos tavoitteena on osoittaa, että tuote ansaitsee jonkin ympäristömerkin, ei yleensä ole tarpeen tehdä niin laajaa selvitystä, kuin jos tavoitteena on etsiä parannuskohteita tuotteeseen. (Pedersen et al. 1993, 27) Tällä on myös suuri

vaikutus resursseihin. Jos karkeampi vastaus on riittävä, voidaan aluksi tutkimus tehdä kohtuullisen nopeasti ja edullisesti. (Linnanen et al. 1994, 116-118.) Vaikka mallinnus tehtäisiin aluksi pienemmillä resursseilla, voidaan tulosta systemaattisesti parantaa myöhemmin, kun saadaan tarkempia tietoja käyttöön. Toisaalta hyvin ja laadukkaasti (laajasti) tehtyä mallinnusta on mahdollista soveltaa useissa käyttökoh-teissa, kysymys onkin siitä kuinka nopeasti tutkimus on saatava valmiiksi ja kuinka paljon siihen voidaan käyttää resursseja.

Soveltamisalan määrittelyssä otetaan kantaa tutkimuksen aikajänteeseen ja maantieteelliseen sijoittuvuuteen. Monet ympäristövaikutukset näkyvät luonnossa vasta pidemmän ajan kuluttua, joten on tärkeää, että vaikutuksia tutkitaan riittävän pitkän ajan päähän. (Linnanen et al. 1994, 116-118) Joskus on mahdollista käyttää tarkasteluun lyhyehköä ajanjaksoa, jos voidaan selkeästi osoittaa, että ollaan kehittämässä tai on jo olemassa teknologia joka voi käsitellä kyseisen päästön tehokkaammin, kuin mikä on tällä hetkellä mahdollista. Lyhyen ajan vaikutuksia voidaan ennustaa kohtuullisella tarkkuudella, kun taas mitä pidempää tarkastelu-aikaa käytetään, sitä epätarkemmiksi ennusteet muuttuvat. Esimerkiksi ilmastonmuutokseen vaikuttaa paljon ennen tätä hetkeä aiheutuneet päästöt, sekä myös tämän hetken jälkeen syntyvät päästöt. Mutta lukuisista eri ilmastomuutokseen vaikuttavista aineista osa säilyy ja vaikuttaa pitkään kun taas toiset ovat kohtuullisen lyhytikäisiä. Tämän takia tarkasteluajan pituus vaikuttaa merkittävästi tuloksiin. (Pedersen et al. 1993, 30-32) Otetaan esimerkiksi 2 kg päästö, joka koostuu 50% hiilidioksidista ja 50% metaanista. Kun verrataan kuinka se vaikuttaisi ilmastomuutokseen kahdenkymmenen ja viidensadan vuoden tarkastelujaksolla. Kahdenkymmenen vuoden aikana hiilidioksidin vaikutuskerroin, eli GPW (Global Warming Potential) on 1 ja metaanin 72. (Solomon et al. 2007, 212) Tästä seuraa, että päästön kokonaisvaikutus voidaan laskea yhtälön 1 mukaan

$$\sum m_{aine} * GWP_{aine} \quad (1)$$

Missä

$m_{aine}$  = tarkasteltavan aineen massa

$GWP_{aine}$  = tarkasteltavan aineen ilmastomuutosvaikutus kerroin

Joten,

$$1\text{kg} * 1\text{CO}_{2,GWP} + 1\text{kg} * 72\text{CH}_{4,GWP} = 73\text{CO}_{2,ekvivalenttia}$$

Kahdenkymmenen vuoden aikana esimerkkipäästö vaikuttaa siis ilmastonmuutokseen yhtä paljon kuin 73 kg hiilidioksidi päästö. Viidellesadalle vuodelle metaanin vaikutuskerroin on 7.6 (Solomon et al. 2007, 212).

Joten,

$$1\text{kg} * 1\text{CO}_{2,GWP} + 1\text{kg} * 7,6\text{CH}_{4,GWP} = 8,6\text{CO}_{2,ekvivalenttia}$$

Viidensadan vuoden aikana esimerkkipäästön ilmastonmuutosvaikutus olisi siis sama kuin 8,6 kg hiilidioksidia. Joten tarkasteluajanjakson pituudella voi olla suuri merkitys, kuinka merkittäviä mikäkin osapäästö on.

Vastaavia muutuskertoimia on olemassa myös muille ympäristövaikutuksille. Kerroimien käyttö on aina dokumentoitava tarkasti, koska uuden tutkimustiedon avulla ne tarkentuvat kokoajan ja siksi olisi hyvä, jos alkuperäiset määrät olisivat saatavilla uusia laskelmia varten. (Pedersen et al. 1993, 39-40)

Joskus ympäristövaikutukset rajoittuvat vain kohtuullisen pienelle alueelle tai hyvin pienelle alueelle kuten melu ja hajuhaitat. Tällöin täytyy määritellä tarkasti, mitä maantieteellistä aluetta käytetään, koska se vaikuttaa olennaisesti kuinka haitalliset päästöt ovat. Energiantuotannon suhteen on yleensä käytettävä toimittaja tai maakoh- taisia keskiarvoja, jolloin sijainti luonnollisesti määrittää mahdolliset vaihtoehdot. (Pedersen et al. 1993, 30-32)

Valinnat ja oletukset, jotka vaikuttavat järjestelmän rajoihin ja siihen mitä prosesseja valitaan rajojen sisälle, ovat usein ratkaisevia elinkaariarvioinnin tutkimuksen tuloksen kannalta. Useiden asiantuntijoiden mielestä elinkaariarvioinnille voidaan nähdä kaksi tavoitetta. Ensinnäkin kuvata tuotantojärjestelmä ja sen ympäristövaihdot tai toiseksi kuvata, miten ympäristövaihtojen voidaan olettaa muuttuvan, kun järjestel-

mään tehdään muutoksia. Ympäristövaihoilla tarkoitetaan tuotejärjestelmän rajat ylittävää energia- ja/tai materiaalivirtaa. (Rebitzer et al. 2004, 704-705)

Tuotantojärjestelmään kuuluvien prosesseja voi selvittää kahdella tavalla. Eli valitaan ne prosessit, joiden katsotaan vaikuttavan merkittävästi tutkittavaan tuotteeseen ja sen toimintaan. Käytännössä tämä tarkoittaa, että materiaali ja energiavirtoja seurataan järjestelmällisesti ylöspäin aloittaen toiminnallisen yksikön vaatimista syötteistä ja päätyen raaka-aineiden hankintaan. Yleensä yläpuoliset virrat oletetaan täysin joustaviksi, eli yhden tuotteen tarpeeseen tuotetaan vain yksi tuote, siihen liitetyvin päästöin ja resurssien kulutuksin. Muita asiakkaita tai sovelluskohteita ei huomioida. Samaan tapaan alaspäin suuntautuva tarve on myös täysin joustava, yhden tuotteen tuotanto johtaa yhden tuotteen kuluttamiseen. Tähän eivät vaikuta muut vastaavat tuotteet, jotka toteuttavat saman toiminnallisen yksikön. (Rebitzer et al. 2004, 705-706)

Toinen tapa on ottaa mukaan ne prosessit, joihin muutosten oletetaan vaikuttavan lyhyellä / pitkällä aikavälillä. Järjestelmän rajojen määrittely riippuu siitä, miten markkinoiden voidaan olettaa reagoivan tutkittavana olevaan muutokseen kun huomioidaan:

- Tuotanto ja kulutus eivät ole koskaan täysin joustavia. Tämä tarkoittaa, että jonkin tuotteen tuotanto tässä elinkaareissa vaikuttaa sen tuotteen kuluttamisen toisessa elinkaareissa
- Yksittäiset tuottajat tai markkinat voivat olla rajoitettuja, jolloin kasvu tuotteen kulutuksessa ei välttämättä vaikuta niihin, sekä
- Muutos tuotteen kulutuksessa on usein niin pieni verrattuna kokonaismarkkinoihin, että se vaikuttaa vain marginaalisesti

(Rebitzer et al. 2004, 705-706)

Toiminnallisen yksikön tärkein tehtävä on määrittää, mitä vaihtoehtoisia tavaroita tai palveluita voidaan verrata. Se ei yleensä ole vain tietty määrä materiaalia, vaan nimensä mukaisesti joku toiminto. Toiminnallinen yksikkö siis tyydyttää jonkin tarpeen. (Rebitzer et al. 2004, 703-704) Esimerkiksi tietyn vahvuinen valaistus, ostosten kuljettaminen kotiin kaupasta tai vaikka 1000 paria kuivattuja käsiä. Toiminnalliselle yksikölle on aina määriteltävä, mitkä ovat toiminnallisen yksikön

laatukriteerit; käsien kuivauksen tapauksessa esimerkiksi nopeus, mukavuus ja hinta. Laatukriteerit asettavat lopulliset rajat sille, kuinka paljon resursseja toiminnallisen yksikön toteuttamiseen vaaditaan, eli käsien kuivaamiseksi riittävän nopeasti, edullisesti ja mukavasti. Kriteerien avulla voidaan myös valita vertailtavat toiminnot, jotka pystyvät toteuttamaan saman toiminnallisen yksikön. (esim. käsipaperi, kankainen pyyhe tai puhallin)

Toiminnallinen yksikkö ei siis yleensä ole mikään tietty yksittäinen tuote. Jos halutaan verrata kahta pesukonetta keskenään, ei pesukonetta voida valita toiminnalliseksi yksiköksi. Jotta pesukoneet voisivat olla toiminnallisena yksikkönä, olisi niiden pestävä samanlaista pyykkiä niiden elinkaaren aikana. Tämä ei kuitenkaan yleensä ole mahdollista, koska pyykkiä ovat erilaisia. Näin ollen toiminnalliseksi yksiköksi valitaan tietty määrä likapyykkiä, mikä pitäisi saada pestyä sovittujen kriteerien mukaan. Toiminnallinen yksikkö ei välttämättä ole sama kuin tutkittava kohde. (Pedersen et al. 1993, 28)

Toiminnallisen yksikön koolla ei ole suurta merkitystä, koska hyvin tehty elinkaari skaalautuu toiminnallisen yksikön koon mukaan. Esimerkiksi, jos tarkastellaan käsien kuivatuksen tarvitsemaa energiamäärää, ei ole merkitystä oliko alkuperäisenä funktionaalisen yksikön kokona yksi, tuhat vai miljoona käsiparia. Kun tarve muuttuu, niin myös aiheutuvat päästöt muuttuvat oikeassa suhteessa. (Rebitzer et al. 2004, 705)

### *2.2.1.2 Inventaarion analyysi*

Elinkaari-inventaarion tarkoituksena on arvioida raaka-aineiden kulutusta sekä jätevirtojen ja päästöjen määriä, jotka syntyvät elinkaaren aikana tai johtuvat jollain tavoin elinkaaresta, kun tuotetaan yksi toiminnallinen yksikkö. Resurssien kulutus ja päästöjen synty voi tapahtua monissa eri kohteissa ja alueilla ympäri maailmaa, sekä mahdollisesti osina jonkin yksittäisen tehtaan tuottamista päästöistä. (Rebitzer et al. 2004, 703-705)

Kaikissa oleellisissa (tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelemissä) elinkaaren vaiheissa aiheutuvat päästöt, resurssien kulutus sekä muut mahdolliset ympäristövaihdot

taulukoidaan. Täydellistä elinkaarta, jossa on siihen liittyvät materiaali- ja energiavirrat, kutsutaan tuotejärjestelmäksi. Kun tiedot kootaan, taulukoidaan ja suoritetaan alustava arviointi kaikista ympäristövaikutuksista (päästöt, raaka-aine kulutus) saadaan elinkaari-inventaario. (Rebitzer et al. 2004, 703-704) Päästöjen tarkempi laadullinen arviointi tehdään vaikutusarvioinnissa. Yleisimmin inventaarioanalyysi käsittää tuotteen koko elinkaaren, mutta tarpeen mukaan tarkastelualuetta voidaan rajata myös suppeammaksi. (esim. tehtaan sisäiseksi portilta portille) (Vigon et al. 1993, 79)

Jotta tutkittava systeemi olisi helpommin hallittavissa, jaetaan se usein osaprosesseihin, joista jokainen edustaa yhtä tai useaa toimintaa kuten tuotanto, kuljetus ja myynti. Osaprosessit liittyvät toisiinsa välituotevirtojen kautta. Osaprosessien avulla on yleensä helpompi hahmottaa, mitä tietoja mallinnuksen tekemiseksi vaaditaan. Kun on selvitetty jokaisen osaprosessin vaatimat syötteet, ja tiedetään kuinka paljon kyseisen prosessin tuotosta tarvitaan vertailtavaan toiminnalliseen yksikköön, voidaan laskea koko systeemin massa- ja energiataseet. (Linnanen et al. 1994, 119-122; Rebitzer et al. 2004, 704-705)

Lähes aina on tilanne, jossa tehdas tuottaa useampaa tuotetta. Päästöt on jaettava tutkittavalle tuotteelle. Päätuote on toiminnalliseen yksikköön liittyvä tuote, sivutuotteet eivät tähän liity. (Pedersen et al. 1993, 36) Yksi ratkaisu on tarkentaa systeemiä niin paljon, että siitä voidaan havaita vain tarkasteltavalle tuotteelle kohdistuvat päästöt. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista ja johtaa helposti huomattavan suureen työmäärään. Toinen vaihtoehto on teoreettisesti jaotella vaihtoehdot sen mukaan, kuinka paljon kunkin tuotteen valmistamiseen tarvitaan syötteitä. (Rebitzer et al. 2004, 706) Kolmas yleisesti käytetty tapa on käyttää markkina-arvoa. Markkina-arvon käytössä hyvänä puolena on se, että tuotetta tuotetaan juuri sen arvon takia, eli se on myös syynä päästöjen syntyyn. Ongelmana on, että markkina-arvot vaihtelevat ja niihin vaikuttaa mm. verotus ja monopolit, joten niiden vertailtavuus ei ole tarkkaa. (Pedersen al. 1993, 36.) Neljäs tapa on tehdä jaottelu fyysisten ominaisuuksien suhteen (energiasisältö, massa jne.). (Rebitzer et al. 2004, 706) Massa on yleensä helpoin tapa mutta aiheuttaa helposti virheitä prosesseissa, jossa tuotteen massa on

huomattavan pieni suhteessa sivutuotteisiin tai jätteisiin (esim. lääketieteellisyys). (Linnanen et al. 1994, 119-122.)

Riippuen tavoitteista, elinkaariselvitys saattaa olla valmis inventaarioanalyysin jälkeen. Voidaan esimerkiksi havaita, että uuden tuotteen raaka-ainekustannukset ja päästöt ovat kaikissa elinkaaren vaiheissa pienemmät, kuin vanhan tuotteen, eikä vaikutusarviointille näin ollen ole enää tarvetta. (Linnanen et al. 1994, 119-122; Rebitzer et al. 2004, 703-704)

### *2.2.1.3 Vaikutusten arviointi*

Elinkaarivaikutusarviointi tuottaa indikaattorit ja perusteet, joiden avulla voidaan arvioida raaka-aineiden hankinnan, jätteiden ja päästöjen aiheuttamat potentiaaliset vaikutukset eri vaikutusluokkiin (vaikutusluokkia on esimerkiksi ilmastonmuutos, myrkyllisyys, melu, maankäyttö jne.) Vaikutus voidaan ilmoittaa esimerkiksi muodossa, kuinka monta ihmiselinvuotta menetetään ilmastomuutoksen, syöpää aiheuttavien aineiden ja muiden vastaavien vaikutuksien takia tai esimerkiksi kuinka paljon hiilidioksidia tuote tuottaa. Ympäristövaikutusten vähentämisessä on usein kyse kompromisseista. Jos tuotteella on pienemmät hiilidioksidipäästöt, sen valmistukseen joudutaan mahdollisesti käyttämään enemmän myrkyllisiä aineita, minkä takia sillä on puolestaan suurempi myrkyllisyysvaikutus. (Rebitzer et al. 2004, 703-704) Vaikutusarviointiin voidaan liittää myös sosiaalisten vaikutusten tai esimerkiksi asuinoloihin vaikuttavat asiat kuten melu, riippuen mitä elinkaariarvioinnin tavoitteissa ja soveltamisalassa on määritelty. (Vigon et al. 1993, 7-8)

Vaikutusarviointi perustuu stressitekijöihin. Stressitekijä on muutos tai muutosten ryhmä, mikä voi johtaa ”vaikutukseen”. Esimerkiksi tyypillinen seurattava päästö on rikkidioksidi, joka voi johtaa happosateeseen joka puolestaan voi johtaa esimerkiksi jonkin vesistön happanemiseen, mikä taas voi johtaa lopulliseen vaikutukseen eli eliöiden mahdolliseen kuolemiseen kyseisestä vesistöstä (biodiversiteetin väheneminen). (Vigon et al. 1993, 7-8)

Vaikutusarviointi koostuu kolmesta pakollisesta vaiheesta. Ensimmäinen on vaikutusluokkien, vaikutusluokkaindikaattoreiden ja karakterisointimallien valinta. (SFS-

EN ISO 14040. 2006, 36) Tällöin soveltamisalan määrittelyn mukaan valitaan sellaiset vaikutusluokat, että halutut tavoitteet voidaan selvittää, esimerkiksi kasvihuonekaasut. Keskeistä onkin valita millä perusteella luokittelu tehdään. (Linnanen et al. 1994, 122-125)

Syötteitä voidaan jakaa esimerkiksi seuraavasti. Energia mitattuna megajouleina tai kilowattitunteina, ehkä lajiteltuna sen mukaan millä ne on tuotettu, eli hiili-, öljy-, maakaasu-, tuuli-, aurinko-, ydinvoima jne. Yksi tapa on tehdä myös jako uusiutuviin ja uusiutumattomien tuotantomuotojen välille. Toisaalta elinkaarimallinnusohjelmat käyttävät useasti eri maiden energiantuotannon mukaan laskettuja keskiarvoja. Materiaalisyötteet mukaan lukien vesi ja muut tukimateriaalit voidaan usein mitata painon ja/tai tilavuuden mukaan. (Pedersen et al. 1993, 36-37)

Syötteiksi voidaan lukea myös ei materiaaliset luonnonresurssit, kuten uhanalaisten lajien elinympäristöt, kulttuurisesti merkittävät kohteet, historialliset kohteet, maisemalliset kohteet. Näiden käyttö tai tuhoutuminen, on tilanteesta riippuen huomioitava. Näihin sisältyy myös kaikki muut kohteet, joita ei voida uudistaa. Tilan kulutuksella voi alueista riippuen olla suurikin merkitys esim. tiet, kaatopaikat, mutta myös satelliittien ratapaikat, sekä esimerkiksi tietoliikennetaajuudet. (Pedersen et al. 1993, 36-37)

Päästöt puolestaan voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti. Kiinteät päästöt ilmoitetaan yleensä kiloissa (tonneissa) jokaista eri ainetta kohden, nestemäisistä tai liuenneista päästöistä yleensä määrä ja pitoisuus jokaista ainetta kohden, kaasumaisista ja ilmassa leijuvista päästöistä, määrä ja pitoisuudet tiettyä ainetta kohden. Tavoitteiden määrittelystä riippuen myös energiapäästöt on huomioitava. Eli se osuus energiasta, mikä ei sitoudu tuotteeseen tai jätteeseen mm. hukkalämpö, melu, värinä, valo, sähkömagneettinen ja radioaktiivinen säteily. Toinen tapa luokitella päästöjä on jakaa ne sen mukaan, miten ne vaikuttavat ekosysteemeihin kuten ilmastomuutos, otsonikato, ekomyrkyllisyys, raskasmetallit, happamoituminen, rehevöityminen, lämmön päästäminen vesistöihin. Ihmisiin suoraan liittyvät vaikutukset, kuten allergiat ja terveysvaikutukset, ärsyttävät melu, värinä, pöly ja haju sekä

häiriöt maku- tai näköaisteissa. Elottomiin rakenteisiin ja koneisiin kohdistuvat vaikutukset, kuten vauriot värinästä, ruostuminen pöly. (Pedersen et al. 1993, 37-38)

Toinen vaihe on inventaarioanalyysin tulosten sijoittaminen valittuihin luokkiin eli luokittelu. (SFS-EN ISO 14040. 2006, 34) Ekotaseessa listatut aineet ryhmitellään eri luokkiin sen mukaan mihin ne vaikuttavat eniten, tai mitä vaikutusta halutaan seurata. (Linnanen et al. 1994, 122-125) Luokittelun tarkoituksena on vähentää ympäristökuormituksen ilmoittamiseen tarvittavien lukujen määrää. Tämä tehdään yhdistämällä samalla tavalla haitallisia aineita. Eli jos tavoitteena on seurata tuotteen ilmastomuutosta aiheuttavaa vaikutusta, kaikki siihen liittyvät aineet voidaan yhdistää ja ilmoittaa, kuinka paljon ne kokonaisuudessaan vaikuttavat kasvihuoneilmioon, esimerkiksi CO<sub>2</sub>-ekvivalenteina, sen sijaan että ilmoitetaan erikseen. (Linnanen et al. 1994, 122.) Tämä tehdään vaikutuskertoimien avulla. Aineen vaikutus tiettyyn ympäristöongelmaan saadaan kertomalla ekotaseen aineen määrä sen vaikutuskertoimella. Vaikutuskertoimien määrittämiseksi tehdään jatkuvasti työtä, joten niiden tarkkuus paranee. Luokittelu ja vaikutuskertoimien määrittäminen on elinkaaritutkimuksen perustutkimusta, ja niihin on saatavilla valmiita tietoja, joten niitä ei tarvitse tehdä jokaisessa elinkaariarvioinnissa uudestaan. (Linnanen et al. 1994, 122-125)

Kolmas ja viimeinen pakollinen vaihe on vaikutusluokan indikaattoritulosten laskenta ja luonnehdinta. (SFS-EN ISO 14040. 2006, 34) Luokittelun ja vaikutusvoimakkuuden määrittämisen jälkeen tiedetään (saadaan arvio), kuinka jokin tuote vaikuttaa tiettyyn ympäristöongelmaan. Tämä luku ei vielä kuitenkaan välttämättä ole kovin hyödyllinen. Mielekkäämmäksi tulos saadaan normalisoimalla se tietylle alueelle. Normalisointi voidaan tehdä suhteuttamalla tutkittavan kohteen taloudellinen merkitys (eli esimerkiksi päästöoikeuksien hinta) alueen bruttokansantuotteeseen. Normalisointi ei kuitenkaan ole pakollista. (SFS-EN ISO 14044. 2006, 50; Linnanen et al. 1994, 122-125)

Kun vaikutusluokkien tulokset on laskettu, voidaan eri tutkittavia vaihtoehtoja verrata keskenään, mikäli se on tarpeen haluttujen tuloksien saavuttamiseksi. Jos jokin vaihtoehto on paras kaikilla eri parametreilla, on arviointi yksinkertaista. Näin asia ei kuitenkaan yleensä ole vaan eri vaihtoehdot ovat parempia eri parametreilla, joten eri

parametrien tärkeys pitää huomioida tarkasteltavan tilanteen kannalta. Yleensä tämä tehdään suunnitteluvaiheessa, jotta resursseja ei käytetä liikaa epäoleellisten tietojen tarkkuuden parantamiseen / keräämiseen. (Pedersen et al. 1993, 40-44)

Yksi tapa käsitellä tuloksia on määrittää painokertoimet eri ympäristövaikutusluokille. Painokertoimien määrittäminen on subjektiivista ja se tulisi aina tehdä yleisesti hyväksytyjen periaatteiden mukaan. Tällöin tutkimuksen tulokset ovat vertailukelpoisia useimpien muiden tutkimusten kanssa. (Linnanen et al. 1994, 122-125)

Osassa tapauksista yksi parametri voidaan valita pääparametriksi, joka on tärkeämpi kuin muut vaihtoehdot. Tämä on tosin osittain vastoin elinkaariarvioinnin perusajattusta kokonais kuvan saamisesta prosessista, mutta voi olla käytännöllinen joissain tilanteissa, jos halutaan esimerkiksi löytää vähiten hiilidioksidipäästöjä aiheuttava prosessi. Tällöin riittää, että tarkastellaan ainoastaan hiilidioksidipäästöjä. Parhaaksi vaihtoehdoksi voi kuitenkin suppealla tarkastelulla tulla esimerkiksi vaihtoehto, joka käyttää huomattavasti enemmän uusiutumattomia raaka-aineita kuin toiseksi paras vaihtoehto. Koska tämä ei ole elinkaariarvioinnin hengen mukaista, eikä yleensä kovinkaan hyödyllistä ympäristön tai minkään muun kannalta, ei millekään parametrimille pitäisi antaa absoluuttista arvoa. Sitä vastoin eri parametreja tulisi huomioida erilaisilla painokertoimilla tilanteesta ja käyttötarkoituksesta riippuen. Vaikka painotuksia ei voikaan tehdä täysin tieteellisin perustein, voidaan niiden tueksi kuitenkin hankkia tietoa ja perusteluita, joiden avulla voidaan myös muillekin osoittaa miksi painotukset on tehty. (Pedersen et al. 1993, 38)

### **2.2.2 Elinkaariarvioinnin tiedonkeruu**

Tiedonkeruu ja koostaminen ovat usein isoin tehtävä elinkaariarvioinnissa. Kaikissa tuotantojärjestelmissä on yleensä muutamia vaiheita, jotka ovat samoja kaikissa elinkaariarvioinnissa, kuten energiantuotanto, kuljetukset, jätteiden käsittely, ja yleisten kemikaalien käsittely ja tuotanto. Maailmanlaajuisten markkinoiden takia monet näistä prosesseista ovat samankaltaisia tai jopa identtisiä on sitten kyseessä öljyn pumppaus tai teräksen valmistus. Muut prosessit yleensä osoittavat tyypillisiä malleja, kansallisia tai alueellisia piirteitä, kuten sähköntuotanto, tiekuljetukset,

betonintuotanto, maatalous. Tämän takia tietokantoja, jotka sisältävät korkealaatuista (läpinäkyvää ja yhtenäistä) tietoa, käytetään usein apuna elinkaariarvioinneissa, etenkin jos tarkoitus on tehdä useampia mallinnuksia. (Rebitzer et al. 2004, 706-707)

Koska tiedonkeruu on hidasta ja aikavievää, on ennen varsinaista mallinnusta hyvä tehdä tarkistus käyttäen karkeita tietoja. Tarkoituksena on selvittää, mitä kaikkia tietoja tarvitaan kattavan mallin tekemiseksi. Tämä vaihe kannattaa kuitenkin tehdä huolella. Joissain tapauksissa jo alustava tutkimus riittää antamaan parannusehdotuksia tai auttaa kehittämään järjestelmää. Hyvin tehty tarkistaminen nopeuttaa myös varsinaisen arvioinnin tekemistä, ja sen avulla voidaan mahdollisia ongelmakohtia havaita hyvissä ajoissa. Kun ongelmakohdat havaitaan ajoissa, voidaan niihin myös puuttua heti tutkimuksen alussa ja näin vältetään turhaa työtä (Pedersen et al. 1993, 25)

Laadukkainta tietoa saadaan yleensä suoraan mittauksista, haastatteluista tai tutkimalla tuotannon kirjanpitoa. Aika ja resurssit eivät kuitenkaan yleensä riitä tällaisen tutkimuksen tekemiseen, ja ainakin osa tiedoista joudutaan ottamaan kirjallisuudesta, aiemmista tutkimuksista sekä tietokannoista. Usein prosessista voidaan laskea tietoja, mitkä ovat laadultaan parempia kuin kirjallisuudesta ja lähdeteoksista otetut tiedot, koska ne vastaavat varmasti tutkittavan kohteen tilannetta. Valitettavan usein on kuitenkin turvaututtava arviointeihin, jotta kaikki tarvittavat tiedot saadaan kerättyä. Hyvillä perusteilla arvioitu tieto on kuitenkin käyttökelpoisempaa kuin ei tietoa olenkaan. (Pedersen et al. 1993, 25)

Tietoa voidaan kerätä seuraavista lähteistä:

- Omista mittauksista
- Haastatteluista ja kirjallisuudesta
- Teoreettisista malleista
- Tietokannoista
- Laillisista maksimiarvoista
- Perustelluista arvauksista

Yleensä eri lähteistä hankitut tiedot tukevat ja täydentävät toisiaan. (Pedersen et al. 1993, 45)

Koska kerätyt tiedot ovat harvoin suoraan käyttökelpoisessa muodossa, pitää ne käsitellä. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa yksiköiden muuttamista yhteensopiviksi. tiedon laatua voidaan tarkkailla vertaamalla eri lähteistä saatua tietoa. (Pedersen et al. 1993, 25)

Parametrit, joilla on korkeimmat absoluuttiset painoarvot, ovat myös tärkeimmät tiedonkeruun kannalta, koska valinta tehdään näiden parametrien pohjalta. Vertailevissa tutkimuksissa on tärkeää keskittää tiedonkeruu niihin elinkaarenvaiheisiin, mitkä eroavat vertailtavien tuotteiden välillä toisistaan. On tärkeää, että tietojen määrä ja laatu ovat vastaavat tutkittavien kohteiden välillä, jotta arviointi voidaan suorittaa tasapuolisesti. (Pedersen et al. 1993, 44-45)

Tärkeimmät tiedon laatuun vaikuttavat tekijät

- Onko data edustavaa käytetylle teknologiatasolle
- Edustavaa maantieteelliselle alueelle
- Soveltuvuus tutkittavalle prosessille
- Ei ainoastaan keskiarvoja vaan myös näytteitä ja niiden jakaumia
- Kerätyt massa- ja energiataseet
- Kerätty riittävän pitkän ajan kuluessa yleensä vähintään vuosi
- Kerätty edustavasta määrästä yrityksiä

(Pedersen et al. 1993, 44-45)

Kerätään tietoa sitten yhtä tutkimusta varten tai tietokannan tekoon, on siinä omanlaisensa ongelmat. Tutkittavan kohteen omistajalla tai käyttäjällä ei välttämättä ole aiempaa kokemusta vastaavasta tiedonkeruusta. Perinteisesti ympäristötietoja kerätään koko yrityksen tasolla, ei yksittäisistä toiminnoista. Mallintamisen tekijällä ei myöskään välttämättä ole aiempaa kokemusta kyseisestä toiminnosta, joten molemminpuolista oppimista täytyy tapahtua, jotta elinkaariarvioinnin kannalta oleelliset tiedot saadaan kerättyä. Jokaisessa prosessissa, mikä tuottaa useampaa kuin yhtä tuotetta / palvelua, täytyy tehdä valintoja sen välillä, miten syötteet ja tuotokset jaetaan eri tuotteille. Teknisessä mielessä sopivia mittauspisteitä ei välttämättä ole olemassa. Osa tiedoista on mahdollisesti yrityksen mielestä arkaluontoista eikä niitä haluta ilmoittaa yleiseen käyttöön. (Rebitzer et al. 2004, 707)

### 2.2.3 Vaihtoehtojen vertailu

On mahdollista kuvitella vaihtoehtoja kaikille elinkaaren vaiheille. Vaihtoehtoja on eritasoisia, eri tuotantotavat ja/tai materiaalit saman tuotteet tuotannossa, eri mutta vertailtava tuote tai täysin erilainen tuote/palvelu, joka suorittaa saman tehtävän. Käytettävissä olevista resursseista riippuen tutkimuksen alussa kannattaa vaihtoehtoja ottaa mukaan mahdollisimman monia. Niitä voi myöhemmissä vaiheissa jättää pois, kun selviää, että ne eivät ole selkeitä kilpailevia tuotteita tutkittavalle toiminnalle. (Pedersen et al. 1993, 29)

Toiminnallisen yksikön määrittely määrittelee viimekädessä sen, mitä tuotteita voidaan verrata. Kriteereistä riippuen voi olla mahdollista verrata kahta pesulaa, joiden toimitusajoissa on eroa. Jos pyykin puhtaudessa on eroja, ei vertailu välttämättä onnistu. Kuitenkin on huomioitava, että viimekädessä kuluttaja kuitenkin päättää, mitä tuotteita tai palveluita voidaan verrata keskenään. Eli mitä tuotteita tai palveluita ihmiset ovat valmiita ostamaan. Toisaalta nykyisin kuluttajat ovat entistä enemmän ympäristötietoisia, joten ainakin osa saattaisi hyväksyä hieman himmeämmät vaatteen, jos niiden pesuun olisi käytetty ympäristöystävällisiä pesuaineita tai hitaammat toimitukset, jos kuljetukset tehtäisiin esim. pyörällä eikä autolla. (Pedersen et al. 1993, 29)

Vaihtoehtoilta voi olla samoja vaiheita keskenään tai ne voivat olla kokonaan erilliset. Mitä enemmän eriäviä askeleita vertailukohteilla on, sitä vaikeammaksi ja laajemmaksi mallinnus muuttuu. Siksi kannattaa käyttää vaihtoehtoja, jotka vaikuttavat vain yhteen elinkaaren vaiheeseen. (Pedersen et al. 1993, 29-30)

Koska tekniikka kehittyy ja muuttuu usein luontoa säästävämpään suuntaan (pienempi materiaalien tarve, pienemmät päästöt), on se huomioitava jotenkin. Teknologiat voidaan jakaa eri tasoihin seuraavasti. (Pedersen et al. 1993, 32-33) Vertailtavilla toiminnoilla on tärkeää käyttää saman tasoisia teknologioita.

- Huonoin teknologia on teknologiaa, joka aiheuttaa suurimmat haitalliset ympäristövaikutukset. Lähinnä näitä käytetään vertailuna osoittamaan, kuinka paljon parempi jokin uusi teknologia olisi.
- Keskivertoteknologiasta on helpointen saatavissa tietoa kirjallisuudesta ja se on yleisimmin tällä hetkellä käytössä. Valitettavan usein nämä teknologiat ovat kuitenkin yleensä suhteellisen vanhoja. Etenkin nopeasti kehittyvillä aloilla nämä saattavat olla huonointa mahdollista teknologiaa.
- Moderni teknologia kuvaa teknologiaa, mitä tällä hetkellä yleensä käytetään uusissa laitoksissa. Tarkkojen tietojen saaminen voi olla hankalaa, koska näitä tekniikoita ei vielä yleensä ole ollut käytössä pitkiä aikoja.
- Marginaaliset teknologiat ovat teknologioita, joita käytetään, kun tuotantomääriä joudutaan säätämään. Hyvä esimerkki on huippuvoimaa tuottavat pienet kaasuturbiinivoimalaitokset. Marginaalisten teknologioiden osuutta on erittäin vaikea arvioida ilman hyvin tarkkoja tietoja alueellisista olosuhteista. Tasoltaan ne voivat myös olla huonoa tai jopa kehittyneintä teknologiaa.
- Paras saatavilla oleva tekniikka eli BAT (Best Available Technology) soveltuu vertailukohteeksi, kun käytetään pitkää tarkastelu-aikaa tai erityisen ympäristöystävällisiä lähtökohtia. Joissain tilanteissa on mahdollista käyttää vertailussa myös parasta teknisesti mahdollista tekniikkaa, eli käytännössä juuri kehitettyjä tai kehitteillä olevia laitteita, joita ei vielä ole käytössä missään, mutta joille on määritettävissä päästöarvot. (Pedersen et al. 1993, 32-33)

#### **2.2.4 Elinkaariarvioinnin ongelmia**

Epäsäännöllisten asioiden kuten hajoamisten, onnettomuuksien, epäsäännöllisten päästöjen ja väärinkäytösten, arvioiminen on vaikeaa. Ne voivat tapahtua missä tahansa elinkaaren vaiheessa. Vaikutukset on kuitenkin huomioitava jollakin tavalla. Yleensä ainut tapa on käyttää tilastollisia menetelmiä ja arvioida kuinka usein epäsäännöllisyys tapahtuu tarkastelujakson aikana. Nämä ovat usein erittäin hankalia arvioida tarkasti ja vaativat usein hyvin pitkällistä seurantadataa kohtuullisten arvioiden tekemiseksi. Epäsäännöllisten tapahtumien vaikutukset voivat kuitenkin olla

suuret, joten ne olisi hyvä yrittää arvioida mahdollisimman tarkasti resurssien sallimissa puitteissa. (Pedersen et al. 1993, 33-34)

Myös elinkaariarvioinnissa on kiinteä pääoma otettava huomioon. Kiinteällä pääomalla tarkoitetaan tässä yhteydessä tuotteen tai palvelun tuottamiseksi tarvittavia koneita ja laitteita. Vaikka nämä eivät kokonaan kulu prosessissa, on ne pitänyt jossain vaiheessa tuottaa, lisäksi ne tarvitsevat korjauksia ja ylläpitoa, sekä jossain vaiheessa uusimista. Kaikesta tästä aiheutuu ympäristövaikutuksia. (Pedersen et al. 1993, 33-34)

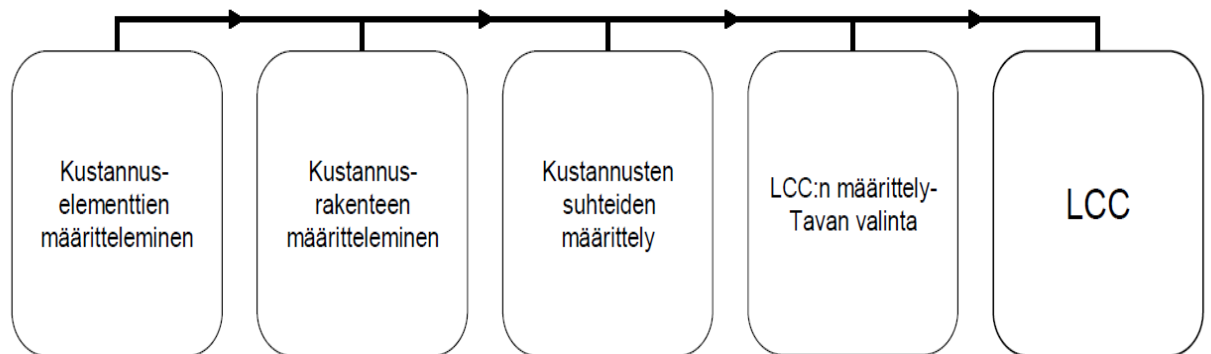
Usein elinkaariarvioinnin yksinkertaistamiseksi ja nopeuttamiseksi mallintamisesta jätetään joitain osia pois. Poisjättäminen on aina iso riski ja saattaa vaikuttaa tuhoisasti lopputulokseen, joten poisjättämiselle on aina oltava jokin hyvä perustelu. Ennemmin arvioinnissa tulisi käyttää vaikka epämääräisempiä tietoja, joita voidaan myöhemmin tarkentaa. (Pedersen et al. 1993, 33-34)

### **2.3 LCC – Elinkaarikustannuslaskenta**

Ympäristövaikutusten arvioinnin lisäksi elinkaariajattelua voidaan tehokkaasti soveltaa myös tuotteiden ja palveluiden kokonaiskustannusten määrittämiseen. Monet yritykset, niin yksityisellä kuin julkisella sektorilla, tekevät hankintoja ainoastaan hankintahinnan perusteella. Valitettavan harvat tekevät valinnan elinkaarenaikaisten kustannusten mukaan. Elinkaarikustannuslaskenta (LCC – Life Cycle Costing) voidaan määritellä seuraavasti: ”Elinkaarikustannus tuotteelle, on summa kaikista tuotteen tukemiseen käytetyistä varoista, koko sen elinkaaren ajalta suunnittelusta ja tuotannosta käytön kautta tuotteen hävittämiseen”. Elinkaarikustannuslaskennan tavoitteena on siis; investointivaihtoehtojen tehokkaampi vertailu huomioiden kaikki kustannukset ei vain alustavat pääomakustannukset, avustaa projektien tehokkaassa hallinnassa ja helpottaa edullisimman vaihtoehdon löytämistä. (Woodward. 1997, 335, 337)

### 2.3.1 Elinkaarikustannuslaskennan toteuttaminen

Tuotteen elinkaarikustannuslaskenta alkaa siitä vaiheesta, kun sen hankintaa ensimmäistä kertaa suunnitellaan ja loppuu siihen, kun se poistuu käytöstä. Tarpeen mukaan elinkaarikustannuslaskenta voidaan suorittaa vai joillekin elinkaaren osille. (IEC 60300-3-3, 2004, 8) Elinkaarikustannuslaskennan tarkoituksena on siis optimoida hankinnasta, omistamisesta ja käytöstä syntyviä kuluja tunnistamalla ja määrittämällä kaikki elinkaareen liittyvät merkittävät kustannukset. Kuvassa 3 on esitetty elinkaarikustannuslaskentaan yleisemmin liittyvät vaiheet. (Woodward, 1997, 335)

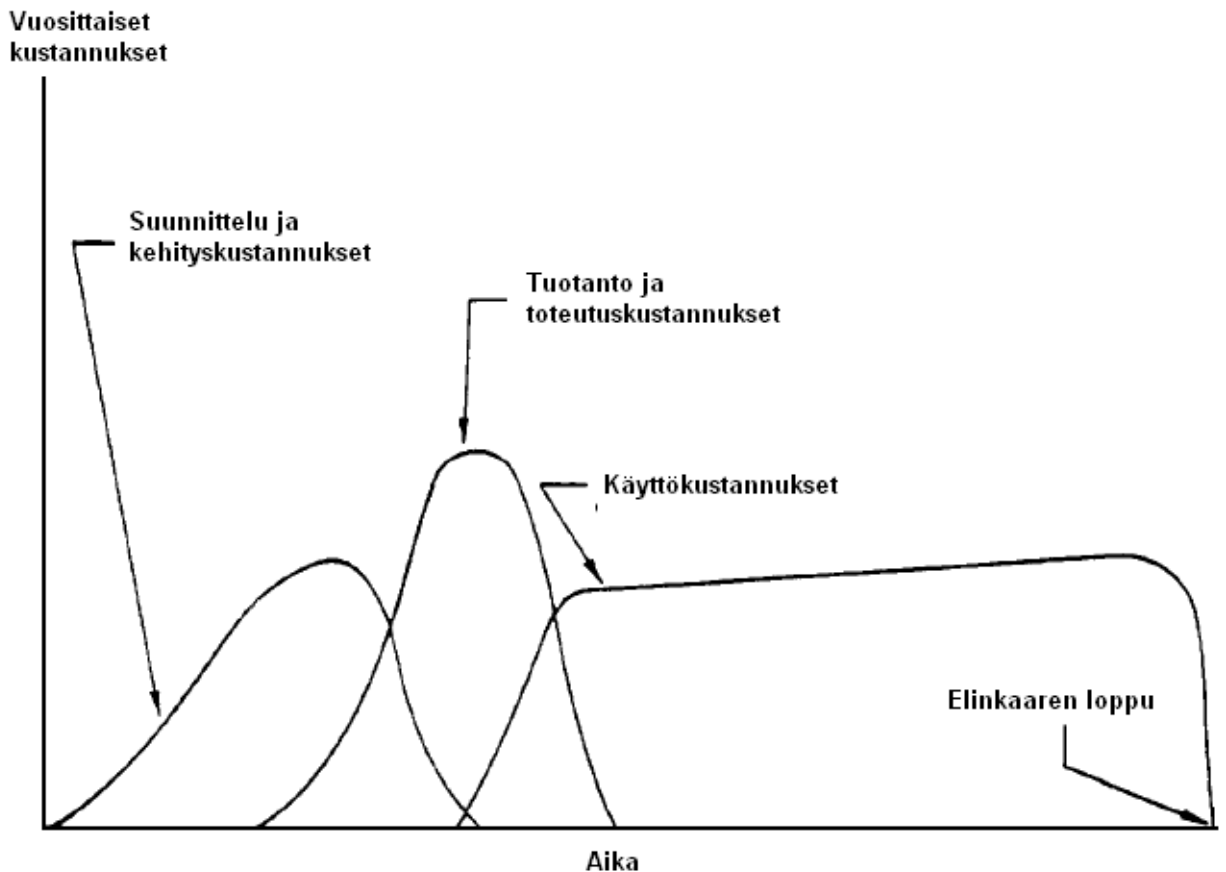


**Kuva 3.** Elinkaarikustannuslaskennan toteuttamisen vaiheet. (mukaiillen Woodward, 1997, 336)

Kustannuselementit ovat kaikki rahavirratt, jotka tapahtuvat tutkittavan kohteen elinkaaren aikana. Yleisesti on hyväksytty, että kaikki kustannukset pitäisi huomioida, kuitenkin on erimielisyyksiä niiden tarkasta tunnistamisesta. (Woodward, 1997, 336)

Kustannusrakenteen määrittelyssä kustannukset ryhmitellään niin, että voidaan tunnistaa mahdolliset kompromissit ja siten saavuttaa optimaalinen elinkaarikustannus. Kustannusrakenteen luonne riippuu siitä kuinka tarkka ja laaja elinkaarikustannuslaskenta on tarkoitus tehdä ja kuinka monia eri vaihtoehtoja verrataan. Kuten kuvassa 4 on esitetty, kustannukset voidaan jakaa esimerkiksi kolmeen luokkaan suunnittelu ja tuotekehitys, tuotanto ja käyttöönotto sekä viimeisenä vaiheena käyttö. Tämä ei kuitenkaan ole ainut vaihtoehto, vaan tilanteen niin vaatiessa voidaan käyttää esimerkiksi jaottelua: käyttö, omistus ja hallinto. Tarvittaessa voidaan tehdä myös

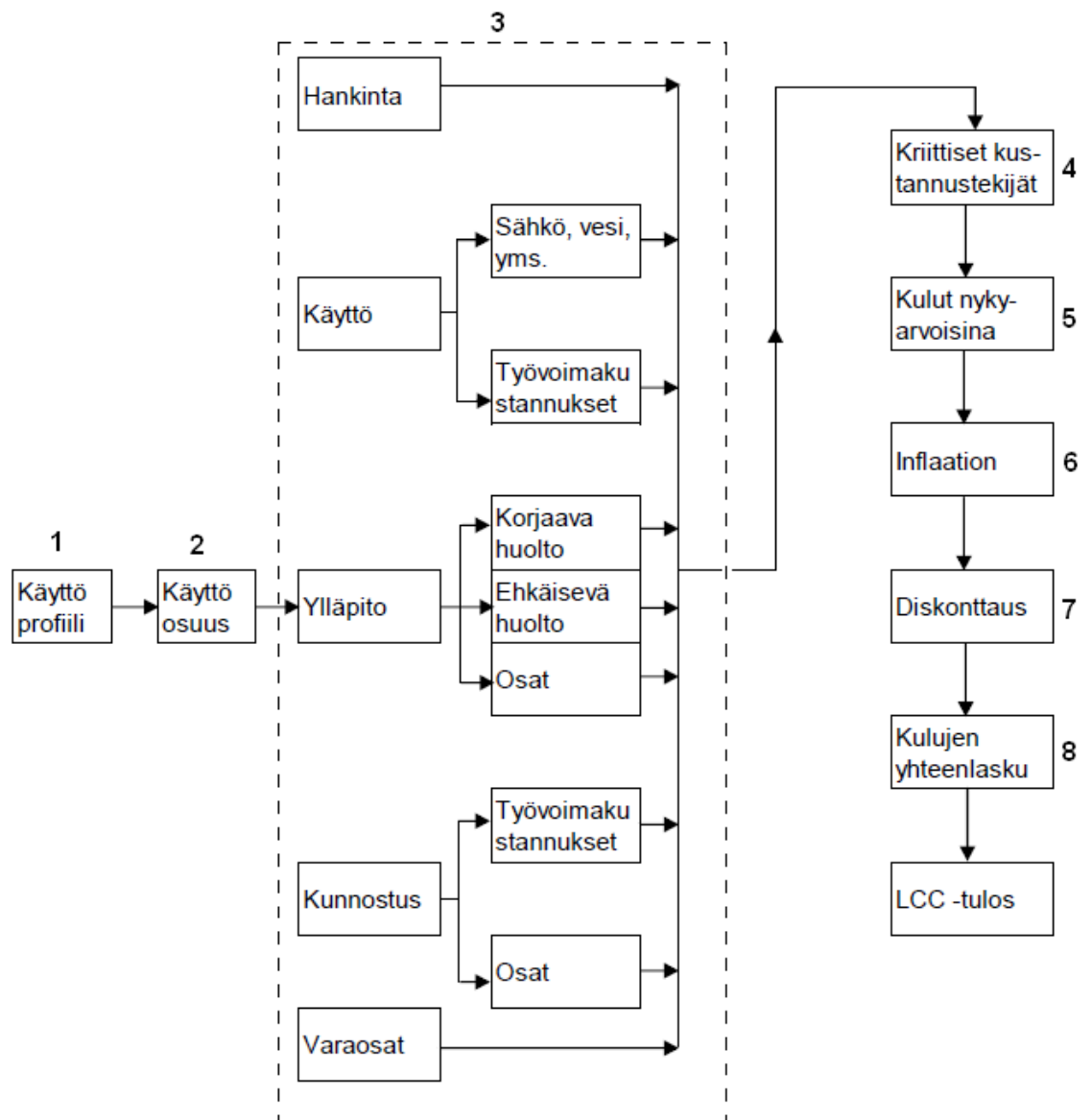
tarkempi jaottelu, konsepti ja määrittely, suunnittelu ja kehitys, tuotanto, asennus, käyttö ja ylläpito sekä hävitys. (IEC 60300-3-3 2004, 8-9). Tärkeintä on, että rakenne on suunniteltu siten, että tarvittavat vertailut halutuissa kohteissa voidaan suorittaa. (Woodward. 1997, 336)



**Kuva 4.** Tuotteen kustannusten muodostumisen jaottelu (mukaiillen Woodward. 1997, 336)

Kustannusten suhteiden määrittely on matemaattinen malli, mikä kuvaa arviointitar-koituksessa, tuotteen tai palvelun kustannukset yhden tai useamman muuttujan avulla. Aiemmin kerätty kustannusdata on yleensä näiden arvioiden pohjana. (Woodward. 1997, 336)

Elinkaarikustannuslaskentamenetelmän valinnan tarkoituksena on valita sopiva me- netelmä, mikä kuvaa tutkittavan tuotteen / palvelun elinkaarikustannuksia. Yksi yleisimmin käytetty ja eniten testattu on Kaufmanin esittämä malli, joka on nähtävissä kuvassa 5. (Woodward. 1997, 336)



**Kuva 5.** Kaufmanin esittämä malli LCC menetelmäksi (mukaillen Woodward. 1997, 337)

*Vaihe 1* Käyttöprofiili, kuvaus suoritteesta minkä laite tekee, käyttöprofiili osoittaa milloin laite on käytössä ja milloin ei, sisältäen käynnistykset, käytön ja pysäytykset.

*Vaihe 2.* Käyttöosuus, kertoo kuinka paljon laitetta käytetään missäkin aikaosuudessa. Käyttövaiheen aikana laitetta ei välttämättä käytetä 100 % ajasta.

*Vaihe 3.* Kustannuselementit. Kaikki elinkaaren aikaiset kustannukset tunnistetaan.

*Vaihe 4.* Kriittiset kustannusparametrit, mitkä kontrolloivat, kuinka paljon kustannuksia aiheutuu laitteen elinaikana. Näitä ovat mm:

- Vikojen välinen aika
- Kunnostusten välinen aika

- Korjausten välinen aika
- Suunniteltujen huoltojen välinen aika
- Energian käyttö

*Vaihe 5.* Kaikki kustannukset lasketaan nykyarvossa

*Vaihe 6.* Kustannukset muutetaan tuleviksi kustannuksiksi huomioiden inflaatio. Vaikka inflaation arviointi täysin tarkasti on mahdotonta, on pyrittävä mahdollisimman hyvään arvioon, koska tarkkuuden puute tässä voi johtaa virheellisiin johtopäätöksiin laitteiden kokonaiselinkaarikustannuksista.

*Vaihe 7.* On huomioitava, että rahalla on myös ajallinen arvo, ja kassavirrat, jotka tapahtuvat eri aikoina pitäisi diskontata vertailuhetkeen. Sopivan diskonttausprosentin valinta voi olla ongelmallista.

*Vaihe 8.* Kun kaikki rahavirrat lasketaan yhteen, saadaan selvitettyä elinkaarikustannukset millä perusteella vaihtoehtoisia laitteita ja toimintoja voidaan verrata.

(Woodward. 1997, 337)

### **2.3.2 Epävarmuus- ja herkkyysanalyysi elinkaarikustannuslaskennassa**

Elinkaarikustannuslaskennassa joudutaan käyttämään paljon oletuksia ja arvioita, joita tehdään tiedonkeruun yhteydessä. Vaikka tarkkuutta voidaankin parantaa aiemman tiedon ja tilastollisten menetelmien avulla, liittyy niihin aina tietty epävarmuus. Suurimmat epävarmuustekijät ovat:

- Erot oletetun ja toteutuneen suorituskyvyn välillä, ja niiden vaikutus tulevaan käyttöön ja ylläpitokustannuksiin
- Muunnokset laitteissa ja käyttäjien toimenpiteistä johtuvat muutokset toiminnassa
- Uudet tekniset kehitykset mitkä voivat tarjota kustannustehokkaamman vaihtoehdon lyhentäen näin taloudellista ikää
- Muutokset tärkeiden resurssien hinnoissa kuten työvoimassa ja energiassa
- Arviointivirheet raaka-aineiden hinnoissa sekä inflaatiossa arviointiajanhetkellä verrattuna siihen kuinka pitkään laitteita käytetään
- Lakien ja asetusten muuttuminen

(Woodward. 1997, 339-340, IEC 21-22)

Toistaiseksi herkkyysanalyysin teko elinkaarikustannuslaskentaan on vaikeaa, mutta herkkyysanalyysi tulee laajemmin käyttöön, kun käytetyt ohjelmistot pystyvät suorittamaan sen tehokkaammin. Elinkaarikustannusanalyysissä voi olla muutamia keskeisiä parametreja, missä esiintyy epävarmuutta, johtuen yleensä käytetyn tiedon riittämättömyydestä. Seuraaville osioille olisi hyvä tehdä herkkyysanalyysi.

- Ylläpitokertojen tiheys
- Laitteen käytön määrän vaihtelu
- Järjestelmän sisäisen vianmäärityksen taso
- Korjaavan ylläpidon viemän ajan suhteen vaihtelu käyttötuntien suhteen
- Tuotteen kysynnän vaihtelu
- Tuotteen jakeluaika
- Diskonttaus prosentti

(Woodward. 1997, 339-340)

### **2.3.3 Elinkaarikustannuslaskennan tietojenkeruu**

Elinkaarikustannuslaskennassa tarvittavat tiedot saatetaan kerätä yrityksessä, jolloin riittää että, kun tietoja hieman järjestellään uudelleen. Eli tietokantoja päivitetään tarvittavan kohteen mukaiseksi. Joissain tapauksissa on tarpeen lisätä rekisterit joihin tarpeelliset tiedot voidaan tallentaa. Tärkeintä on pitää tarkat tiedot yrityksen nykyisistä varoista. Tätä tietoa tarvitaan, jotta voidaan seurata todellisia toteutuneita kuluja suhteessa elinkaarikustannuslaskentaan. Näitä tietoja voidaan käyttää myös uusien laitteiden hinta-arviointien teossa, koska vaikka mallit kehittyvät korvaava tuote ei yleensä ole niin erilainen, että aiemman tuotteen tietoja ei voitaisi hyödyntää. Seuraavat tiedot olisi hyvä kirjata ylös:

- Käyttökulut
- Käyttötunnit
- Häiriöajat ja menetetyn tuotannon arvo
- Häiriön syy
- Mahdollisten vaurioiden syyt
- Ylläpitoajat ja kustannukset
- Varaosien käyttö ja kustannukset

(Woodward. 1997, 340)

Tietenkin on tapauskohtaista, mitkä tiedoista ovat tärkeimmät. Kuitenkin on muistettava, että tietojen tarkoituksena on auttaa tunnistamaan potentiaalisia vuorovaikutussuhteita ja kompromisseja kulujen ja komponenttien välillä. Elinkaarikustannuslaskenta on niin hyvä kuin siinä käytetyt tiedot. Näin ollen on kannattavaa käyttää resursseja soveltuvan tietojärjestelmän suunnitteluun. Jo olemassa olevat tietokannat ovat tärkeä, mutta eivät suinkaan ainut tietolähde. Lisäksi tarvitaan täydellinen tekninen ja taloudellinen historia laitteen ylläpidosta. (Woodward. 1997, 340)

Kunnollisten tietokantojen ylläpito on tärkeää elinkaarikustannuslaskennan kannalta, jotta niiden avulla voidaan ennakoida tulevaa. Vaikka tietoa olisikin riittävästi tämän hetken elinkaarikustannusten määrittämiseen, on ongelma edelleen miten luvut saadaan luotettavasti ennustamaan tulevaisuutta. Elinkaarikustannuslaskennan tehokkaalle hyödyntämiselle ei riitä ensiluokkainen tietojärjestelmä. On myös tarpeen, että sen lisäksi saadaan palautetta sekä organisaation sisältä että ulkopuolelta. Elinkaarikustannuslaskennan ydin on hankkia, tallentaa ja käyttää tietoa mitä saadaan nykyisistä sovelluksista tavoitteena, hyödyntää uusien laitteiden hankintaan. (Woodward. 1997, 342)

### *2.3.3.1 Elinkaarikustannuslaskennan toteuttamiseksi tarvittavat tiedot*

Elinkaarikustannuslaskennan toteuttamiseksi olisi saatava ainakin seuraavat tiedot:

- Alkuperäiskustannukset
- Tuotteen elinikä
- Diskonttausprosentti
- Kustannusluokat (ainakin käyttö-, ylläpito- ja hävittämiskustannukset)

Alkuperäiskustannukset voidaan jakaa kolmeen osaan hankintakustannukset, rahoituskustannukset, asennus- / käyttöönotto- / koulutuskustannukset. Hankintakustannukset sisältävät arviot sellaisista tuotteista kuten maa-alueista, rakennuksista, maksuista, kalusteista, varusteista, koneista. Nämä voidaan arvioida pyytämällä hintatarjoukset toimittajilta. Rahoituskustannukset sisältävät vaihtoehtoisten rahoitusten kustannukset. Muut kulut sisältävät laitteistojen asennuksen ja

henkilökunnan koulutuksen. Lyhyesti sanottuna pääomakustannuskategoria sisältää kaikki kulut fyysisen tuotteen hankinnasta ja toimintakuntoon saamisesta. (Woodward. 1997, 338)

Tuotteen eliniän pituudella on suuri merkitys elinkaarikustannuksiin. Se voidaan määritellä viidellä tavalla. Toiminnallinen ikä, eli aika milloin tuotetta oletetaan tarvittavan. Fyysinen ikä, aika minkä tuotteen voidaan olettaa fyysisesti kestävän ennen kuin vaihto tai suuri entisöinti on tarpeen. Teknologinen ikä, aika jonka jälkeen teknologisesti kehittyneemmät tuotteet korvaavat tutkittavan tuotteen. Ekonominen ikä, aika jonka jälkeen on mahdollista saada kustannuksiltaan edullisempi tuote. Sosiaalinen ja laillinen ikä, aika jonka jälkeen ihmisten halu tai lailliset vaatimukset edellyttävät tuotteen vaihtamista. (Woodward. 1997, 338)

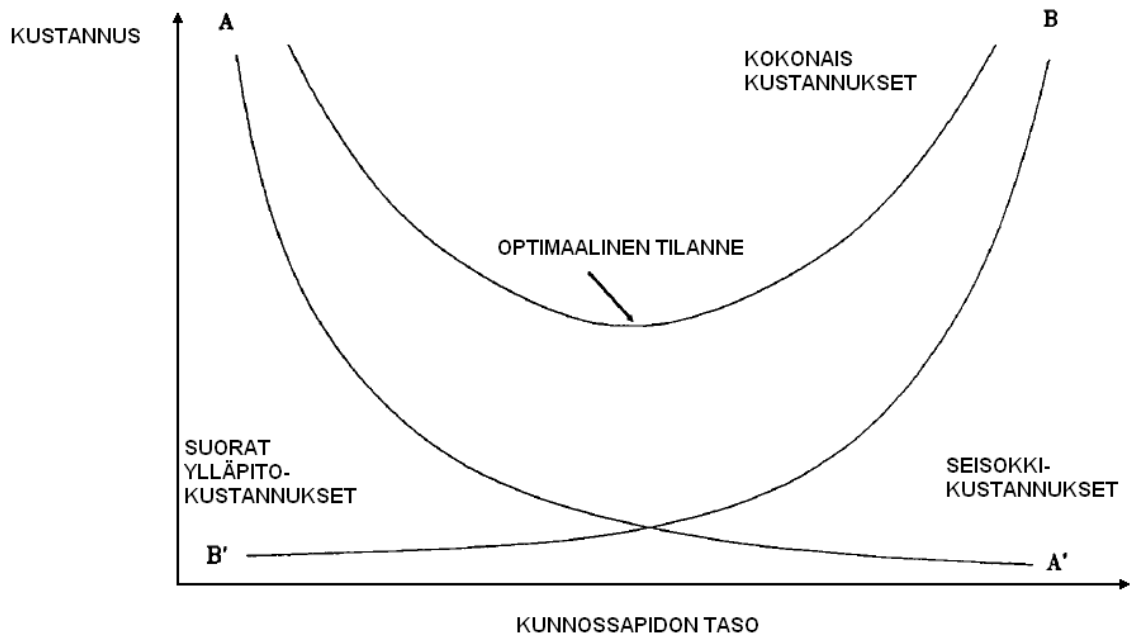
Sopivan diskonttausprosentin valinta on tärkeää elinkaarikustannuslaskennassa. Korkea prosentti suosii vaihtoehtoja millä on pienet pääomakustannukset, lyhyt elinikä ja korkeat toistuvat kustannukset, kun taas pienellä prosentilla on päinvastaiset vaikutukset. Yleensä käytetään jotakin 3-4 % väliltä. Käytännössä prosentti vaihtelee suuresti yrityksen mukaan, diskonttausprosentti saadaan yleensä parhaiten päätettyä yrityksen talouspuolella. (Woodward. 1997, 338)

Elinkaarikustannuslaskennan tavoitteena on käyttää fyysisiä varoja mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Tästä johtuen käyttö ja ylläpitokulujen arviointi on olennaista elinkaarikustannusten pienentämiseksi. Käyttökustannukset käsittävät suorat työ-, materiaali-, kulukustannukset sekä epäsuorat työ- ja materiaalikustannukset lisäksi myös perustamiskustannukset. Näiden suuruutta voidaan useimmiten arvioida tai verrata siihen millaiset kulut on vastaavissa tapauksissa aiemmin toteutunut. Ylläpitokustannuksiin sisältyy työnhinta, materiaalit, polttoaineet, varusteet ja ostetut palvelut. Ylläpitokustannukset voidaan yleensä jakaa kolmeen luokkaan.

- Säännöllinen ja suunniteltu ylläpito
- Suunnittelematon ylläpito (hajoamiset yms.)
- Jaksottainen ylläpito (suuremmat huollot ja osien vaihto)

(Woodward. 1997, 338)

Säännöllinen suunniteltu ennaltaehkäisevä ylläpitopolitiikka vähentää seisokkiaikoja, mutta resursseja käytetään huoltoon. Toisaalta ”käytetään kunnes hajoaa” - lähestymistavassa ylläpitokustannukset ovat pienemmät, mutta seisokkihävikit voivat olla suuriakin. Kuvassa 6 on esitetty eri kunnossapitotoimien ja kustannusten välinen suhde. Eli, kun kunnossapidon määrä kasvaa, vähenevät seisokkikustannukset (käyrä A), mutta vastaavasti ylläpitokustannukset (käyrä B) kasvavat. (Woodward. 1997, 338)



**Kuva 6.** Kunnossapidon suhde kokonaiskustannuksiin (Woodward. 1997, 339)

Jos laitteen hajoamisesta aiheutuu suuret seisokkikustannukset, on ensiarvoisen tärkeää, että sen ylläpidosta huolehditaan säännöllisesti. Kun taas, jos laitteen hajoaminen ei aiheuta suuria seisokkihävikkejä, voidaan niitä vaihtaa / korjata sitä mukaan kun ne hajoavat ja näin säästää ylläpitokustannuksissa. Oleellista onkin löytää laitteiden ylläpidolle sopiva taso, jolla kustannukset saadaan minimoitua. (Woodward. 1997, 339)

Hävittämiskustannukset käsittävät kaikki kustannukset mitkä tapahtuvat tuotteen käyttööän jälkeen, eli hajottaminen, romuttaminen ja/tai myyminen. (Woodward. 1997, 339)

### 2.3.4 Elinkaarikustannuslaskentamallin käyttö

Elinkaarikustannuslaskennan hyödyllisyys riippuu siitä kuinka tarkkaa tietoa yritys on pystynyt käyttämään sen tekemiseen. Tiedon keruu, palaute, ja käyttö organisaation sisällä on monitieteellinen, mutta sen keskeisen roolin takia tarpeen suorittaa kirjanpidon toimesta, koska suurin osa asioista ilmaistaan rahaan liittyvin termein. (Woodward. 1997, 338-340)

Yleensä elinkaarikustannuslaskenta mallin käytössä esiintyvät ongelmat liittyvät käyttö- ja ylläpitokustannusten saamiseen ja ennustamiseen. Tähän liittyviä tarpeellisia tietoja on mm.

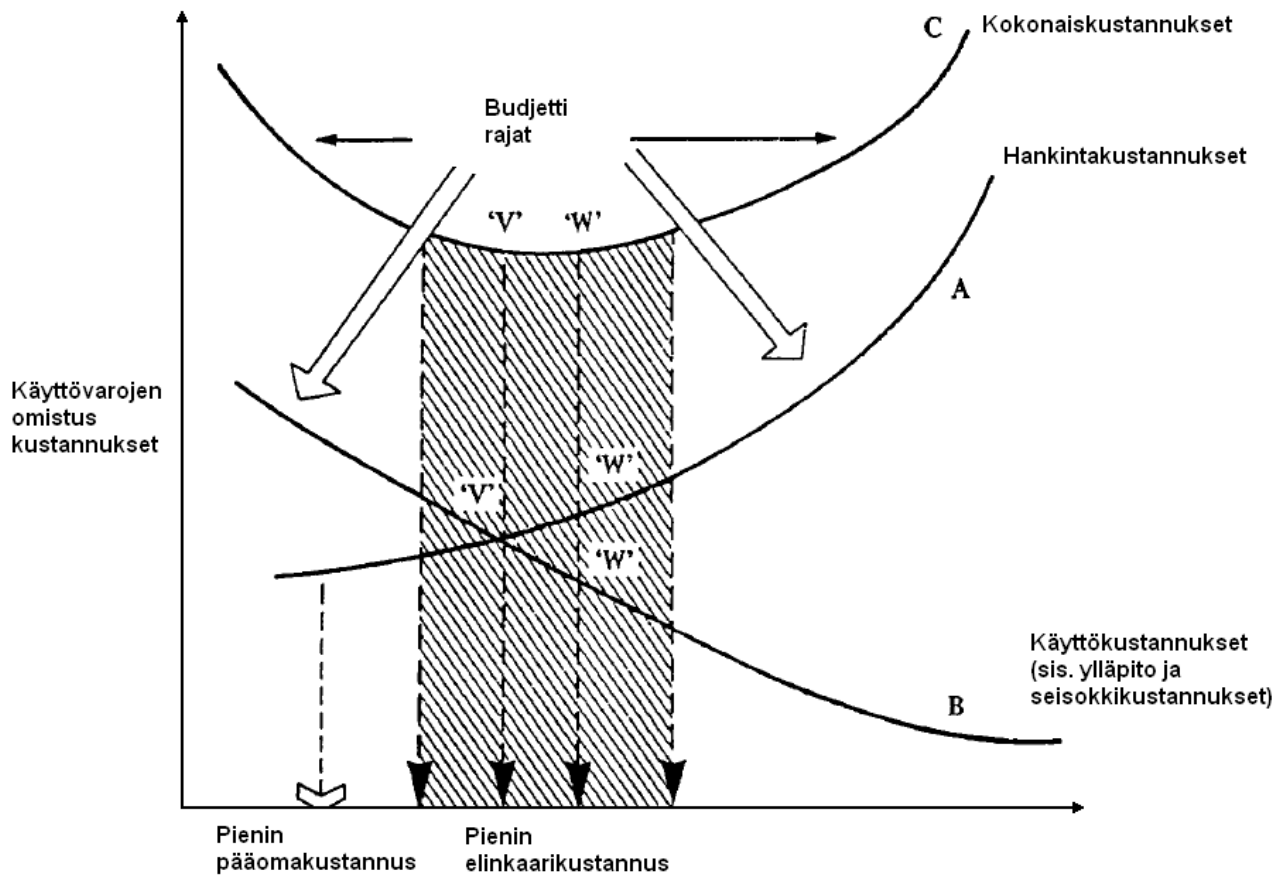
- Hajoamistiheys ja häiriöajan pituus
- Ennuste varaosien / korvaavien laitteiden tarpeesta
- Ylläpidon vaatimukset
- Vuotuisten ylläpitokustannusten ennustaminen, esimerkiksi, prosenttiosuutena laitteen vaihtokustannuksista

(Woodward. 1997, 338-340)

Kun tietoa kerätään myös tuotteen elinkaaren aikana, voidaan tarkkailla tuotteen suorituskykyä käytännössä. Tämän pohjalta voidaan tehdä tulevaisuudessa päätöksiä. Tiedonkeruu- ja palautejärjestelmät ovat se asia mikä saa elinkaarikustannuslaskennan toimimaan. (Woodward. 1997, 338-340)

#### 2.3.4.1 Kustannuskompromissit

Kuvassa 7 on esitetty kuinka Lisääntynyt pääomankäyttö (käyrä A) johtaa suurempaan varojen saatavuuteen ja pienempiin ylläpitokustannuksiin (käyrä B). Kohtamissa kokonaiskustannukset (käyrä C) ovat pienimmillään, on optimaalinen tilanne laitteen omistamiselle. Pienin pääomakustannus puolestaan voidaan nähdä hyvin korkeana elinkaarikustannuksena. Monissa tapauksissa optimaalinen elinkaarikustannus ei ole kriittinen, kuten eri yhdistelmät pääoma ja ylläpitokustannuksien kesken pisteiden V ja W välillä osoittavat ei niillä ole suurta merkitystä elinkaaren kokonaiskustannuksiin. (Woodward. 1997, 340)



**Kuva 7.** Kustannuskompromissit (Woodward. 1997, 340)

Esimerkkejä kompromissien välillä

- Käyttää enemmän varoja tutkimukseen & kehittämiseen, jotta saadaan lisättyä luotettavuutta ja helpotettua ylläpitoa, sitä kautta pienentää ylläpitokustannuksia.
- Lisätä laitteiden tehokkuutta (korkeammat kehitys/pääoma kustannukset) jotta saadaan vähennettyä hylkyä
- Käyttää enemmän rahaa automaatioon (korkeammat alkukustannukset) ja näin säästää työkustannuksissa
- Osta kalliimpia koneita, millä on pidempi elinikä

(Woodward. 1997, 340)

### **3 ELINKAARIMALLINTAMISEN HYÖDYT**

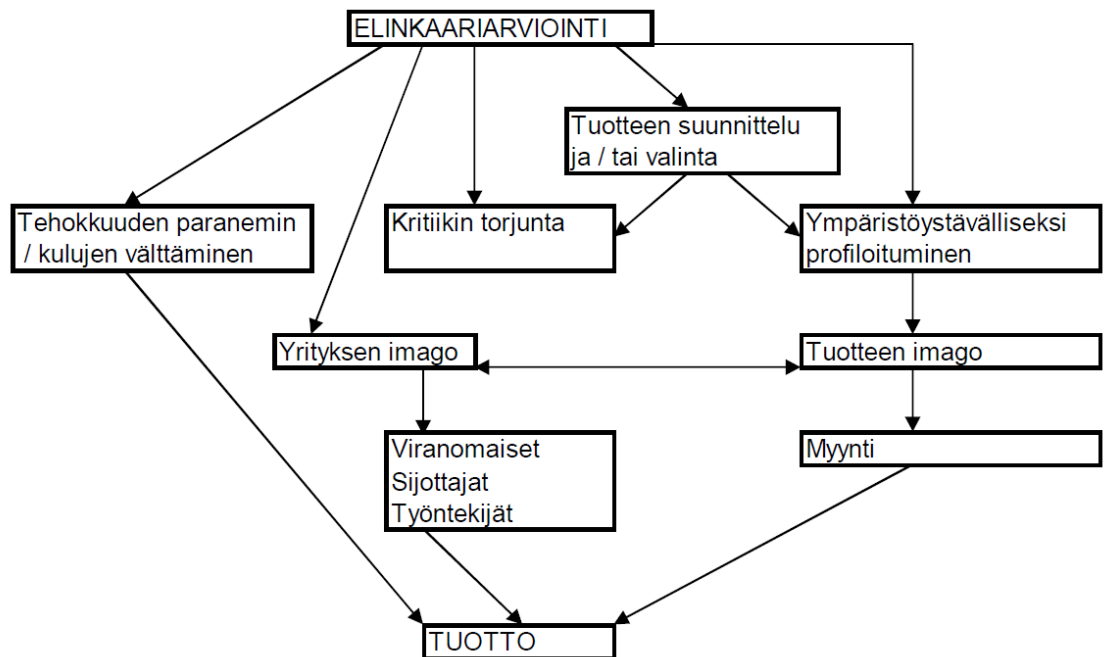
Elinkaarimallintamisen hyötyjä voidaan tarkastella kahdelta kannalta. Yksityisellä sektorilla yritys voi hyödyntää elinkaarimallintamista joko sisäisesti tai asiakkaana. Tällöin hyöty määräytyy sen mukaan miten elinkaarimallintamisen tulokset voivat vaikuttaa kustannuksiin ja voittoihin. Toinen tapa on tarkastella vaikutuksia yhteiskunnan kannalta. Yhteiskunnan kannalta ratkaisevinta on laajemmat, koko yhteiskuntaan vaikuttavat kustannukset ja hyödyt. (Norris. 2000. 1-2)

#### **3.1 Elinkaariarvioinnin hyödyntämismahdollisuudet**

Elinkaariarviointi on järjestelmä millä, voidaan määritellä ja luokitella jonkin tuotteen tai palvelun potentiaalisia ympäristövaikutuksia. Tämän perusteella sitä voidaan soveltaa millaiseen tuotteeseen tahansa, jos tarvitaan ympäristötietoja päätöksenteon tueksi. Elinkaariarviointia voi käyttää tarpeesta riippuen mikä tahansa taho, joka on osallisena elinkaaren vaiheissa tai haluaa tietoja tuotteesta / palvelusta. Sitä ovat käyttäneet mm. hallitukset, järjestöt, teollisuus monilta eri aloilta, joko yksityisesti tai tutkimuskeskusten ja konsulttien avulla. (Rebitzer et al. 2004, 713) Pk-yrityksillä sekä suurilla monikansallisilla yrityksillä on omat erityispiirteensä, jotka käsitellään tarkemmin kappaleissa 3.1.2.1 ja 3.1.2.2

Kuvassa 8 on esitetty mitä hyötyjä ja vaikutuksia, elinkaarimallintamisella on yrityksen toimintaan, ja kuinka osa näistä vaikuttaa toisiinsa. Elinkaarimallintamista voidaan käyttää suoraan markkinoinnissa, joko hyökkäävästi eli mainostetaan oman tuotteen ympäristöystävällisyyttä tai muuta etua, tai puolustavasti torjumaan kilpailijoiden väitteitä. Elinkaarimallintamisella voidaan tukea olemassa olevia tuotteita tai hyödyntää sitä tuotteen uudelleen suunnittelussa, jotta tuote sopii paremmin markkinointiväitteisiin. Kaikki tällaiset toimenpiteet vaikuttavat myyntiin ja sitä kautta tuottoihin parantamalla tuotteen imagoa markkinoilla. Tuotekuvan paraneminen voi johtaa myös yrityksen imagon paranemiseen. Parempi yrityskuva puolestaan voi vaikuttaa tuotteiden imagoihin, viranomaisten sekä sijoittajien ja työntekijöiden asenteisiin yritystä kohtaan. Lopulta elinkaarimallintamisella voidaan löytää myös

mahdollisuuksia tehokkuuden parantamiseen ja kulujen vähentämiseen. (Norris. 2000. 1-2)



**Kuva 8.** Elinkaariarvioinnilla saatavien hyötyjen suhde toisiinsa ja potentiaaliseen tuottoon. (mukailen Norris. 2000. 2)

Yritys voi strategisessa päätöksenteossa analysoida tuotteiden tai palveluidensa ympäristökuormitusta ja kehittää toimintaansa ympäristöystävällisempään suuntaan. Elinkaariarvioinnissa voidaan verrata uuden tuotteen ympäristökuormitusta korvattavaan tuotteeseen ja miettiä onko lopputulos panostusten arvoinen. Elinkaariarviointi on myös hyvä työkalu osoittamaan, että yritys on oikeasti huomioinut tuotteensa ja palvelunsa ympäristövaikutukset koko niiden elinkaaren ajalta. Ympäristövääntämiin perustuva markkinointi lisääntyy koko ajan. Yksi parhaimpia sovellusalueita on kuitenkin tuotekehitys. Tällöin jo suunnitteluvaiheessa voidaan havaita suurimmat ympäristövaikutukset ja keskittyä niiden hallitsemiseen. (Linnanen et al. 1994, 113-114)

Lainsäädäntö edellyttää yhä tarkempia tietoja tuotteiden sisällöistä ja niiden ympäristövaikutuksista. Lisäksi, jotta säädäntöä voitaisiin ohjata ympäristöystävällisempään suuntaan, on päättäjillä oltava kokonaisnäkemys eri vaihtoehtojen kokonaisuudesta. Hyvin perustelluilla selvityksillä on siis mahdollista vaikuttaa siihen mille tasolle uudet raja-arvot tulevat asettumaan.

### **3.1.1 Elinkaarimallinnuksen rajaus**

Täydellinen ja kattava elinkaariarviointi, joka käsittää kaikki elinkaarenvaiheet ja syötteen/tuotokset voi olla kallis ja aikaa vievä. Prosessia voidaan kuitenkin virtaviivaistaa ja näin vähentää kustannuksia ja tarvittavaa aikaa. Virtaviivaistetussa mallinnuksessa keskitytään vain joihinkin prosessin elinkaaren vaiheisiin ja/tai tiettyihin vaikutuksiin. Etenkin pienille ja keskisuurille yrityksille täysimittainen elinkaariarviointi saattaa olla liian suuri investointi, toisaalta mallia on suhteellisen helppo myös parantaa jälkikäteen kun tietoja saadaan lisää, joten täysin kattavan mallin tekeminen heti aluksi ei välttämättä ole edes tarpeen hyötyjen saamiseksi (Andersson et al. 1998, 90)

### **3.1.2 Elinkaarimallintamisen käyttö yrityksissä**

Elinkaariarviointia voidaan käyttää päätöksenteon ja suunnittelun apuna tuotteiden ja prosessien kehittämisessä. Sillä voidaan myös vertailla eri suunnitteluvaihtoehtojen ympäristövaikutuksia, ja näin määrittää onko jokin ratkaisu selkeästi parempi tai huonompi ympäristön kannalta. Koska elinkaariarviointi tunnistaa suurimmat ympäristövaikutukset prosessista, voidaan näihin kohtiin puuttua tehokkaasti suunnittelussa. (Andersson et al. 1998, 91)

Etenkin monet isot yritykset ovat alkaneet käyttää elinkaariarviointia markkinoinnin apuna. Tuottajat mainostavat ympäristöystävällisyyttään ja tätä kautta hakevat laajempaa markkinaosuutta. Tällaisessa tapauksessa elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan käyttää perusteluina mainoksien väitteille, eli osoittamaan kuinka paljon yrityksen tuotteet oikeasti säästävät ympäristöä. Näissä tapauksissa on kuitenkin erittäin tärkeää että mallinnus tehdään tarkasti ja läpinäkyvästi, jotta tarvittaessa voidaan perustella, mallinnuksen aikana tehdyt valinnat. (Andersson et al. 1998, 91)

Nykyisin yritykset ovat kiinnostuneita myös koko tuotantoketjun ympäristövaikutuksista, minkä takia alihankkijoilta saatetaan vaatia todistusta tuotteiden ympäristöystävällisyydestä. Samaan tapaan kuin laadullisista ja sosiaalisista vaatimuksista, alihankkijoita voidaan pyytää osoittamaan tuotteet kokonaisympäristö-

vaikutukset tarjouskilpailun osana. Tällä tavoin yrityksen on mahdollista hallita koko tuotantoketjun ympäristövaikutuksia.

Laajempien ympäristöarvioiden tukeminen on myös yksi paljon käytetty sovelluskohde. Inventaarioanalyysi on tehokas työkalu kertomaan miten muutoksen osaprosesseihin vaikuttavat koko elinkaaren aiheuttamaan ympäristö-kuormitukseen. Tätä voidaan soveltaa niin raaka-aineiden kuin esim. tuotantomenetelmien vertailussa. (Vigon et al. 1993, 11)

### *3.1.2.1 Elinkaarimallinnus suurissa yrityksissä*

Monikansallisiin yrityksiin liittyy omat erityispiirteensä. merkittävin tekijä on käytävissä olevat resurssit. Yrityksellä on mahdollisesti kokonaisia osastoja, joiden tehtävänä on suorittaa elinkaariarviointeja. Isoilla yrityksillä on myös paremmat mahdollisuudet ylläpitää omia tarkkoja tietokantoja, joilla voidaan täydentää ulkopuolisia tietokantoja. Sisäisen elinkaariarvioinnin takia myöskään luottamukselliset tietojen käyttö ei ole ongelmana. On kuitenkin muistettava, että jos tutkimuksen tulokset on tarkoitettu julkiseen käyttöön eikä vain yrityksen sisäisen päätöksenteon tueksi on mallinnus tehtävä läpinäkyväksi. Esimerkkinä tällaisista yrityksistä on lähes kaikki Amerikassa / Euroopassa / Aasiassa toimivat auto- ja elektroniikkayritykset. (Rebitzer et al. 2004, 713)

Monikansallisilla yrityksillä on kuitenkin myös omat ongelmansa elinkaarimallintamisen toteuttamisessa. Yksinkertaistaminen ja rajaaminen ovat huomattavan vaikeaa. Kulttuurilliset, alueelliset, ja kansalliset erot suhtautumisessa, säädöksissä ja käytännöissä aiheuttavat omat ongelmansa. Ei esimerkiksi ole olemassa yleisesti hyväksyttyä tapaa vaikutusluokkien painotukselle (esim. ilmastonmuutos vs. raaka-aineiden kulutus). Eikä tällaista tulla todennäköisesti saamaan aikaiseksi aivan lähitulevaisuudessa. Tämän takia monikansalliset yritykset joutuvat yleensä tekemään omat rajansa ja standardinsa. (Rebitzer et al. 2004, 713)

Yksi tapa on keskittää kaikki yrityksen elinkaarimallinnustoiminta yhteen paikkaan, tai tehdä elinkaarimalli sillä osastolla missä sitä sovelletaankin. Siinä tapauksessa, että mallinnus tehdään keskitetysti, on vaarana että tulokset jäävät vain pienen ryhmän tietoon, eikä niitä saada laajamittaisesti käyttöön. Kokonsa takia monet

monikansalliset yritykset tekevät vielä yksittäisiä elinkaaritutkimuksia ilman riittävää kontaktia eri osastoiden välillä. Ideaalisesti tärkein syy elinkaarimallinnuksen tekemiseen on halu parantaa yrityksen omaa tuotantoa, tähän vaaditaan hyvää yhteistyötä suunnittelun/kehityksen ja tuotannon välillä. Kokemus on osoittanut että seuraavat tekijät edesauttavat elinkaariajattelun integroimista monikansallisissa yrityksissä

- Johdon sitoutuminen
- Linkki talouteen (esimerkiksi ympäristöliiketoiminta esimerkkejä, jotka perustuva elinkaariarviointiin ja elinkaarikustannuslaskentaa) sekä sitoutuminen ja tuki myös ei ympäristöosastoilta
- Koulutus
- Toimintamallit (esim. tuotekehitys prosessi mikä soveltaa elinkaariarviointia)
- Tavoitteet ja strategiat (esim. kehitysosastoille tiettyjen elinkaariarvioinnin tavoitteiden saavuttamiseksi)
- Yksinkertaiset työkalut joita myös ei asiantuntijat voivat käyttää pienen koulutuksen jälkeen
- Tehokas sisäinen viestintä ja tiedonvaihto
- Kärsivällisyys ja joustavuus

(Rebitzer et al. 2004, 714-715)

### *3.1.2.2 Elinkaarimallinnus pienissä ja keskisuurissa yrityksissä*

Useat Pk-yritykset ovat alkaneet lähestyä ympäristöasioita. Yksi hyvä tapa on käyttää yksinkertaistettua elinkaarimallinnusta win – win tilanteiden löytämiseen. Tämä on mahdollista tuotekehityksessä ja uusien tuotteiden esittelyssä, kuten myös tuotannon kehittämisessä. Suurin riski pienille yrityksille on useasti resurssien riittävyys, elinkaarimallinnuksesta on saatava konkreettista hyötyä tai riskinä on yrityksen konkurssi. Myös rajallisten resurssien takia tuotannon uudistaminen ei välttämättä ole mahdollista vaikka tehokkaampi menetelmä löydettäisiinkin. Tämän takia hyvä suunnittelu on ensiarvoisen tärkeää, mistä johtuen elinkaariarvioinnin merkitys korostuu. Konkreettiset hyödyt Pk-yrityksille täydellisistä elinkaariarvioinneista ovat:

- Pienemmät toimintakulut, toimitusketjujen tarkemman koordinoinnin ansiosta vähennetään tyhjiä / vajaita lasteja
- Huomioida säästetyt raaka-aineet markkinoitavana tuotteena, eikä niinkään kulu keskeisenä jätevirtana

- Paremmat suhteet viranomaisiin, pienemmät jätteenkäsittelykustannukset, vähäpäästöisten laitteiden käyttö. Nämä kaikki on helpompi toteuttaa pienessä mittakaavassa, jos ne on huomioitu alusta alkaen.
- Suotuisa mielikuva paikallisiin ja alueellisiin poliitikkoihin, jotka voivat taata lainoja lupaaville yrityksille, joilla ei ole toiminnallisia tai ympäristö riskejä
- Paremmat lainaehdot suurien rahoittajien kanssa
- Halvempi sertifioida ISO 9001 ja ISO 14001 -standardeja
- Asiakkaiden ja alihankkijoiden kanssa yhteensopiva ympäristöhallinta järjestelmä

(Rebitzer et al. 2004, 715-716)

Vaikka monet näistä voivat vaikuttaa koskevan vai korkeasti rahoitettuja yrityksiä, kokemus on osoittanut, että johdon osallisuus on kaikkein tärkein tekijä niin suurissa kuin pienissäkin yrityksissä elinkaarimallinnuksen käyttöönoton kannalta. Lisäksi useissa tapauksissa 10–100 työntekijän yritykset ”vanhoilla” aloilla kuten tuotannossa usein tunnistavat suurimmat hyödyt. (Rebitzer et al. 2004, 715-716)

### **3.2 Elinkaarikustannuslaskennan hyödyt**

Ympäristöystävällisen tuotteen hinnoittelunperusteet, eli miten perustellaan asiakkaan saama hyöty suhteessa mahdollisesti korkeampiin kustannuksiin. Jos hinta saadaan pidettyä samana tai alhaisempana kuin vastaavalla ”ei niin ympäristöystävällisellä” – tuotteella, voidaan perinteisen markkinoinnin keinoin todennäköisesti huomattavasti kasvattaa tuotteen markkinaosuutta, yhteiskunnallisen ja henkilökoh- taisen vastuun korottaminen. ”on hienoa ja tärkeää huolehtia ympäristöstä”. Jos kysyntä ei ole täysin hinnasta riippuvainen, voidaan tietenkin myös ympäristöystävällistä tuotetta myydä samalla hinnalla kuin kilpailevaa. Huomioitava että edullisuus saattaa tulla myös esimerkiksi energian säästöstä asiakkaalle, (lähinnä teollisuus yms.). (Linnanen et al. 1994, 24-26)

Riippuen tuotteesta, voi olla mahdollista myydä myös hieman kalliimpia ympäris- töystävällisiä tuotteita kuin normaaleja tuotteita, mutta tämä vaatii markkinoiden

tarkkaa tuntemusta. Joissakin tapauksissa on myös otettava huomioon yhteiskunnalle aiheutuva hyöty. Jos tuote on yhteiskunnan kannalta huomattavasti parempi, on sille mahdollista saada esimerkiksi verohelpotusta tai muuta vastaavaa lainsäädöllistä tukea vaikka se ehkä valmistuskustannuksiltaan olisikin kalliimpi. (Linnanen et al. 1994, 24-26)

Kuluttajia kuitenkin useimmiten kiinnostaa tuotteen vähittäismyyntihinta ostopäätöksiä tehtäessä. Niinpä onkin usein hyödyllistä osoittaa tuotteiden kokonaiskustannukset elinkaarenaikana esim. tavallinen hehkulamppu verrattuna led-/energiänsäästölamppu. (Linnanen et al. 1994, 24-26)

Monet tuotteet, jotka on suunniteltu alusta asti ympäristöystävällisiksi, ovat myös edullisempia kuin tavanomaiset tuotteet. Pyrittäessä ympäristövaikutusten minimoimiseen saavutetaan usein samalla myös kustannussäästöjä sekä raaka-aineissa että energiassa yms. (Linnanen et al. 1994, 27-29)

Piilokustannukset liittyvät usein tuotteille asetettuihin lainsäädännöllisiin velvoitteisiin, sekä tuotantolaitosten toimintaan, esim. valvontalaitteistot niiden käyttöhenkilökunta, testaaminen, tilastojen ylläpito koulutus. Myös riskien vähentäminen aiheuttaa usein piilokustannuksia, moninkertaiset hallintalaitteet puskurisäiliöt jne. Ympäristöinvestoinnit vaikuttavat usein juuri riskien hallintaan ja pienentävät näin piilokustannuksia. (Linnanen et al. 1994, 27-29)

Huolimaton suunnittelu saattaa aiheuttaa haittaa ympäristölle, ihmisille tai yhteiskunnalle. Mistä voi seurata sakkoja, maksuja, puhdistuskuluja yms. Huonoimmassa tapauksessa nämä kustannukset voivat kasvaa satoihin miljooniin (maaperän puhdistukset suurilta alueilta, korvaukset vaarallisista tuotteista yms.) (Linnanen et al. 1994, 27-29)

Imagokustannukset ovat yleensä tavalla tai toisella liittyneet muihin tavanomaisiin kustannuksiin, eikä niille yleensä voida suoraan määrittää rahallista arvoa esim. työntekijöiden moraalit ja yrityskuva. Myös vaikutukset markkinaosuuksiin ja asiakastyytyväisyyteen on hankalasti määriteltävissä. Imagokustannuksia ei kuiten-

kaan voi jättää huomioimatta sillä usein ne ovat eri menestystuotteen ja flopin välillä.  
(Linnanen et al. 1994, 27-29)

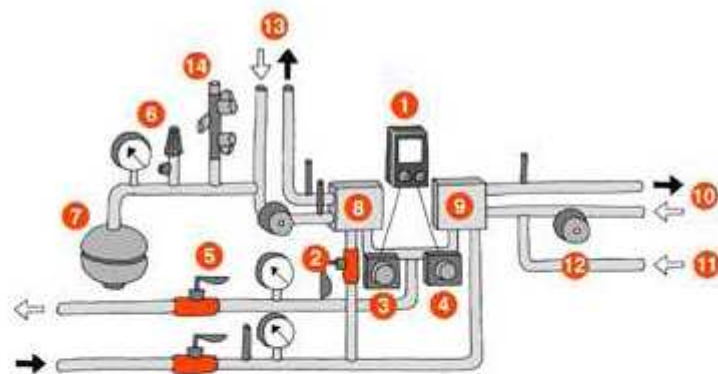
## 4 ESIMERKKIYRITYSTEN TOIMIALOJEN ESITTELY

Tässä kappaleessa on esitetty kahdella eri sektorilla toimivan esimerkkiyrityksen tuotteet, joille on tarkoitus löytää sovelluskohteita, joissa elinkaarimallinnusta hyödyntäen olisi mahdollista tuottaa lisäarvoa yritykselle. Ensimmäisen yrityksen tuotanto voidaan luokitella sarjatuotannoksi, kun taas toisen esimerkkiyrityksen tuotanto on yksittäistuotantoa.

### 4.1 Esimerkkiyritys 1

Tämän työn kannalta tarkastelu rajoittuu yrityksen tuotteissa lämmönjakokeskukseen sekä teollisuuskoneikkoon. Lämmönjakokeskuksia valmistetaan vakiomallisina useammassa eri kokoluokassa ja teollisuuskoneikot mitoitetaan ja valmistetaan yksilöidysti tapauskohtaisesti.

Yrityksellä on usean vuosikymmenen ajalta vankka LVI-alan kokemus hankinnan, valmistuksen sekä myynnin ja markkinoinnin osa-alueilta Euroopassa ja Aasiassa. Yrityksen valmistamat lämmönjakokeskukset on mitoitettu kiinteistö- / käyttökohdekohtaisesti, näin voidaan varmistaa laitteiston toimivuus. Kuvassa 9 on esitetty lämmönjakokeskuksen perusrakenne.



- |                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 Säätökeskus                  | 8 Lämmityksen lämmönsiirrin |
| 2 Kesäsulku                    | 9 Käyttöveden lämmönsiirrin |
| 3 Lämmityksen säätöventtiili   | 10 Lämmin käyttövesi        |
| 4 Käyttöveden säätöventtiili   | 11 Kylmä vesi               |
| 5 Asiakkaan pääsulkuventtiilit | 12 Pumppu                   |
| 6 Varoventtiili                | 13 Lämmitysverkko           |
| 7 Paisunta-astia               | 14 Täyttöventtiili          |

**Kuva 9.** Lämmönjakokeskuksen perusrakenne. (Energiateollisuus 2010)

Näiden lisäksi yritys valmistaa myös teollisuuskäyttöön tarkoitettuja koneikkoja (pumppaus, lämmitys ja jäähdytys). Teollisuuskoneikot räätälöidään aina asiakkaan tarpeiden mukaan. Tehdasvalmisteisella koneikolla on useita etuja paikanpäällä rakennettuun verrattuna. Koska koneikko valmistetaan tehtaassa, joka on suunniteltu valmistamaan kyseisiä koneikkoja ja suunnittelu voidaan tehdä kokonaisuutena, ovat tehdasvalmisteiset koneikot yleensä laadukkaampia, pienempiä ja luotettavampia kuin paikan päällä rakennetut. Koneikko toimitetaan kytkentävalmiina ja testattuna kokonaisuutena, joten asennus- ja käyttöönottoaika on erittäin lyhyt. Myös asennusvirheiden määrä on pienempi vähäisten kytkentöjen takia.

Kaukolämpö on otettu mukaan tarkasteluun, koska se on useimmiten käytetty energiantuotantomenetelmä käytettäessä edellä kuvattua lämmönjakokeskusta. Kaukolämpö on ollut Suomessa käytössä jo 1950-luvulta lähtien. Tällä hetkellä se on yleisin lämmitysmuoto ja noin 2.6 miljoonaa suomalaista asuu kaukolämmöllä lämmitetyissä asunnoissa. Pääasiassa kaukolämmön käyttö keskittyy kerrostaloihin (lähes 95 % on kaukolämmön piirissä), omakotitaloissa käyttö on vielä toistaiseksi vähäisempää (noin 6 %). Kaiken kaikkiaan lähes puolet (47.4 % vuonna 2008) asuin ja palvelurakennuksista Suomessa lämmitetään kaukolämmöllä. (Tiitinen. 2010; Energiateollisuus 2010)

Asiakkaille kaukolämpö tulee kaukolämpöverkon kautta. Kaukolämpöverkossa kiertää kuumaa 65 – 115 °C vettä. Asiakkaan luona vedestä siirretään energiaa (lämpöä) lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimien avulla talon lämmitysverkkoon sekä käyttöveden lämmitykseen. Lämmönsiirtimessä jäähtynyt vesi palaa kaukolämpölaitokselle, eikä siis sekoitu tai kierrä talon lämmitysjärjestelmässä. (Tiitinen. 2010; Energiateollisuus 2010)

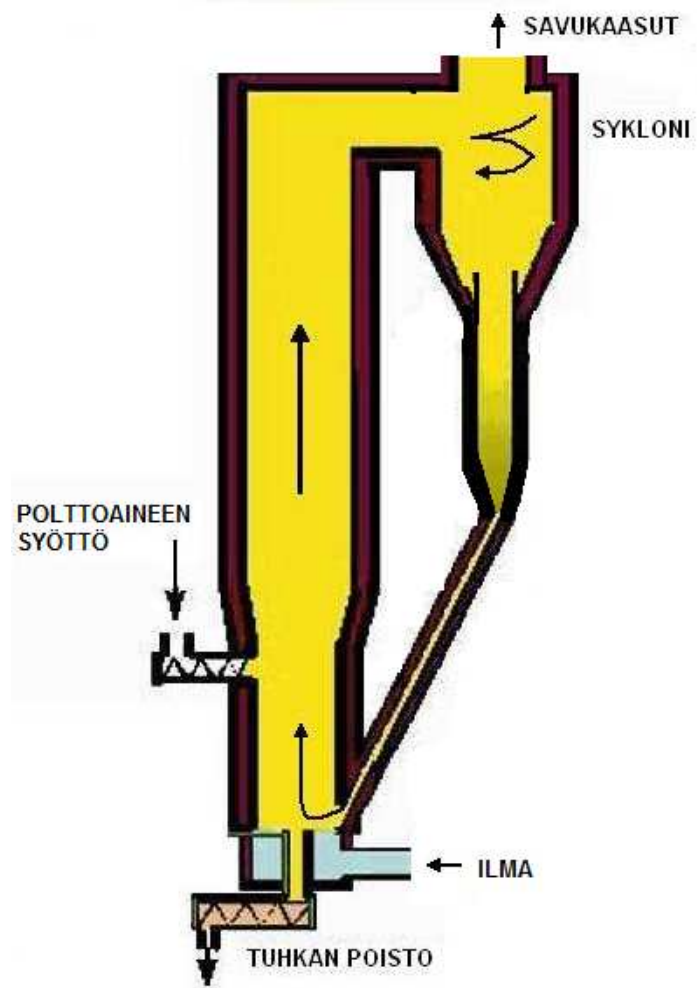
Suurin osa (73 %) kaukolämmöstä tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa (CHP – Combined Heat and Power), tai hyödyntämällä teollisuuslaitoksien yhteydessä toimivilta voimalaitoksilta hyödynnettävissä olevaa energiaa. Pienemmillä paikkakunnilla, tuotetaan kaukolämpöä tyypillisesti pienissä kaukolämpökeskuksissa. Nämä laitokset käyttävät polttoaineenaan useimmiten puuta

tai muita uusiutuvia polttoaineita. Yhteistuotantoon perustuu myös kaukolämmön ympäristöystävällisyys. Yhteistuotantoon käytettävien laitojen hyötysuhde on huomattavasti korkeampi (70-80 %) kuin erillistuotannossa (40-55 %), jolloin tuotettua energiayksikköä kohti syntyy vähemmän päästöjä. (Tiitinen. 2010; Energiateollisuus 2010)

## 4.2 Esimerkkiyritys 2

Yrityksen 2 tuotteista tässä työssä tarkastellaan kiertopetikattilaa, joka on toimituksellisesti tavallisesti yksittäinen, pitkäkestoinen ja kallis sitoen runsaasti resursseja suunnittelun, mitoituksen, valmistuksen, asennuksen ja käyttöönoton osalta. Tyypillisesti kiertopetiteknologia soveltuu niin biomassaa-, kierrätys- ja jätöpohjaisille kuin fossiilisillekin polttoaineille. Teknologian etuna on yksinkertainen rakenne, luotettavuus, hyvä hyötysuhde ja käytettävyyden lisäksi mahdollisuus polttaa samanaikaisesti ja joustavasti useita eri polttoaineita. Kiertopetiteknologiaa käyttävät kattilat eivät myöskään yleensä vaadi erillisiä savukaasun puhdistusjärjestelmiä. (Huhtinen et al. 1994. 153-162)

Kiertopetikattiloissa, toisin kuin perinteisessä pölypoltossa, ei ole perinteisiä polttimia. Kiertopetikattilassa kierrätetään ilman avulla hiekan, kalkkikiven ja polttoaineen seosta, jossa palaminen tapahtuu. Hiekan tarkoituksena on kuljettaa polttoainetta sekä toimia lämmönsäajana, hiekkaan varastoitunut lämpö tasaa polttoaineen laadunvaihteluita. Tulipesään syötetty kalkkikivi sitoo tulipesästä rikkiä, joten erillistä rikin puhdistusta ei tarvita. Lisäksi koska palaminen tapahtuu kohtuullisen matalassa lämpötilassa, ei typen oksideja synny niin paljon kuin perinteisessä poltossa. Hiekka, kalkkikivi ja palamatta jäänyt polttoaine kiertävät takaisin tulipesään syklonin kautta. Kuvassa 10. on esitetty kiertopetikattilan perusrakenne. (Huhtinen et al. 1994. 153-162) Tekniikan kehittyessä myös kattiloiden kokoa on saatu kasvatettua ja nykyisin suurimpien tehot ovat 600-800MW luokkaa.



Kuva 10. Kiertopetikattilan perusrakenne

## 5 ELINKAARIMALLINTAMISEN SOVELLUSKOHTEIDEN TUNNISTAMINEN

Sovelluskohteella viitataan tässä työssä esimerkiksi johonkin ongelmaan tai toimintaan, minkä käsittelemiseksi yritys tarvitsee lisätietoja. Näitä tietoja voidaan tuottaa elinkaarimallintamisen avulla.

SWOT-analyysi (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – Vahvuudet, Heikkoudet, Mahdollisuudet, Uhat) on Albert Humphreyn kehittämä malli, jota voidaan käyttää strategianlaatimiseen, toiminnanarviointiin ja -kehittämiseen sekä mahdollisten ongelmien ja uhkien tunnistamiseen. Analyysi koostuu kuvassa 11 esitetystä nelikentästä, jonka kahteen ylempään laatikkoon tulevat sisäiset asiat, alempiin ulkoiset. Vastaavasti vasemmalla ovat positiiviset ja oikealla negatiiviset havainnot.

	POSITIIVINEN	NEGATIIVINEN
SISÄINEN	S Vahvuudet	W Heikkoudet
ULKOINEN	O Mahdollisuudet	T Uhat

**Kuva 11.** SWOT-analyysin perusrakenne

Kuvassa 11 esitetyn SWOT-taulukon jokaiseen nelikentän ruutuun voidaan sijoittaa karkeasti määritelty elinkaarimallintamisen soveltamistyyppi. Näin saadaan kuvassa 12 esitetty nelikenttä.

	POSITIIVINEN	NEGATIIVINEN
SISÄINEN	Tuotevertailu	Riskienhallinta
ULKOINEN	Tuotesuunnittelu	Kritiikin torjunta

**Kuva 12.** SWOT-analyysin nelikenttään tyypillisesti liittyvät elinkaarimallintamisen soveltamistyyppit.

Kuvassa 12 esitetyjä soveltamistyyppejä voidaan verrata yrityksen tuotteelle tehtyyn SWOT-analyysiin, jolloin saadaan määritettyä kannattavimpia sovelluskohteita. Mahdolliset sovelluskohteet liittyvät siis joko tuotevertailuun, riskienhallintaan, tuotesuunnitteluun tai kritiikin torjuntaan. On kuitenkin huomioitava, että kaikille tuotteille ei välttämättä löydetä kaikkiin sovellustyyppikohtiin sopivia sovelluskohteita.

Jotta yrityksen tuotteelle tehtävä SWOT-analyysi olisi mahdollisimman hyödyllinen, tarvitaan tietoja tutkittavasta tuotteesta. Tehokkaimmin tämä käy haastattelemalla yrityksen edustajia. Ainakin seuraaviin kohtiin olisi syytä kiinnittää huomiota:

- Mitkä ovat tuotteen vahvuudet ympäristömielessä?
- Onko tuotteeseen mahdollisesti liitettävissä palveluita?
- Onko tuotteelle muita sovelluskohteita?
- Onko tuote elinkaarikustannuksiltaan edullinen? / Voiko tuotteen käyttö pienentää toisen tuotteen tai toiminnan elinkaarikustannuksia?

## 5.1 Yrityksen 1 SWOT-analyysi ja sovelluskohteiden määrittely

Taulukossa 1 on esitetty Yrityksen 1 tuotteelle tehty SWOT-analyysi, analyysissä huomioitiin myös kaukolämpö, koska se liittyy oleellisesti tuotteeseen. Selkeänä vahvuutena havaitaan kaukolämmön ympäristöystävällisyys, kehittyneen laitteiston sekä yhteistuotannon tehokkuuden ansiosta pienemmät päästöt kuin erillistuotannossa. Toinen selkeä vahvuus kaukolämmössä on käyttömukavuus, verrattuna esimerkiksi kiinteistökohtaisiin kattiloihin, käyttö vaatii asiakkaalta huomattavasti vähemmän toimia. Näiden lisäksi vahvuutena ovat myös pienet käyttökustannukset.

Heikkouksina voidaan nähdä kaukolämmön rajallinen saatavuus, sekä sen hyvien ominaisuuksien tunnettavuus. Jos jollakin alueella tai sen lähistöllä ei ole kaukolämpöverkkoa, ei yhden yksityisen asiakkaan ole yleensä kannattavaa hankkia kaukolämpöä. Osittain verkon laajuuteen liittyy myös kaukolämmön tunnettavuus, jos useimmat ihmiset tietäisivät kaukolämmön hyvistä puolista, todennäköisesti sitä harkittaisiin herkemmin uusien asuinalueiden lämmitysratkaisuksi. Näiden lisäksi, myös kaukolämmön korkea hankintahinta voidaan nähdä heikkoutena. Siksi olisi olennaista saada selvitettyä asiakkaille eri lämmitysratkaisujen kokonaiskustannukset.

Mahdollisuutena on lämmönjakokeskuksen soveltuminen monille eri lämmöntuotanto tavoille. Energian siirto veden välityksellä on tehokasta. Voidaankin olettaa, että myös tulevaisuudessa tätä ratkaisua tullaan käyttämään. Tämän takia lämpökeskuksille todennäköisesti riittää markkinoita vaikka energiantuotantorakenne muuttuisikin. Toisena merkittävänä mahdollisuutena on lämmönjakokeskusiin asennettavien etävalvontajärjestelmän tuomat edut, tai pikemminkin sen varaan rakennettava uusi palveluliiketoiminta. Lisäksi modulaarisen lämpökeskuksen tarjoamat hyödyt (helppo / nopea käyttöönotto ja toimintavarmuus) kuuluvat tähän kategoriaan.

Uhkana voidaan nähdä matalaenergia ja passiivienergiaa hyödyntävät rakentamisratkaisut. Kun huomioidaan kaukolämmönkäytön kohtuullisen suuret alkuinvestoinnit, voi takaisinmaksuaika riittävän energiatehokkaassa rakennuksessa kasvaa liian pit-

käksi verrattuna alkuinvestoinneiltaan edullisempiin ratkaisuihin. On myös huomioitava, että poltossa syntyy aina päästöjä Joten esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen kohoava hinta voi vaikuttaa kaukolämmön tuotannon kannattavuuteen.

**Taulukko 1.** Yritykselle 1 tehdyn lämmönjakokeskuksen ja kaukolämmön SWOT-analyysi elinkaarimallintamisen kannalta

<p><b>VAHVUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaukolämmön yhteistuotannon korkea hyötysuhde</li> <li>• Pitkään käytössä ollut kehittynyt tekniikka</li> <li>• Pienet käyttökustannukset</li> </ul>	<p><b>HEIKKOUEDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaukolämpöä ei saatavissa kaikialle</li> <li>• Kaukolämmön ympäristöystävällisyyttä ei tunneta</li> <li>• Korkea hankintahinta</li> </ul>
<p><b>MAHDOLLISUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lämmönjakokeskuksen soveltuminen myös muille lämmöntuotantotavoille</li> <li>• Teollisuusvalmisteisen lämpökoneikon edut</li> <li>• Etävalvonnan tarjoamat liiketoimintamallit</li> </ul>	<p><b>UHAT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poltossa syntyvät päästöt ja niihin liittyvät kustannukset. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöoikeuksien kohoava hinta, mikä voi vaikuttaa kaukolämmöntuotanto kustannuksiin</li> <li>• Matalaenergiatalojen pienentynyt lämmöntarve</li> </ul>

Taulukon 1 perusteella löydetty sovelluskohteet on esitetty tarkemmin kappaleissa 5.1.1-5.1.4.

### **5.1.1 Yrityksen 1 vahvuuksien osoittaminen elinkaarimallinnusta soveltaen**

Elinkaariarvioinnin avulla voidaan konkreettisesti osoittaa missä tilanteissa ja millä edellytyksillä (etäisyys kaukolämpöverkkoon yms.) kaukolämpö olisi ympäristöystävällisin lämmitysvaihtoehto. Elinkaarikustannuslaskennalla voitaisiin verrata samoin

edellytyksin kaukolämmön kustannuksia kilpaileviin lämmitysratkaisuihin, ja saataisiin jälleen konkreettista tietoa mitä voitaisiin käyttää esimerkiksi mainonnan apuna.

#### *5.1.1.1 Markkinointi-sovelluskohde*

Kun markkinoinnin tukena on tutkimustietoa, on se huomattavasti tehokkaampaa. Lisäksi voidaan hyödyntää ihmisten halua ympäristöystävällisten ratkaisuiden tekemiseen osoittamalla kaukolämmön ympäristöystävällisyys.

Tiedonkeruun kannalta sovelluskohde ei ole erityisen vaikea, yksinkertaistettuna, eri lämmitysvaihtojen valmistuksen ja käytön ympäristövaikutukset ja kustannukset erikokoisille kiinteistöille. Vaikka tarvittava tiedon määrä on laaja, ei siihen sisälly mitään erityisen hankalasti kerättäviä tietoja.

Markkinoinnin hyödyt kohdistuvat luonnollisesti suoraan yritykselle lisääntyneenä liikevaihtona. Koska sovelluskohteen toteuttamiseksi ei tarvita erityisen hankalia tietoja, ei sen toteuttaminen myöskään olisi erityisen kallista. Tämän perusteella hyödyt suhteessa käytettyihin panostuksiin olisi merkittävä.

#### *5.1.1.2 Päättäjiin vaikuttamisen -sovelluskohde*

Tutkimustiedon avulla voitaisiin myös osoittaa, kuinka paljon vähemmän kaukolämpö tuottaa hiilidioksidipäästöjä tuotettua energiayksikköä kohden ( $\text{CO}_2/\text{kWh}$ ), kuin esimerkiksi sähkö- tai öljylämmitykseen. Koska hiilidioksidipäästöjä on valtiollisella tasolla vähennettävä tietty määrä, on mahdollista vaikuttaa päättäjiin ja saada heidät ymmärtämään tilanteet, missä kohteissa kaukolämpö olisi edullisin ratkaisu, niin lämmityksen kuin hiilidioksidipäästöjen pienentämisen suhteen. Edullisimman ratkaisun käyttö on luonnollisesti kannattavaa, mikä johtaa kaukolämpöverkkojen laajentamiseen, mikä taas laskee kustannuksia lisää ja mahdollistaa käytön laajemmilla alueilla. Myös erilaiset tukitoimet kaukolämmön käytön lisäämiseksi voisivat olla mahdollisia. Tukitoimet puolestaan alentaisivat hankintahintaa tai käyttökustannuksia.

Kaikilla on mahdollisuus hyötyä tästä, valtiolla, yrityksellä sekä asiakkailla. Valtio-  
tasolla päättäjiin vaikuttamiseen tarvittaisiin suhteellisen laajaa ja tarkkaa selvitystä,

mikä ei ehkä enää olisi yksittäisen yrityksen tehtävissä. Tämä vaikeuttaa toteuttamista, mutta se olisi todennäköisesti mahdollista myös pienemmässä mittakaavassa kannattavasti.

### **5.1.2 Yrityksen 1 heikkouksilta suojautuminen elinkaarimallinnusta soveltaen**

Kaikille kolmelle taulukossa 1 esitetyltä heikkoudelta suojautumiseksi sovelletaan käytännössä samoja mallintamistuloksia kuin vahvuuksien osoittamiseen. Ihmisten tietoisuutta voidaan lisätä eri lämmitysvaihtoehtojen ympäristövaikutuksista, kun on käytettävissä tietoa millä väitteet voidaan perustella. Elinkaarikustannuslaskennalla tuotettujen tietojen avulla voitaisiin puolestaan osoittaa kaukolämmön edullisuus pitkällä aikavälillä, näin pystytään perustelemaan korkeampaa hankintahintaa esimerkiksi sähkölämmitykseen verrattuna.

Mitä useampi ihminen haluaa kaukolämmön lämmitysratkaisuun (markkinoinnin sekä tiedottamisen ansiosta), sitä todennäköisempään on, että esimerkiksi uusi asutusalue liitetään kaukolämpöverkkoon. Elinkaarimallintamisella pystytään myös selvittämään tilanteet missä kaukolämpöverkon laajentaminen kannattaa, niin kustannus kuin ympäristömielessä.

#### *5.1.2.1 Tiedottamis-sovelluskohde*

Tämä on käytännössä sama kuin sovellus kuin Markkinointi (5.1.1.1). erona lähinnä miten ja kenelle tuotettua tietoa jaetaan sekä miten sitä käytetään. Heikkoudet liittyvät pääasiassa ihmisten tietämättömyyteen tai siihen että kaukolämpöä ei ole alueelle saatavissa. Kun ihmisten tietoisuus lisääntyy, oletettavasti useammat haluaisivat kaukolämmön lämmitysratkaisuksi minkä seurauksena myös saatavuus paranisi.

Jos kaukolämmölle / lämmönjakokeskukselle tehdään elinkaariarviointi tai kustannuslaskenta, kannattaa tuloksista ottaa kaikki mahdollinen hyöty irti. Näin ollen tämän sovelluskohteen kannattavuus riippuu siis halutaanko markkinointi – sovelluskohde toteuttaa.

### **5.1.3 Yrityksen 1 mahdollisuuksien hyödyntäminen elinkaarimallinnusta soveltaen**

SWOT-analyysissä (taulukko 1) havaittiin kolme eri mahdollisuutta, joista jokaiselle pystyttiin löytämään myös oma sovelluskohde. Toisin kuin vahvuuksien osoittamisessa ja uhkien torjumisessa ei samaa mallinnusta voida hyödyntää kaikissa sovelluskohteissa, vaan jokaiselle on tehtävä erillinen mallinnus. Lämmönjakokeskuksen soveltuminen myös muille lämmitysratkaisuille ja teollisesti valmistetun lämpökoneikon edut liittyvät tuotteen ominaisuuksiin. Etävalvonnan tarjoamat edut ja siihen liittyvä palveluliiketoiminta puolestaan olisi yritykselle uuta toimintaa.

#### *5.1.3.1 Lämmönjakokeskuksen soveltuminen muille lämmöntuotantotavoille - sovelluskohde*

Rakennusten energiankulutukseen liittyen on suunniteltu ns. nollaenergiataloja, eli taloja jotka eivät tarvitse lämmitykseen ollenkaan ulkopuolista energiaa. Suomen oloissa tällainen rakennus on kuitenkin hankalaa toteuttaa kustannustehokkaasti. Sen sijaan kylä tai lähiö voisi olla taloudellisestikin kannattavaa toteuttaa nollaenergiaratkaisuna lämmityksen osalta. Lämmitys voitaisiin hoitaa hyödyntäen esimerkiksi keskitettyjä aurinkokeräimiä tai maalämpöpumppuja, varajärjestelmänä voitaisiin käyttää normaalia kaukolämpöä.

Koska matalaenergiaratkaisuja voidaan toteuttaa useilla tavoilla, olisi elinkaarimallintamisen tehtävänä verrata eri ratkaisuja keskenään ja löytää ne tilanteet missä kaukolämpöä ja / tai yrityksen valmistamia lämmönjakokeskuksia tarvitsevat ratkaisut olisivat toteuttamiskelpoisimmat. Tiedonkeruun ongelmat riippuvat siitä millaisia lämmitysratkaisuja halutaan verrata ja kuinka hyvin niistä on saatavilla tarvittavat tiedot. Toisaalta matalaenergia ratkaisuja kehitetään kokoajan lisää, minkä takia niihin liittyy merkittäviä liiketoimintamahdollisuuksia, minkä takia potentiaalisia hyötyjä on kuitenkin olemassa.

### *5.1.3.2 Teollisuusvalmisteisen lämpökoneikon edut -sovelluskohde*

Lämmönjakokeskukset toimitetaan valmiina ja testattuina kokonaisuuksina. Ehkä suurin etu tästä on asennuksen nopeus, sekä laitteen toimintavarmuus, koska osat on testattu ja sovitettu toimimaan yhdessä. Laitteilla päästään myös parempaan energia- tehokkuuteen koska lämmönsiirrinten ja pumppujen koko ja teho voidaan mitoittaa tarkemmin sopimaan yhteen. Asennusvirheiden mahdollisuus myös vähenee koska asennuskohteessa tarvitsee tehdä vain putkiliitokset.

Elinkaarikustannuslaskennalla voitaisiin osoittaa, kuinka nopea asennus auttaa esimerkiksi tehtaissa lyhentämään tuotantokatkoksia ja kuinka paljon tällä voitaisiin säästää. Myös toimintavarmuuden paranemisen hyötyjen suuruutta voitaisiin arvioida elinkaarikustannuslaskennalla.

Tiedonkeruun ongelmana on lähinnä osoittaa kuinka paljon asennusvirheet / tuotantokatkokset oikeasti aiheuttavat yrityksille kuluja. Suurimmat höydyt modulaarisista lämmönjakokeskuksista kohdistuu asentajalle sekä asiakkaalle. Molemmat hyötyvät asennuksen nopeudesta ja helppoudesta. Yrityksen kannalta hyöty saataisiin lähinnä markkinoinnin kautta, myyntiä lisäämällä.

### *5.1.3.3 Palveluliiketoiminnan kehittämisen -sovelluskohde*

Lämmönjakokeskuksiin asennettavan etävalvonnan yhteyteen olisi mahdollista kehittää palveluliiketoimintaa. Tällä hetkellä yritys ei toteuta kyseistä palvelua, mutta sillä olisi mahdollisuus olla taloudellisesti kannattavaa liiketoimintaa. Etävalvonnan ansiosta huolto vikatilanteissa tehostuisi. Korjaaja näkisi suoraan, mikä lämmönjakokeskuksessa on vikana ilman että joutuu ensin ajamaan tarkistamaan tilanteen. Näin korjaukset tapahtuisivat nopeammin, mikä nostaa puolestaan toimintavarmuutta. Osa vioista voitaisiin myös havaita etukäteen ja korjata ennen hajoamista, mikä myös parantaa toimintavarmuutta. Etävalvonnan ansiosta myös ongelmat lämmönjakokeskuksen säädöissä voitaisiin havaita ja korjata. Näin voidaan varmistaa, että laitteisto toimii optimaalisesti ja kuluttaa mahdollisimman vähän energiaa.

Elinkaariamallintamisella voitaisiin osoittaa kuinka paljon rahaa (sekä esimerkiksi myös hiilidioksidipäästöjä) voidaan säästää optimaalisesti säädetyllä laitteistolla verrattuna säätämättömään. Elinkaarikustannuslaskentaa voidaan käyttää arvioimaan kuinka paljon potentiaalista säästöä toimintavarmuuden paranemisesta saadaan, esimerkiksi säästytään kalliilta korjauksilta pyhäpäivinä / öisin. Kun on saatu laskettua kuinka paljon hyötyä / säästöä asiakkaille tällaisesta toiminnasta olisi, pystyy yritys tehokkaasti arvioimaan, onko kyseisen palveluliiketoiminnan toteuttaminen taloudellisesti kannattavaa, ja kuinka paljon siitä pitäisi laskuttaa.

Etävalvonnan lisäksi palveluliiketoimintaan olisi mahdollista yhdistää myös lämmitysverkkojen tasapainon säätäminen. Monissa rakennuksissa lämmitysverkko ei ole tasapainossa, mikä estää rakennuksen tasaisen lämpenemisen. Kun lämmitysverkko on säädetty oikein, lämmitys toimii tehokkaammin, asuinmukavuus on parempi, laitteet (termostaatit patterit yms.) kestävät pidempiä aikoja. Kunnolla toimiva lämmitysverkko mahdollistaisi myös luonnonolojen huomioimisen lämmityksessä. Eli esimerkiksi talvisin tuulisella säällä tuulelle alttiin seinän puoleisten huoneiden lämmitystä voitaisiin lisätä, ilman että kaikkien huoneiden lämpötilaa nostettaisiin. Myös viimeaikoina suosiota saanut passiivienergian (auringon lämpö / valo) hyödyntäminen helpottuisi, kun eteläsvun huoneiden lämpötilaa voitaisiin laskea ja ottaa täysi hyöty auringonenergiasta ilman että asumismukavuus kärsisi rakennuksen muissa osissa.

Tiedonkeruun kannalta tämä sovelluskohde on vaikeampi. Kuten elinkaarikustannuslaskennassa useasti, luotettavuuteen liittyviä kustannuksia ei voida selvittää muuten kuin tilastotietojen avulla. Riippuen kuinka tarkkoja tilastoja ja kuinka pitkältä ajalta on saatavilla, tulos on joku suuntaa antava tai parhaassa tapauksessa kohtuullisen tarkka. Elinkaarimallintamisella voitaisiin selvittää mitkä olisivat potentiaaliset säästöt energiassa.

#### **5.1.4 Yrityksen 1 uhkakuvien torjuminen elinkaarimallinnusta soveltaen**

Kumpikaan yritykselle havaittu uhka ei ole yrityksen suorassa hallinnassa, eikä liity suoraan tuotteeseen tai tuotteen ominaisuuksiin. Sen takia niihin varautuminen on vaikeaa. Elinkaarimallintamisella voitaisiin kuitenkin selvittää ne tilanteet, missä kaukolämpö olisi edelleen paras lämmitysratkaisu muuttuneesta tilanteesta huolimatta. Koska molemmat uhat liittyvät samaan asiaan (kaukolämmön kannattavuus lämmitysratkaisuna), ne on huomioitu yhdellä sovelluskohteella.

##### *5.1.4.1 Matalaenergiatalojen pienentynyt lämmöntarve -sovellus*

Rakennusmääräysten kiristyessä rakennusten energian kulutus tulee pieneneään. Mikä pienentää lämmönjakokeskuksen etua pienissä käyttökustannuksissa, verrattuna esimerkiksi sähkölämmitykseen. Kiristyvien päästömääräyksiensä takia myös kaukolämmön tuotannon hinta voi kohota, mikä pienentää etua entisestään. Toisaalta, vaikka rakennuksen lämmittämiseen ei kuluisi energiaa ollenkaan, lämmintä käyttövetä tarvitaan. Elinkaarikustannuslaskennalla voitaisiin rakentaa malli millä voitaisiin testata eri tilanteita ja löytää ne parametrit millä kaukolämpö olisi edelleen edullisin lämmitysratkaisu.

Tietojen keruun kannalta mallinnus on haasteellinen, koska ei voida tarkasti tietää miten kaukolämmöntuotannon hinta tulee kehittymään tai kuinka energiatehokkaita rakennuksista tulee. Jos malli kuitenkin tehtäisiin, näitä tietoja voitaisiin tarkentaa sitä mukaan kun niitä tulisi saataville. Suoria taloudellisia hyötyjä ei liity sovelluskohteeseen, mutta saatavien tietojen avulla voitaisiin varautua tulevaisuuden haasteisiin tehokkaammin.

## 5.2 Yritys 2 SWOT-analyysi ja sovelluskohteiden määrittely

Yrityksen 2 tuotteelle tehdyn SWOT-analyysin tulokset on esitetty taulukossa 2. Vahvuuksina voidaan nähdä kiertopetikattilan monipuolisuus sekä koon että eri polttoainevaihtoehtojen suhteen. Tietyillä polttoaineilla kattila on myös erittäin ympäristöystävällinen. Monipuolisuuden kautta sovelluskohteet ja sitä kautta potentiaaliset markkinat ovat todella laajat.

Monipuolisuus aiheuttaa myös ongelmia, koska vaihtoehtoja polttoaineiden suhteen on monia, ei yhdellä selvityksellä voida osoittaa että kaikki kiertopetikattilat olisivat ympäristöystävällisiä. Valmistuksessa ja huollossa tarvitaan myös pieniä määriä haitallisia aineita. Heikkoutena voidaan pitää myös pitkiä tuotantoaikoja, sekä biopolttoaineille tarkoitettujen kattiloiden kalliimpia materiaaleja.

Monipuolisuus avaa myös suurimmat mahdollisuudet hyvin monenlaisiin käyttökoh-teisiin ja tilanteisiin on mahdollista valmistaa sopiva kattila. Työnlaadun vaikutus kattilan toimintaan ja käyttöikään voidaan pitää toisena vahvuutena.

Tuotteen valmistajan kannalta uhkina voidaan nähdä voima- / lämpölaitoksiin kohdistuvat uudet tiukemmat päästörajat, mitkä saattavat huonoimmassa estää kiertopetikattiloiden käytön. Käytettävissä olevien polttoaineiden saatavuus voi vaihdella rajustikin. Tuotantolaitosten sijaintiin ulkomailla liittyy myös omat uhkan-sa, kuten mahdolliset luonnonmullistukset sekä muutokset paikallisessa poliittisessä tilanteessa. Tätä kautta yritykseen myös mahdollisesti kohdistuu kritiikkiä mikä voi vaikuttaa tuotteiden myyntiin.

**Taulukko 2.** Yritykselle 2 tehty kiertopetikattilan SWOT-analyysi elinkaarimallintamisen kannalta

<p><b>VAHVUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiertopetikattilan monipuolinen polttoaineen käyttö</li> <li>• Erikokoisia yksiköitä eri käyttötarkoituksiin</li> </ul>	<p><b>HEIKKOUEDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Haitallisten aineiden käyttö valmistuksessa / huoltotöissä</li> <li>• Yksittäisen kattilan ympäristöystävällisyys tulee osoittaa tapauskohtaisesti</li> <li>• Biopolttoaineiden käytön kalliimmat materiaalikustannukset</li> </ul>
<p><b>MAHDOLLISUUDET</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laadun vaikutus toimintavarmuuteen / käyttöikään</li> <li>• Suuritehoisten kattiloiden rooli perusvoiman tuotannossa</li> </ul>	<p><b>UHAT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kiristyvien päästörajojen saavuttaminen</li> <li>• Polttokattiloihin ja / tai yrityksen tuotantoon ulkomailla kohdistuva kritiikki</li> <li>• Maantieteelliseen sijoittuvuuteen liittyvät uhat → luonnonmullistukset / poliittiset muutokset</li> </ul>

Taulukon 2 perusteella löydettyt sovelluskohteet on esitetty tarkemmin kappaleissa 5.2.1-5.2.4.

### 5.2.1 Yrityksen 2 vahvuuksien osoittaminen elinkaarimallinnusta soveltaen

Kuten aiemmin todettiin SWOT-analyysin vahvuuksiin liittyvät sovelluskohteet löytyvät yleensä tuotevertailusta. Elinkaarimallintamisella voitaisiin verrata keskenään eri tilanteissa kieropetikattilaa ja esimerkiksi tavallista polttokattilaa. Mallinnuksen avulla voitaisiin osoittaa ne tilanteet, joissa kiertopetikattila olisi ympäristöystävällisin ja / tai kustannustehokkain ratkaisu. Monipuolisen polttoaineen käytön takia vertailua voidaan tehdä myös jätteenkäsittelyvaihtoehtojen välillä, esimerkiksi jätteiden sijoittaminen kaatopaikalle ja energiantuotanto kivihiilellä verrattuna jätteiden polttoon kiertopetikattilassa.

### 5.2.1.2 *Vertailuja eri toimintojen välillä -sovelluskohde*

Lähtökohtaisesti ensin kannattaisi tehdä karkea mallinnus, minkä pohjalta voitaisiin arvioida onko edes teoreettisia mahdollisuuksia, että kiertopetikattilaa voitaisiin soveltaa kyseisessä kohteessa tehokkaasti. Toisaalta tällä tavoin on mahdollista löytää yllättäviäkin sovelluskohteita ja sitä kautta laajentaa markkinoita entisestään. Tarkempaan mallinnukseen liittyvät ongelmat sekä potentiaaliset hyödyt ovat tapauskohtaiset.

### **5.2.2 Yrityksen 2 heikkouksilta suojauminen elinkaarimallintamista soveltaen**

Elinkaarimallintamisella voitaisiin selvittää millaisia polttoaineita ja kuinka paljon kattilan pitää käyttää, jotta se kannattaisi rakentaa bio-polttoaineille sopivista materiaaleista. Sinänsä ei erillinen sovelluskohde, mutta jos kattilan käyttöä kuvaava elinkaarimallintamisen malli tehdään riittävän hyvin, pystytään sitä soveltamaan eri tilanteisiin parametreja vaihtamalla. Näin ollen käyttötarkoituksissa ja kohteissa toimivien kattiloiden ympäristövaikutukset pystytään arvioimaan suhteellisen nopeasti ja edullisesti. Kattilan tuotannossa sekä huoltotöissä tarvittaviin haitallisiin aineisiin, ei ole elinkaarimallintamisen sovelluskohdetta, mistä olisi yritykselle erityistä hyötyä mitä ei voida saavuttaa muuten.

#### 5.2.2.1 *Biopolttoaineiden vaativien materiaalien -sovelluskohde*

Jotta kiertopetikattilassa voitaisiin hyödyntää kaikkia bio-polttoaineita, täytyy se valmistaa kalliimmista materiaaleista kuin tavanomaisille polttoaineille tarkoitettu kattila. Nämä materiaalit ovat huomattavasti kalliimpia, joten ei ole kannattavaa tehdä kattilaa bio-polttoainekelpoiseksi vain varmuuden vuoksi. Elinkaariarvioinnin avulla voitaisiin arvioida kuinka paljon bio-polttoaineita kattilassa pitäisi sen käyttönsä aikana polttaa vähintään, jotta pienentyneet hiilidioksidipäästöt ja / tai pienempi polttoaineen hinta riittäisivät korvaamaan kalliimman hinnan.

Tiedonkeruun ongelmana on, että hiilidioksidipäästönnin hintaa on mahdotonta arvioida tarkasti pitkälle tulevaisuuteen, oletettavasti se tulee nousemaan. Toisaalta elinkaariarvioinnin toteuttaminen on tässä tapauksessa suhteellisen yksinkertaista,

joten siltä kannalta toteuttaminen voisi olla kannattavaa. Yritys pystyisi mahdollisesti näin lisäämään kalliimpien kattiloiden myyntiä.

### **5.2.3 Yrityksen 2 mahdollisuuksien hyödyntäminen elinkaarimallintamista soveltaen**

Elinkaarikustannuslaskennan avulla voitaisiin tehdä arvioita, kuinka paljon asiakas hyötyy rahallisesti ostamalla hieman kalliimman mutta laadukkaamman kattilan, kun huomioidaan koko elinkaaren aikaiset kustannukset. Toinen mahdollisuus olisi hyödyntää elinkaarimallinnusta osoittamaan että suuritehoisten kattiloiden käyttö perusvoiman tuotannossa voisi kilpailla esimerkiksi ydinvoiman kanssa.

#### *5.2.3.1 Laatuun liittyviä -sovelluskohteita*

Kattilan laatuun liittyviä sovelluskohteita löydettiin kaksi, koska ne ovat tiedon keruun ja käsittelyn kannalta samantyylliset, käsitellään ne kummatkin tässä. Neljäkymmenen vuoden käyttöiän aikana kattila rakennetaan käytännössä uudelleen, tämä kuvastaa osaltaan tarvittavien varaosien ja huoltojen määrää. Elinkaarikustannuslaskennan avulla olisi mahdollista selvittää kuinka laatu vaikuttaa tarvittaviin korjauksien määrään ja tiheyteen.

Hitsausnaamojen tarkistaminen on toinen selkeästi kattilan laatuun liittyvä sovelluskohde. Nykyisin kattiloiden hitsausnaamoista tarkistetaan osa. Jos jälleen pystyttäisiin osoittamaan, että tarkistamalla esimerkiksi suurempi osa tai jopa kaikki saumat, kattilan toimintavarmuus paranee havaittavasti, voitaisiin saumojen laajempaa tarkistusta myydä palveluna, tai nostaa entisestään kattilan toimintavarmuutta

Toinen laatuun liittyvä sovelluskohde on työntekijöiden ammattitaidon / kokemuksen vaikutus laatuun. Eli vertailu onko kattilan laadulla eroa sen mukaan missä maassa se on tuotettu. Jos laadussa on havaittavia eroja, elinkaarikustannuslaskennan avulla voitaisiin selvittää, kuinka paljon enemmän laadukkaasti (korkeammilla työvoimakustannuksilla) valmistettu kattila saisi maksaa verrattuna halvemmilla työvoimakustannuksilla tehtyyn, jotta ero voitaisiin perustella paremmalla laadulla.

Tiedonkeruun kannalta nämä kaikki ovat kuitenkin haasteellisia ja vaativat laajoja tilastotietoja erityyppisissä käyttökohteissa olleiden kattiloiden huoltojen aiheutta-

mista kokonaiskustannuksista. Jos pystytään selkeästi osoittamaan että laadukkaampien kattiloiden kokonaiskustannukset ovat pienemmät, voidaan kattiloiden korkeampi hankintahinta perustella helpommin asiakkaille.

Sovelluskohteen toteutettavuus riippuu pääasiallisesti siitä, kuinka laajat tilastot yrityksellä on käytettävissä kiertopetikattiloiden luotettavuudesta, vai pitäisikö ne kerätä. Jos tiedot ovat jo olemassa tai kohtuullisen helposti hankittavissa ja mallinnus tehdään, niin yritys hyötyy tiedoista markkinoinnin apuna. Parhaassa tapauksessa voidaan myös osoittaa, että tuotantoa kannattaa toteuttaa laadukkaammin korkeammista työvoimakustannuksista huolimatta.

#### *5.2.3.1 Suuret kiertopetikattilat -sovelluskohde*

Nykyisellä tekniikalla on mahdollista rakentaa jopa 800MW polttoainetehon kiertopetikattiloita. Polttoainevalinnoista riippuen ne voivat olla myös hyvin ympäristöystävällisiä. Elinkaarimallintamisen avulla voitaisiin toteuttaa vertailua esimerkiksi sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ydinvoimaan verrattuna.

Tietojen keruussa ei elinkaariarvioinnin osalta ole juurikaan ongelmia, elinkaarikustannuslaskennassa isoimmaksi ongelmaksi varmaankin muodostuisi ydinvoimaan liittyvien riskien huomioiminen. Kiertopetikattilalla toteutetun voimalaitoksen huoltovarmuus poikkeustilanteissa olisi myös huomattavasti suurempi monipuolisen polttoaineenkäytön takia.

Suuritehoisten kattiloiden kilpailukyvyn osoittaminen avaisi varmasti lisää mahdollisuuksia yritykselle. Tässä olisi myös mahdollisuutta vaikuttaa päättäjiin ja tarjota ydinvoimalle vaihtoehtoa. Toteuttamiselle ei pitäisi olla erityisiä esteitä.

#### **5.2.4 Yrityksen 2 uhkakuvien torjuminen elinkaarimallintamista soveltaen**

Maantieteelliseen sijoittuvuuteen liittyvät uhat tulevat lähinnä yritykseen kohdistuvan kritiikin muodossa. Kritiikin torjuntaa varten tarvitaan konkreettisia faktoja. Elinkaarimallintamista voitaisiin käyttää näiden faktojen tuottamiseen. Toisaalta kritiikki voi kohdistua kattilaan tuotteena, tällöin mallintamisella voidaan osoittaa

kattiloiden ympäristöystävällisyys. Kiristyvät päästörajat ovat pohjimmiltaan tekninen ongelma, mutta niihin liittyen löydettiin elinkaarikustannuslaskennan sovelluskohde.

#### *5.2.4.1 Kritiikin torjunta -sovelluskohde*

Yrityksellä on tuotantoa useissa maissa. Kattiloiden suuren koon ja materiaalitarpeen takia tästä voi aiheutua huomattavia kuljetusmatkoja ja -kustannuksia niin raaka-aineille kuin valmiille tuotteillekin. Laatuun liittyvissä sovelluskohteissa (5.2.3.1) tuotettuja tietoja voidaan soveltaa myös kritiikin torjuntaan. Näiden tietojen avulla voidaan perustella miksi tuotanto on mahdollisesti kannattavampaa toteuttaa edullisemmalla työvoimalla kuin mahdollisesti taitavammalla, mutta kalliimmalla. Elinkaarikustannuslaskennalla voitaisiin osoittaa nämä kustannukset selvästi. Elinkaariarvioinnilla puolestaan voitaisiin osoittaa, että valmistuksen ja käyttöönoton aikaiset ympäristövaikutukset ovat mitättömän pienet suhteessa käytön aikaisiin vaikutuksiin. Näin ollen tuotantopaikalla ei olisi ympäristön kannalta merkitystä (samanlaiset laitokset).

Tiedon keruuseen pätee samat ongelmat elinkaarikustannuslaskennan osalta kuin aikaisempiin laatuun liittyviin sovelluskohteisiin, eli tarvitaan hyvin laajoja tilastollisia tietoja eri kattiloiden huolloista ja toimintavarmuudesta. Elinkaariarvioinnin osalta tiedon keruu pitäisi olla suhteellisen ongelmaton.

Toisaalta kritiikki ei ainakaan toistaiseksi ole yrityksen kannalta merkittävä uhka. Tai ei ainakaan niin merkittävä, että sen torjumiseksi kannattaisi käyttää paljon resursseja. Jos laatuun liittyvät sovelluskohteet toteutetaan (5.2.3.1) kannattaa tämä käyttökohde tiedoille huomioida, muussa tapauksessa hyödyt eivät varmaankaan olisi panosten arvoiset.

#### *5.2.4.2 Kiristyvien päästörajojen -sovelluskohde*

Kuten aiemmin todettu, kiristyvät päästörajat ovat lähinnä teknillinen ongelma. Tekniikan kehittyessä päästöjä voidaan merkittävästä vähentää (esimerkiksi CO<sub>2</sub>-talteenotto). Uudelle tekniikalle on kuitenkin tyypillistä, että se on kallista. Elinkaarikustannuslaskennalla voitaisiin selvittää missä tilanteissa esimerkiksi juuri CO<sub>2</sub>-

talteenottolaitteisto olisi kustannustehokas ratkaisu verrattuna päästöoikeuksien ostamiseen.

Tiedonkeruun kannalta suurin ongelma on, että uusista teknillisistä ratkaisuista ei ole mahdollista saada käyttötietoja, joiden perusteella elinkaarikustannukset voitaisiin laskea. Tämän takia joudutaan tyytymään arvioihin mikä heikentää tarkastelun lopputuloksen tarkkuutta, myöskään päästöoikeuksien hintoja ei voida arvioida tarkasti pitkälle tulevaisuuteen.

Suurin ongelma toteutettavuudelle on lähtötietojen suuret oletukset. Vaikka mallin-  
nus tehtäisiin hyvin, vastaus on kuitenkin vain arvio ennen kuin uutta tekniikkaa on ollut käytössä pidemmän aikaa.

## 6 TULOKSET

Kuvassa 11 on esitetty elinkaarimallintamisen sovelluskohteiden löytämiseksi käytetty lähestymistapa.



**Kuva11.** Elinkaarimallintamisen sovelluskohteiden tunnistaminen.

Ensimmäinen vaihe on tutkittavan tuotteen / palvelun valinta. Tarkoituksena on päättää mille yrityksen toiminnan osalla mallintaminen tehdään. Jos yrityksessä ei osata valita selkeästi yhtä kohdetta, voidaan sovelluskohteita etsiä aluksi usealle kohteelle. Kun havaitaan että mihin lupaavimmat sovelluskohteet liittyvät, keskitytään siihen.

Ominaisuuksien tunnistamisessa yhteistyössä yrityksen kanssa pyritään löytämään tutkittavan kohteen vahvuudet ja heikkoudet.

SWOT-analyysissä tunnistetut vahvuudet ja heikkoudet sijoitetaan SWOT-analyysin mukaiseen nelikenttään (taulukko 1), jota verrataan yleisimpiin elinkaarimallintamisen hyötyihin (taulukko 2).

SWOT-analyysin tietojen pohjalta pystytään tarkemmin määrittelemään sovelluskohteet. Mitkä ovat niiden oletetut taloudelliset hyödyt sekä tietotarpeet.

Viimeisessä vaiheessa yrityksen tehtäväksi jää verrata oletettavia hyötyjä suhteessa sovelluskohteen toteuttamiseen tarvittaviin resursseihin, ja arvioida onko toteuttaminen kannattavaa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Koska elinkaarimallintaminen on kohtuullisen monimutkainen ja omanlaista terminologiaa käyttävä prosessi, ei Pk-yritysten yleensä kannata tehdä sitä itse. Useimmissa tapauksissa tulee halvemmaksi hankkia ulkopuolinen konsultti. Tämä säästää sekä aikaa että rahaa, koska näin voidaan suoraan välttää useimmat perusongelmat. Ulkopuolinen tekijä parantaa myös analyysin läpinäkyvyyttä ja luotettavuutta muiden silmissä. Tämän takia myös suurempien yritysten kannattaa harkita ulkopuolisten konsulttien käyttöä ainakin vertaisarviointiin. Jos ulkopuolista tahoja käytetään mallinnuksen tekemiseen, kannattaa yrityksissä kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin. Voiko toimitettuun malliin lisätä omia tietoja, onko käytetyt tiedot esitetty läpinäkyvästi, ovatko tietolähteet sopivia tarkasteltavaan tilanteeseen, soveltuvatko oletukset / yleistyksiset tarkasteltavaan tilanteeseen (esimerkiksi sähköntuotannon kuvaamiseen käytetty jakauma), ovatko vaikutusluokat soveltuvia tavoitteeseen, ja kuinka paljon selvitys tulee maksamaan. (Andersson et al. 1998, 97)

Kuitenkin yleisellä tasolla elinkaarimallintamista kannattaa hyödyntää. Se ei ole ratkaisu kaikkiin ongelmiin mutta tehokas ajattelutapa, joka tarjoaa kaksi hyödyllistä työkalua elinkaariarvioinnin ja elinkaarikustannuslaskennan. Kumpakaan tai vain toista käyttämällä on mahdollista saada tuotettua lisäarvoa yritykselle.

Työssä käsitellyille esimerkkiyrityksille pystyttiin löytämään useita erityyppisiä sovelluskohteita. Huomattavaa on, että sovelluskohteiden vaatimukset kerättävän tiedon osalta vaihtelivat suuresti. Toisaalta myös oletettavissa olevat hyödyt vaihtelivat paljon, mutta ei kuitenkaan niin että suuri tietotarve välttämättä tarkoittaisi suurta oletettavissa olevaa hyötyä. Tämän perusteella on mahdollista arvioida sovelluskohteiden kannattavuutta, jos oletettava hyöty on suuri ja tarvittavat panostukset pieniä, mallinnus kannattaisi todennäköisesti tehdä. Erityisen hyvin tämä pitää paikkansa jollekin tuotteelle tai yksittäiselle palvelulle tehdyssä sovelluksessa. Silloin on mahdollista, että saman mallinnuksen tuloksia voidaan sellaisenaan, tai mallia vähän säätämällä saatuja tuloksia soveltaa useaan sovelluskohteeseen. Epävarmuutta kan-

nattavien sovelluskohteiden valintaan aiheuttaa hyötyjen arvaamattomuus. millakin oletetut hyödyt ovat vain karkeita arvioita.

Löydyttyjen sovelluskohteiden kannattavuus vaihteli paljon, ja on yrityksen tilanteesta riippuvaa millaisilla resursseilla asiaa mahdollisesti voidaan lähteä viemään eteenpäin. Huomioitavaa kuitenkin on, että nopean arvion perusteella todennäköisesti kannattavia (eli sellaisia joista saatavat hyödyt olisivat rahassakin mitattuna suuremmat kuin panostukset) sovelluskohteita löydettiin molemmille yrityksille. Potentiaalia elinkaarimallintamisen hyödyntämiselle siis on olemassa.

Sovelluskohteiden tunnistamiseksi kehitetty viitekehys toimii kohtuullisesti. Toimintaan vaikuttaa oleellisesti SWOT-analyysin taso ja kuinka tarkasti siinä saadaan huomioitua tutkittavan kohteen ominaisuudet. Myös tekijän tiedot elinkaariarvioinnista ja elinkaarimallintamisesta vaikuttavat sovelluskohteiden löytämiseen. Kaikkia mahdollisia ominaisuuksia, jotka sopisivat taulukkoon, ei ole järkevää lähteä tutki-  
maan. Huomioitavia ominaisuuksia on pystyttävä karsimaan, jotta mahdolliset hyvät sovelluskohteet eivät hukkuisi suuren tietomäärän sekaan.

Molemmat esimerkkiyritykset olivat teollisuusyrityksiä ja lähestymistapa on osittain kehitetty vastaamaan tuotantoyritysten tarpeisiin. Mutta ei pitäisi olla mitään syytä, miksi lähestymistapaa ei voisi soveltaa myös muun tyyppisille yrityksille. Suurimmat erot erityyppisten yritysten välillä tulee siinä, mihin SWOT-analyysin nelikentän osaan tunnistetut ominaisuudet painottuvat. Sovelluskohteiden löytämiseen tämä ei kuitenkaan vaikuta, koska ei ole merkitystä vaikka osa nelikentästä jäisi tyhjäksi.

**LÄHTEET:**

Andersson I. (projektipäällikkö). 1998. Environmental management tools for SMEs a handbook. Environmental Issues series, No 10. Italia. ISBN 92-9167-106-1

Energiateollisuus. 2010. Kaukolämpö. [verkkosivu]. [viitattu 21.5.2010] Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kaukolampo>

Haverila. M., Uusi-rauva. E., Kouri. I., Miettinen. A., 2005. Teollisuustalous. Viides painos. Tampere. ISBN 951-96765-5-4

Huhtinen M., Kettunen A., Nurminen P., Pakkanen H., 1994. Höyrykattilatekniikka. Kuudes muuttamaton painos. Helsinki. ISBN 951-37-3360-2

IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis, Chapter 2.

Linnanen L., Boström T., Miettinen P. 1994. Ympäristöjohtaminen elinkaariajattelu yrityksen toiminnassa. Juva. ISBN 951-35-5859-2

Norris, G. 2000 Estimating the Value of Life Cycle Assessments. Presentation for the 1st International conference on life cycle management, Copenhagen, 2000.08.26-29 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.lca-net.com/files/value.pdf>

Pedersen B. (toim.). 1993. Environmental assessment of products, a course on life cycle assessment. Helsinki. ISBN 951-9110983-6

Rabitzer G., Ekvall T., Frischknecht R. Hunkeler D., Norssit G., Rydberg T., Schmidt W.-P., Suh S. Weidema B.P., Pennington D.W. 2004. Life Cycle Assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environmental International Vol 30, p. 701-720

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller. 2007. IPCC 4th Assessment Report, Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Tiitinen, M. 2010. Energiavuosi 2009 kaukolämpö. Energiateollisuus. [verkkodokumentti]. [viitattu 21.5.2005] Saatavissa: [http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kirjasto/kalvosarjat/kl\\_kalvopaketti\\_ennakkotiedot\\_2009.ppt](http://www.energia.fi/fi/kaukolampo/kirjasto/kalvosarjat/kl_kalvopaketti_ennakkotiedot_2009.ppt)

Vigon B. W., Tolle D. A., Cornaby B. W., Latham H. C., Harrison C.L., Boguski T. L., Hunt R. G., Sellers J.D. 1993. Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles. Cincinnati.

Woodward, David. 1997. Life cycle costing – theory, information acquisition and application. International Journal of Project Management. Vol 15, No. 6, p. 335-344

#### Standardit

SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen standartoimisliitto

SFS-EN ISO 14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen standartoimisliitto

IEC 60300-3-3. 2004. Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing. Second edition. Geneva: International Electrotechnical Commission.