



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

TUOTANTOTALOUDEN TIEDEKUNTA

Kustannusjohtaminen

Elinkaarilaskentamallit ja niiden kritiikki

Life-Cycle Models and Criticism

Kandidaatintyö

Ville Sihvola

Lauri Valkonen

TIIVISTELMÄ

Tekijät: Ville Sihvola ja Lauri Valkonen

Työn nimi: Elinkaarilaskentamallit ja niiden kritiikki

Vuosi: 2014

Paikka: Lappeenranta

Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Tuotantotalous.

38 sivua, 5 kuvaa ja 3 taulukkoa.

Tarkastaja: Tiina Sinkkonen

Hakusanat: Elinkaarilaskenta, Elinkaarilaskentamalli, kritiikki

Keywords: LCC, Life-cycle cost model, criticism

Tässä työssä tarkastellaan elinkaarilaskentamalleja ja niihin liittyvää kritiikkiä. Työn tarkoitus on kartoittaa olemassa olevia malleja ja niiden erityispiirteitä. Toisena tutkimustavoitteena pohditaan elinkaarilaskentaan liittyvää kritiikkiä ja epäkohtia.

Työssä esitellään elinkaarilaskennan käsitteitä, teoriaa, taustaa ja malleja. Työhön on valittu käsiteltäväksi 10 erilaista elinkaarilaskentamallia, joiden ominaisuuksia tarkastellaan. Kritiikkiä elinkaarilaskentaa kohtaan tarkastellaan omana kokonaisuutenaan.

Päähavaintoina elinkaarilaskentamallit ovat spesifejä ja soveltuvat pitkälti vain niiden alkuperäiseen laskentakohteeseen. Valituista malleista on havaittavissa kolme keskeistä pääsuuntausta, joihin laskenta keskittyy. Nämä suuntaukset ovat ympäristökeskeiset, huoltokeskeiset ja optimointikeskeiset LCC-mallit.

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
1.1	Työn tausta, tavoite ja tutkimuskysymykset	4
1.2	Rajaukset, menetelmät ja rakenne	4
2	ELINKAARILASKENTA JA -MALLIT	6
2.1	Elinkaaren määritelmä	6
2.2	Elinkaarilaskennan keskeisimmät käsitteet	9
2.3	Elinkaarimallit	11
3	KIRJALLISUUDESTA VALITUT MALLIT	13
3.1	Käsiteltävät mallit	13
3.2	Kolmivaiheinen LCC-arviointimalli	14
3.3	Ilmastointilaitteiden LCC	15
3.4	LCC-malli rautatiekalustolle	17
3.5	Huollettavien kohteiden LCC-malli	18
3.6	Toimintoperusteinen LCC-malli	19
3.7	Ympäristökeskeinen LCC-malli	20
3.8	LCC:n ja systeemin luotettavuuden tasapaino	21
3.9	Optimi LCC validoinnin ja takuukustannusten välillä	22
3.10	LCC-malli voiton maksimoimiseksi	23
3.11	LCA-yhteensopiva LCC-malli	25
4	ELINKAARILASKENNAN PUUTTEET	28
4.1	LCC-laskennan yleiset ongelmat	28
4.2	Ympäristön huomiointi	28
4.3	Nykyarvon määrittäminen	29
4.4	Arvonmäärittäminen ongelmat	31

4.5	Laskennalliset ongelmat ja epävarmuus	31
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	33
	LÄHTEET	36

LYHENNELUETTELO

LCC	Life-Cycle Costing; Elinkaarikustannukset
LCA	Life-Cycle Assessment; Elinkaaren ympäristövaikutusten arviointi
AB-LCC	Activity-based Life-Cycle Costing; Toimintoperusteinen elinkaarilaskenta
LCECA	Life-Cycle Cost Environmental Analysis; Ympäristöelinkaarikustannusanalyysi
TCA	Total Cost Assessment/Total Cost Accounting; Laaja talousanalyysi kuluista ja säästöistä
FCA	Full Cost Accounting; Kokonaiskustannusten laskentatoimi
FCEA	Full Cost Environmental Accounting; FCA, joka huomioi myös ympäristökulut
LCCA	Life-Cycle Cost Analysis; Elinkaarikustannusanalyysi
LCCA	Life-Cycle Cost Assessment; LCC, joka huomioi myös ympäristönäkökulmat

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta, tavoite ja tutkimuskysymykset

Elinkaarilaskenta on yleistynyt viime vuosina tiukentuneesta taloustilanteesta johtuen. Yritysten on tärkeämpi tuntea kustannuksensa entistä paremmin. Konseptina elinkaarilaskenta on yleistynyt valtavasti, mutta yhtä ainoaa kaikkia kustannuksia huomioivaa mallia ei ole vielä olemassa. Elinkaarilaskennalle on kehitelty lukuisia analyysityökaluja ja laskentamalleja.

Tämä työ on luonteeltaan kirjallisuuskatsaus. Tutkielmassa etsitään ja vertaillaan erilaisia analyysityökaluja sekä laskentamalleja liittyen elinkaarilaskentaan. Työn tarkoitus on kartoittaa olemassa olevia malleja ja niiden erityispiirteitä sekä pohtia elinkaarilaskentaan liittyvää kritiikkiä ja epäkohtia.

Työn tutkimuskysymykset ovat:

1. Minkälaisia elinkaarilaskentamalleja on olemassa?
2. Minkälaista kritiikkiä niitä kohtaan on esitetty?

1.2 Rajaukset, menetelmät ja rakenne

Elinkaarimallien runsaudesta johtuen pystymme käsittelemään niistä vain murto-osaa. Osa elinkaarilaskentaa käsittelevistä artikkeleista keskittyy teoriakehikoiden luomiseen, toiset laskentamallien kehittämiseen tiettyihin käyttökohteisiin. Työhön valittiin käsiteltäväksi vain malleja, jotka tarjoavat laskenta- tai analyysityökalun käyttäjälleen. Työhön pyrittiin valitsemaan mahdollisimman monipuolinen ja kattava katsaus erilaisista malleista. Työ keskittyy kustannuksia käsitteleviin elinkaarimalleihin. Nämä valitut elinkaarilaskentamallit käsittelevät valtaosin tuotteita ja investointeja.

Elinkaarilaskennan teoriaa käsitellään luvussa 2. Luvussa avataan elinkaarilaskennan keskeisimpiä käsitteitä ja selitetään, mitä elinkaarilaskentamallit ovat. Luku 3. esittelee työssä käsitellyt mallit. Malleista esitetään keskeisimmät laskentakaavat sekä käyttötarkoitukset. Luvussa 4. käsitellään elinkaarimalleihin sekä elinkaarilaskentaan liittyvää yleistä kritiikkiä. Luvussa 5. todetaan työn kannalta tärkeimmät havainnot ja esitellyt mallit kootaan

yhteenvedotaulukkoon. Työhön on sisällytetty kuvia, kaavoja ja taulukoita havainnollistamaan esitettyjä asioita.

2 ELINKAARILASKENTA JA -MALLIT

2.1 Elinkaaren määritelmä

Elinkaarella tarkoitetaan koko sitä tuotteen, hankkeen, projektin, investoinnin tai palvelun ikää, joka alkaa sen suunnittelusta ja kestää sen käytöstäpoistoon saakka. Elinkaaren avulla sekä valmistajat että asiakkaat pystyvät paremmin hahmottamaan, ennustamaan ja hallitsemaan kuluja ja tuottoja. (Bengu & Kara, 2010)

Käsitteellä elinjakso on pieni merkitysero elinkaareen verrattuna. VTT:n raportin (2009, 14) mukaan elinkaari käsittelee vain valmistajan aikaiset tapahtumat, eikä se esimerkiksi ota huomioon myyntitapahtuman jälkeisiä kuluttajan toimia. Elinjakso taas huomioi kaiken aina tuotekehityksestä käytöstäpoistoon asti. Englannin kielessä näille käsitteille ei tehdä eroa. Tästä syystä työssä ei pysty erottamaan, onko englanninkielisessä kirjallisuudessa käytetyllä life-cycle -termillä tarkoitettu elinkaarta vai elinjaksoa. Myöskään Jokinen (2011, 7) ei määrittele eroa näiden käsitteiden välille. Tässä työssä käytetään vain käsitettä elinkaari, ja se kattaa kaikki mahdolliset vaiheet.

Elinkaari koostuu useista erilaisista vaiheista, joiden ominaisuudet eroavat toisistaan. Tuotteen elinkaaren voidaan ajatella koostuvan neljästä erilaisesta vaiheesta: esittelystä, kasvusta, kypsytyksestä ja vetäytymisestä. Tätä jakoa ei voida yleistää kaikkeen. Esimerkiksi, jos puhutaan valmistuksen elinkaaresta, vaiheet ovat idea, suunnittelu/parannus, valmistus ja jakelu. (Bengu & Kara, 2010)

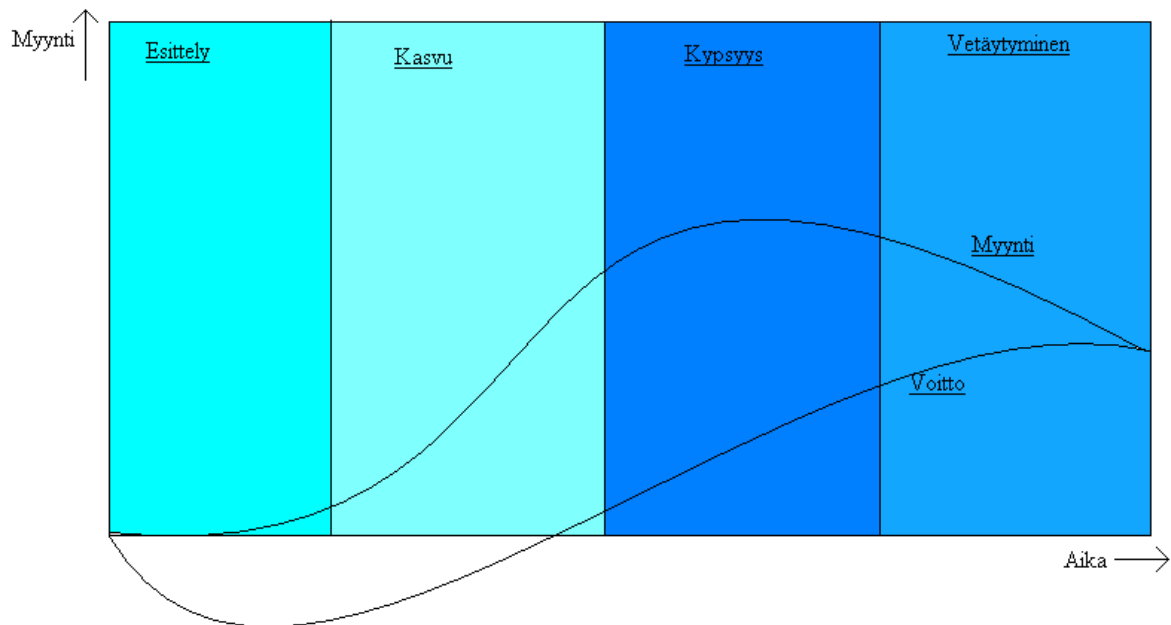
Esittelyvaiheessa myynti on pientä. Tuotteesta kiinnostuvat visionäärit ja edelläkävijät. Suuria kuluja (T&K, markkinointi, valmistus) ei ole vielä saatu katettua. Tuotteeseen pystytään tekemään ehkä vielä pieniä muutoksia. Tässä vaiheessa myös hinnoittelu on yleensä verrattain korkeaa (Bengu & Kara, 2010). Tuotteen selviytyminen markkinoilla määrittyy yleensä tässä vaiheessa. Oikean markkinointistrategian valitseminen on tärkeää (Mohan & Krishnaswamy, 2006).

Kasvuvaiheessa valtaosa potentiaalisista asiakkaista havaitsee tuotteen ja sen edut. Tuote saa yleisen hyväksynnän ja myynti kasvaa voimakkaasti. Jossain kohdassa tulot ylittävät kulut ja

voittoa alkaa muodostua. Tuotteeseen voidaan lisätä ominaisuuksia, mutta yrityksen tulisi pyrkiä massatuotannon etuihin. Markkinointikulut kasvavat huomattavasti, ja markkinoinnin päätehtäviin kuuluu muun muassa brändin luominen. Tuotteen jakelukanavia tulisi laajentaa. Yrityksen on tehtävä valinta korkean markkinaosuuden ja korkean tuoton välillä. Kilpailijat liittyvät markkinoille. (Bengu & Kara, 2010; Mohan & Krishnaswamy, 2006)

Kypsyysvaihe on yleensä pisin ja tärkein vaihe elinkaareissa. Yritys voi joutua muuttamaan strategiaansa. Myynti on tällöin maksimissaan ja voitoilla pitäisi pystyä kattamaan kaikki elinkaaren aikaiset kulut. Massatuotanto on yleisin valmistustapa. Jakeluverkosto pyritään optimoimaan. Kilpailu substituuttien välillä on kovinta tässä vaiheessa elinkaarta. Loppua kohden myynti ja tuotot alkavat pienenemään, jolloin vetäytymistä ja sen strategiaa tulisi alkaa miettiä. Muita tärkeitä tekijöitä kypsyysvaiheessa ovat hinnan alennukset, segmentointi, komplementti tuotteet ja tuoteportfolion kasvattaminen. (Bengu & Kara, 2010; Mohan & Krishnaswamy, 2006)

Vetäytymisvaiheessa uusien kilpailevien tuotteiden määrä ja myynti kasvaa merkittävästi. Yrityksen tulee vetäytyä, uudelleen positoida tuote tai kehittää kokonaan uusi tuote. Kulut kasvavat mutta hinta kuitenkin pienenee. Markkinointia vähennetään ja jakelukanavia yksinkertaistetaan. Varastoista tulee päästä eroon. Kannattamattomat tuotteet poistetaan tuoteportfoliosta. Tuotteen valmistusta vähennetään ja lopulta se lopetetaan (Bengu & Kara, 2010; Mohan & Krishnaswamy, 2006). Edellä mainitut vaiheet kuvataan voittojen ja myynnin osalta S-käyränä kuvassa 1. Käyrän nimi tulee sen muodosta. (Rafinejad, 2007, 82-83)



Kuva 1: Elinkaaren S-käyrä (Rafinejad, 2007, 82-83)

Elinkaarilaskentaa suorittaessa voidaan tunnistaa kolme rinnakkaista elinkaarta: tuote, prosessi ja tuotteen tuki (Asiedu & Gu, 1998). Tuotteen elinkaaren eri vaiheita on ehdotettu jaettavaksi peräti kuuteen eri vaiheeseen (Alting, 1993), mutta liian monimutkaisuuden välttämiseksi määritetään ne neljään: suunnittelu ja kehitys, tuotanto, käyttö ja käytöstäpoisto. Prosessille on löydettävissä kolme vaihetta: systeemisuunnittelu, tuotanto-operaatiot ja kierrätysprosessi. Tuotteen tukivaiheita taas ovat systeemisuunnittelun tuki, huollon tuki ja kierrätyksen tuki. (Asiedu & Gu, 1998)

Tuotteen elinkaarikustannukset kohdentuvat kolmelle eri osapuolelle. Alussa kustannukset kohdentuvat pääosin tuotteen valmistajalle. Tuotteen käyttäjälle kustannuksia tulee hankinnasta ja tuotteen mahdollisesta huollosta sekä kierrätyksestä. Tuotteesta riippuen vaikeasti laskettavia kustannuksia saattaa muodostua yhteiskunnalle monista eri tekijöistä, esimerkiksi valmistusprosessin saastuttavuudesta tai kierrätykseen kelpaamattoman tuotteen loppusijoituksesta (Asiedu & Gu, 1998). Näitä kustannuksia havainnollistetaan taulukossa 1. Myöhemmissä osioissa käsitellään elinkaarilaskentamallien kritiikkiä ja niiden kykyä huomioida näitä kustannuksia.

Taulukko 1. Tuotteen elinkaaren vaiheiden kustannukset (Asiedu ja Gu, 1998)

	Yrityksen kustannukset	Käyttäjän kustannukset	Yhteiskunnan kustannukset
Suunnittelu ja kehitys	Markkinoiden tunnistaminen Tuotekehitys		
Tuotanto	Materiaalit Energia Tuotantolaitokset Palkat		Jätteet Saasteet Terveysvaikutukset
Käyttö	Kuljetus Varastointi Jätteet Hävikki Takuu palvelut	Kuljetus Varastointi Energia Materiaalit Huolto	Pakkaukset Jätteet Saasteet Terveysvaikutukset
Käytöstäpoisto /kierrätys		Hävittäminen Kierrätys	Jätteet Kierrätys Saasteet Terveysvaikutukset

2.2 Elinkaarilaskennan keskeisimmät käsitteet

Työn kannalta keskeisimpiä käsitteitä ovat LCC, LCA, AB-LCC ja LCECA. Life-Cycle Costing (LCC) on yksi keskeisimmistä käsitteistä. Suomeksi se tarkoittaa elinkaarikustannuksia. LCC:llä tarkoitetaan laskentaa, joka mahdollistaa vertailevan kuluarvioinnin tietyltä aikajaksolta. Mallille ei ole olemassa mitään tiettyä sisältö- tai muotovaatimusta, joten kulujen kategoriointi vaihtelee. Toisin sanoen LCC on kulujen yhteenlaskua ja diskonttausta koko elinkaaren ajalta. (Gluch & Baumann, 2004)

Life-Cycle Assessment (LCA) on paljon käytetty konsepti tunnistamaan tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusta (Heijungs, Settanni & Guineé, 2013). LCA on ympäristön ja energiankulutusta tarkasteleva malli, joka keskittyy tuotteen koko elinkaareen raaka-aineiden hankinnasta lopputuotteen hävittämiseen (Asiedu & Gu, 1998). LCA analyysi voidaan jakaa kolmeen osaan: valmistus-, vaikutus- ja parannusanalyysiin. Valmistusanalyysi tarkoittaa perinteistä LCC-laskentaa, joka summaa työ-, raaka-aine-, energia- ja yleiskulut läpi elinkaaren. Vaikutusanalyysi lisää laskentaan edellä mainitun vaiheen aiheuttamat

ympäristökuormitukset. Parannusanalyysin tehtävänä on arvioida edeltävää laskentaa ja antaa konkreettisia parannuskohteita elinkaarikustannuslaskentaan. (Senthil et al. 2001)

Activity-based LCC eli toimintoperusteinen LCC (AB-LCC) eroaa kuluja kohdentamisessa perinteisestä LCC-laskumallista. Kun tavallinen LCC pyrkii määrittelemään kuluja luokkiin (huolto, raaka-aine, työ jne.) AB-LCC pyrkii määrittelemään ja kohdistamaan kuluja toimintojen mukaan. Yleiskulut pystytään helposti jakamaan jokaiselle kohteelle aiheuttamisperiaatteen mukaan. (Kayrbekova et al. 2011)

Life-Cycle Environmental Cost Analysis (LCECA) eli ympäristöelinkaarikustannusanalyysi on LCA:n kanssa yhteensopiva ympäristökuluja huomioiva elinkaarikustannusmalli. Tällaisia eko-kuluja ovat sekä suorat että epäsuorat kulut, joilla on vaikutuksia ympäristöön tuotteen, investoinnin tai palvelun elinkaaren aikana. LCECA pyrkii suosimaan ympäristöystävällisiä osia ja suunnittelua. Sen tavoite onkin vähentää kokonaiskuluja juuri ympäristöystävällisillä valinnoilla. (Senthil et al. 2001)

Työn kannalta ei niin keskeiset, mutta mainitsemisen arvoiset käsitteet ovat LCCA, LCCA, FCA ja TCA. Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) eli elinkaarikustannusanalyysi on päätöksenteon työkalu, jonka avulla voidaan valita kustannustehokkaimmat vaihtoehdot ennen tuotannon aloittamista. Se myös auttaa tekemään parempia hinnoittelupäätöksiä, paremmat arviot tuotteen kannattavuudesta sekä auttaa ympäristöystävällisempien tuotteiden suunnittelussa (Dunk, 2004). Elinkaarikustannus viittaa kaikkiin niihin kustannuksiin, joita muodostuu aikajanalla tuotteen suunnitteluvaiheesta sen käytöstäpoistoon. Näihin elinkaarikustannuksiin voi lukeutua intressiryhmästä riippuen: suunnittelukustannukset, kehityskustannukset, tuotanto- tai rakennuskustannukset, käyttö/huolto/muut tukikustannukset sekä kierrätys- ja hävittämiskustannukset. (Asiedu & Gu, 1998; Kleyner & Sandborn, 2007)

Life-Cycle Cost Assessment (LCCA) on melko lähellä LCC:tä, mutta siinä huomioidaan ympäristötekijät. LCCA:n ideana on tunnistaa elinkaaren aiheuttamat ympäristöseuraukset, asettaa niille taloudellinen arvo eli hinta ja huomioida näin ympäristötekijät mukana laskennassa. Siihen ei oteta kantaa, voidaanko esimerkiksi biodiversiteetin tuhoutumiselle

asettaa ylipäänsä hintaa. LCCA on melko lähellä Life Cycle Assessments (LCA) mutta se omaa vahvemman kustannusnäkökulman. (Gluch & Baumann, 2004)

Full Cost Accounting (FCA) tarkoittaa suomeksi kokonaiskustannusten laskentatoimea. Tämä malli tunnistaa, nimeää ja kohdentaa kustannukset juuri tietylle palvelulle, tuotteelle tai prosessille. Yleisimpiä tapoja kustannusjakoon ovat suorat, epäsuorat, aineelliset ja aineettomat jakoluokat. Mallista on luotu erikoisversio nimeltä Full Cost Environmental Accounting (FCEA). Malli on muuten vastaava alkuperäisen kanssa, mutta se korostaa erityisesti ympäristötekijöitä. (Gluch & Baumann, 2004)

TCA-lyhenteellä on kaksi merkitystä; Total Cost Assessment tai Total Cost Accounting. Nämä kuitenkin tarkoittavat kirjallisuudessa samaa, ja ovat synonyymeja toisilleen. Kokonaiskuluja arvioinnilla tarkoitetaan pitkäaikaista, laajaa talousanalyysia kuluista ja säästöistä. Tällaista laskentaa suositaan esimerkiksi investoinnin kannattavuutta ja takaisinmaksua tutkittaessa. (Gluch & Baumann, 2004)

2.3 Elinkaarimallit

Elinkaarikustannuskonsepti otettiin ensimmäistä kertaa käyttöön Yhdysvaltojen puolustusministeriössä. Elinkaarikustannusten huomioimisen tärkeys tuli selväksi, kun huomattiin, että käyttö- ja tukikustannukset tavallisissa asejärjestelmissä kattoivat jopa 75 % yhteenlasketuista kustannuksista. Näitä kustannuksia voidaan kuitenkin vähentää ottamalla ne huomioon suunnitteluvaiheessa. Yhdysvaltain armeija ei käyttänyt elinkaarilaskentaa suunnittelussa vaan hankintakustannusten arvioimisessa. (Asiedu & Gu, 1998)

Kustannusten arviointitapoja on monia, ja ne riippuvat elinkaarianalyysin vaiheesta sekä tarvittavan tarkkuuden tasosta. Yksinkertaisimmassa tapauksessa kustannukset arvioidaan laskukaavoilla, joissa kustannukset on linkitetty eri kustannusajureihin. Laskentamallit saattavat olla melko yksinkertaisia ja vaativat vain perinteisen laskentatoimen metodien osaamista. Toisaalta suunnitteluvaiheen kustannusanalyysin teko saattaa olla syvällisempi. (Asiedu & Gu, 1998)

Elinkaarilaskentamallit ovat saaneet positiivista palautetta siitä, että yleensä niiden ansioista mahdolliset toimet pystytään suorittamaan ajoissa. Esimerkiksi liian pieniin tuottoihin tai liian suuriin kuluihin on mahdollista puuttua jo laskennassa ennen mahdollista tuotteen valmistusta. Lisäksi elinkaarilaskentamallien on todettu siirtävän katseita lyhytaikaisesta tuottavuudesta enemmän kohti pitkäaikaisempaa ja vakaampaa tuottoa. Kun lisäksi elinkaaren aikaiset kulut ja tuotot saadaan ennustettua tarkasti, niiden pohjalta tehtyjen päätösten tasokin nousee. (Lapašinskaitė & Boguslauskas, 2006)

Asiedu ja Gu (1998) esittävät artikkelissaan laskentamallien sijoittuvan rakenteeltaan kolmeen luokkaan: konseptuaaliset mallit, analyttiset mallit ja heuristiset mallit. Konseptuaaliset mallit pysyttelevät yleensä makrotasolla. Ne tarvitsevat vähiten yksityiskohtaista tietoa ja tarjoavat suuntaa-antavaa tietoa systeemien kustannusten luonteesta. Analyttiset mallit vuorostaan pohjautuvat matemaattisiin malleihin, jotka kuvastavat systeemin toimintaa tietyssä tilassa tai olettamuksien alaisena. Nämä mallit eivät kuitenkaan pysty olettamuksien takia kuvastamaan systeemin todellista toimintaa. Heuristiset mallit ovat yleensä tietokoneiden avulla simuloituja. Heuristiset mallit eivät ole yhtä yleispäteviä kuin analyttiset mallit ja antavat vastauksia vain spesifioituissa tapauksissa.

Asiedu ja Gu (1998) toteavat, että osa kirjoittajista käsittelee artikkeleissaan LCC-analyseissa käytettäviä teoriakehikoita ja toiset keskittyvät laskentamallien kehittämiseen. Suurin osa näistä malleista on tarkoitettu käytettäväksi elinkaaren tietyssä vaiheessa tai tiettyyn operaatioon elinkaaren vaiheessa. Koko elinkaaren kattavan kustannuslaskennan selvittämiseksi vaadittaisiin lukuisia malleja eri elinkaaren vaiheissa.

Aikaisemmissa tutkimuksissa (Kivimäki, Sinkkonen, Marttonen & Kärri, 2013) on huomattu, että useimmat elinkaarilaskentamalleista ovat hyvin spesifejä ja soveltuvat käytettäväksi vain sen alkuperäiseen käyttötarkoitukseen tietyllä teollisuudenalalla. Yleistettyjä malleja on kuitenkin olemassa (Waghmode & Sahasrabudhe, 2010), mutta niiden laskukaavat eivät mene useissa tapauksissa tarpeeksi yksityiskohtaisiksi ja laskutekniikoita voi joutua muuttamaan soveltumaan paremmin laskentakohteeseen.

3 KIRJALLISUUDESTA VALITUT MALLIT

3.1 Käsiteltävät mallit

Taulukossa 2. esitellään tässä työhön valitut elinkaarikustannusmallit vuosilta 2001-2012. Jokaiseen malliin perehdytään tarkemmin luvuissa 3.2-3.11. Mallien suuntaukset näkyvät taulukossa värikoodein. Punainen tarkoittaa huoltokeskeisiä malleja, vihreä ympäristökeskeisiä malleja ja sininen tarkoittaa optimointikeskeisiä malleja.

Taulukko 2. Käsiteltävät mallit lyhenteineen

Mallin lyhenne	Tekijä(t)	Vuosi	Mallia käsittelevä artikkeli
Ympäristökeskeinen LCC-malli	Senthil et al.	2001	Environmental life cycle cost analysis of products
LCC:n ja systeemin luotettavuuden tasapaino	Hwang	2005	Costing RAM design and test analysis model for production facility
Kolmivaiheinen LCC	Lapašinskaitė ja Boguslauskas	2006	Non-Linear Time-Cost Break Even Research in Product Lifecycle
Ilmastointilaitteiden LCC	Nakamura ja Kondo	2006	Hybrid LCC of Appliances with Different Energy Efficiency
LCC-malli rautatie- kalustolle	Jun ja Kim	2007	Life Cycle Cost Modeling for Railway Vehicle
Optimi LCC validoinnin ja takuukustannusten välillä	Kleyner ja Sandborn	2008	Minimizing life cycle cost by managing product reliability via validation plan and warranty return cost
LCC-malli voiton maksimoimiseksi	Mueller	2009	Modelling trade-offs in design-accompanying life cycle cost calculation
Toimintoperusteinen LCC-malli	Kayrbekova et al.	2011	Activity-based life cycle cost analysis as an alternative to conventional LCC in engineering design

Huollettavien kohdeiden LCC-malli	Waghmode ja Sahasrabudhe	2012	Modelling maintenance and repair costs using stochastic point processes for life cycle costing of repairable systems
LCA-yhteensopiva LCC-malli	Heijungs et al.	2012	Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC

3.2 Kolmivaiheinen LCC-arviointimalli

Lapašinskaitė ja Boguslauskas (2006) esittelevät artikkelissaan kolmivaiheisen LCC-arviointimallin. Malli on idealtaan melko yksinkertainen, ja vaiheet ovatkin nimeltään: laske kulut, ennusta toiminta- ja huoltokulut käyttöajalle sekä määritä nykyarvo tulevaisuuden kuluille ja hankinnoille. Edellä mainitut laskentaoperaatiot voidaan suorittaa kolmelle eri skenaariolle: osta uusi, huolla vanhaa tai älä tee mitään. Mallissa onkin havaittavissa vahva näkökulma laitteiden ja tuotteiden kunnossapitoon.

Artikkelissa esitellään epälineaarinen aika-kulu takaisinmaksulaskelma. Tätä mallia käytetään lähinnä huolto-, toiminta- ja ylläpitokulujen elinkaarilaskentaan. Kuten artikkelissa todetaan, “älä tee mitään” ja “osta uusi” -vaihtoehtojen kulut ovat huomattavasti helpompi määrittää. Kun jokaisen vaihtoehdon kulut tunnetaan, on helppo vertailla vaihtoehtoja ja valita pienimmän LCC:n omaava vaihtoehto. (Lapašinskaitė & Boguslauskas, 2006)

Mallissa oletetaan, että tuotteen toiminta- ja huoltokulut dominoivat elinkaarta niiden säännöllisyyden ja tiheyden takia. Toisaalta ne ovat myös vaikein osa-alue määrittää ja ennustaa (Lapašinskaitė & Boguslauskas, 2006). Samanlaiseen ajatusmaailmaan päätyvät myös Asiedu ja Gu (1998, 888) artikkelissaan: *“Operating and support costs are the most significant portion of the LCC and yet are the most difficult to predict.”* Kulujen ennustetaan kasvavan eksponentiaalisesti ja niitä voidaan mallintaa kaavalla 1.

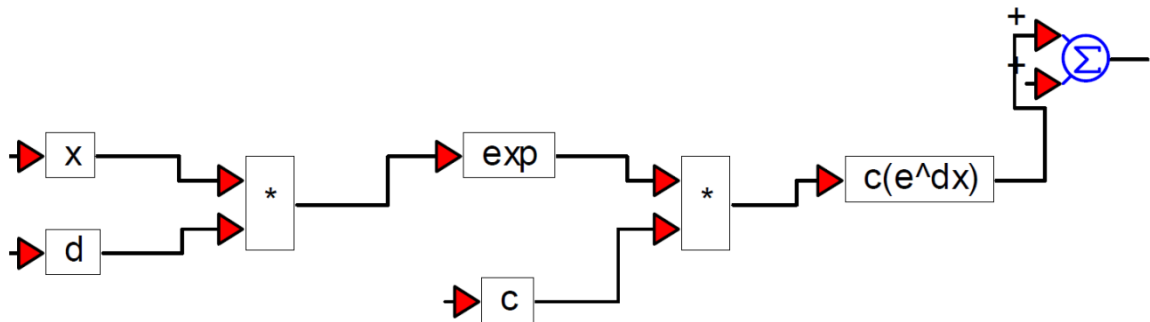
$$Y = C * e^{dx} \quad (1)$$

Y toiminnalliset kulut,

x aika

C ja d asetettavat parametrit

Loppulaskentaan Lapašinskaitė ja Boguslauskas (2006) käyttävät VisSim 5.0 talouslaskentaohjelmaa, joka simuloi eri vaihtoehtot läpi ja kytkee syötetyt arvot toisiinsa. Yllä annettu eksponenttikaava näyttää VisSim 5.0:ssa kuvan 2 mukaiselta. Malli on siis yhtä aikaa sekä hyvin yksinkertainen (LCC:n lasku) että spesifi (ylläpito- ja huoltokulut).



Kuva 2. Kaavan mallinnus VisSim 5.0 ohjelmalla (Lapašinskaitė ja Boguslauskas, 2006)

3.3 Ilmastointilaitteiden LCC

Elinkaarikustannuslaskennan puolesta puhuvat myös Nakamura ja Kondo (2006) tutkielmassaan ilmastointilaitteiden käyttöajan kuluista. Mallissa vertaillaan halpoja low-end, keskihintaisia average ja laadukkaita high-end -tuotteita keskenään. Lopputuloksena high-end -tuotteen elinkaarikulut ovat pienemmät kuin low-end -tuotteen, vaikka high-end on lähtöhinnaltaan kaksi kertaa kalliimpi. (Nakamura & Kondo, 2006)

Nakamura ja Kondo (2006) ovat havainneet saman minkä Lapašinskaitė ja Boguslauskas (2006) totesivat: “*there is no uniform understanding of the term life cycle costing nor is there a standardized methodological framework that is commonly used in business*” (Nakamura ja Kondo, 2006, 309). Heidän molempien malleissa on paljon vastaavuuksia. Ne ovat yhtä aikaa hyvin yksinkertaisia sekä spesifejä. Nakamuran ja Kondon elinkaarikulut lasketaan kaavalla 2.

$$LCC = R\&D + MAT + TRNS + MANF + USE + EL + TC \quad (2)$$

$R\&D$ tutkimus- ja kehityskulut

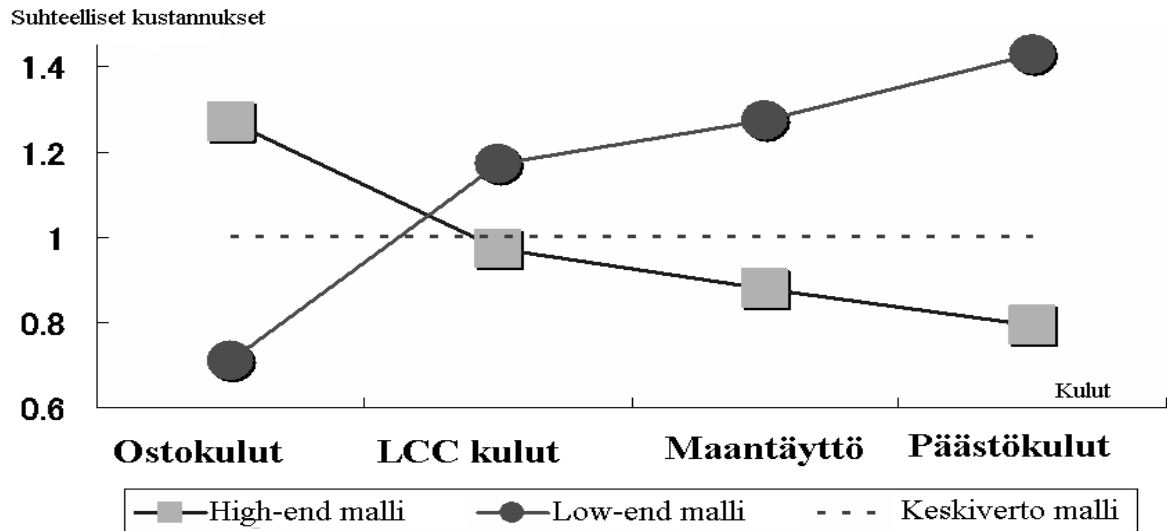
<i>MAT</i>	materiaalikulut
<i>TRNS</i>	kuljetus- ja logistiikkakulut
<i>MANF</i>	valmistuskulut
<i>USE</i>	käyttökulut
<i>EL</i>	alasajokulut
<i>TC</i>	liiketoimikulut.

Tämä malli on yksinkertainen, mutta laskenta muuttuu haastavaksi, kun yksittäisen osa-alueen kuluja aletaan laskea. (Nakamura & Kondo, 2006)

Nakamura ja Kondo määrittelevät artikkelissaan käsitteen WIO, joka tulee sanoista waste input-output. Vapaasti käännettynä tällä tarkoitetaan syntyneen jätteen ja käytettyjen raaka-aineiden suhdetta. Artikkeliki keskittyykin vahvasti alasajokulujen laskentaan suhteessa muihin LCC-artikkeleihin. On tärkeää, että esimerkiksi myös jätteelle ja materiaalien hävitykselle lasketaan hintaa, koska nykyvauhdilla maapallo on täyttymässä roskasta. Laskenta myös suosii vastuullisesti kehitettyjä ja kasattuja high-end -tuotteita. (Nakamura & Kondo, 2006)

Nakamuran ja Kondon kustannuslaskenta huomioi hyvin myös ympäristöllisiä näkökulmia. Toisaalta vaikka tuote olisikin ympäristöystävällinen, saavuttaakseen suosion sen täytyy olla myös hinnaltaan kilpailukykyinen. (Nakamura & Kondo, 2006)

Elinkaarikustannuslaskennan edut näkyvät erinomaisesti Nakamuran ja Kondon (2006) ilmastointilaite-esimerkissä. Vertaillessa pelkkää hankintahintaa, low-end -malli on selvästi halvin. Kun taas huomioidaan mukaan myös käyttöenergiakustannukset, jättekulut ja muut elinkaaren kulut, tulee high-end -mallista huomattavasti edullisin vaihtoehto. Tämä käy ilmi kuvasta 3. (Nakamura & Kondo, 2006). Havaittuna kritiikkinä laskentaa kohtaan voidaan todeta, että välillä high-end -malli saattaa sisältää vain lisävarusteita low-end -malliin verrattuna. Esimerkiksi autoteollisuudessa käyttäjän laadukkaasta merkistä maksama korkeampi hinta ei tarkoita pienempiä käyttökuluja.



Kuva 3. Suhteellisten kulujen vertailu (Nakamura ja Kondo, 2006)

3.4 LCC-malli rautatiekalustolle

Esimerkki erittäin yksilöllisestä LCC-laskennasta on Junin ja Kimin (2007) tekemä laskentamalli. Artikkelissa he ovat luoneet hyvin yleisestä LCC-mallista täysin yksityiskohtaisen kaavan. Tämä on toteutettu porautumalla syvemmälle ja syvemmälle kuluihin ja erittelemällä ne entistä tarkempiin alaluokkiin (Jun & Kim, 2007). Samanlaista ajatusmaailmaa on havaittavissa myös muiden kesken: *"a complete life cycle model will require the development of submodels for different cost categories in different life cycle phases"* (Asiedu & Gu, 1998, 897)

LCC-laskenta aloitetaan kolmesta kategoriasta: investointikuluista, vuosittaisista toimintakuluista ja vuosittaisista huoltokuluista. Tämän jälkeen kategorioita aletaan jakaa tarkempiin osa-alueisiin. Esimerkiksi investointikulut muuttuvat kulkuneuvon ostokuluiksi, systeemin huoltovälineiden ostokuluiksi, varaosakuluiksi, henkilökunnan koulutuskuluiksi ja dokumentaatiokuluiksi. Jokaiselle tällaiselle alakategorialle kehitetään oma sen sisältämien kulujen yhteenlaskutapa. Toiset näistä ovat helpommin ymmärrettäviä, toiset taas monimutkaisempia (Jun & Kim, 2007). Varaosakulut voidaan laskea kaavalla 3.

$$C_{spare} = \sum_{t=1}^n n_{ospare} * UC_{spare} \quad (3)$$

N_o	varaosien määrä
UC	varaosien yksikköhinta

Vastaavasti riskitekijä varaosan toimitusvarmuuteen lasketaan kaavalla 4.

$$\alpha = 1 - \sum_{i=0}^q \frac{e^{-\lambda * MTTR} * (\lambda * MTTR)^i}{i!} \quad (4)$$

α	varaosien määrä
$MTTR$	Mean Time To Repair eli keskimääräinen korjausaika
λ	yhden osan vikatiheys
q	arvioitava riskitekijä

Kun aikaisempaa dokumentaatiota tutkimalla sekä toimittajia ja asiantuntijoita konsultoimalla osille ja työlle pystytään määrittämään yksikköhinnat, voidaan LCC-laskenta viimeistellä. Esimerkissä jarrulevyihin ja -paloihin liittyvien toimien (osat, työ, huolto, energia yms.) kustannukset olisivat 20.7 miljoonaa dollaria koko 25 vuoden elinkaaren aikana. Jälleen pelkät osat muodostavat murto-osan koko LCC:stä. Jun ja Kim (2007) muistuttavat, että LCC on vain hyvä arvio, ja sen tarkkuus on monen tekijän summa.

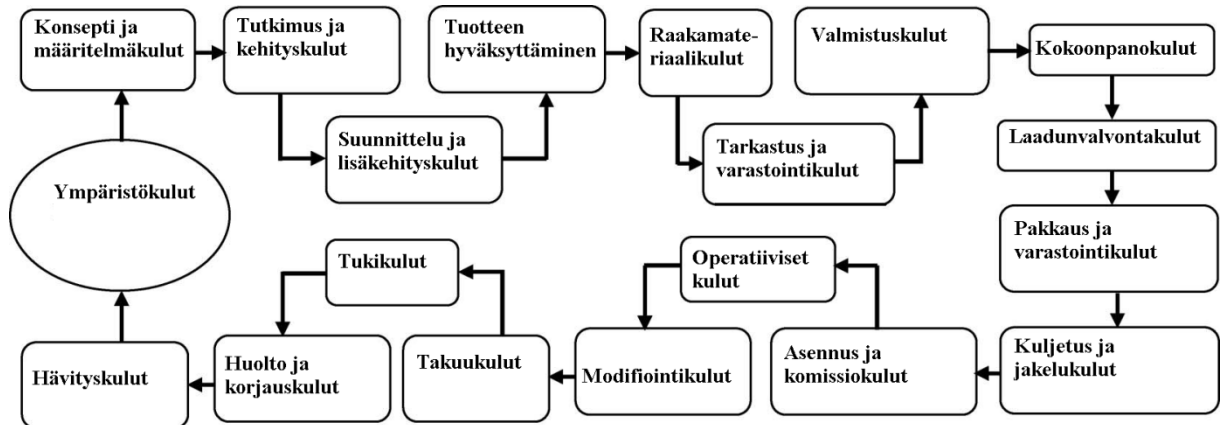
3.5 Huollettavien kohteiden LCC-malli

Yleismaailmallisen LCC-mallin olemassaolon puuttumisen ymmärtävät myös Waghmode ja Sahasrabudhe (2012). Useat mallit jäävät spesifille tasolle sekä yksinkertaistavat laskuja ja oletuksia liikaa. Usein esimerkiksi yllättävän vian aiheuttamalle menetetylle valmistusajalle ei ymmärretä laskea kustannuksia tai rikkoutumisia ei jopa oleteta tapahtuvan ollenkaan. Artikkelissaan he käsittelevät korjattavien kohteiden huolto- ja korjauskuluja stokastisesta näkökulmasta. Tämä tarkoittaa, että vika oletetaan satunnaiseksi. (Waghmode & Sahasrabudhe, 2012)

Yleiseksi LCC ideamalliksi he esittävät 25 osa-alueesta koostuvan summalausekkeen. Se, kuinka yksittäiset tekijät lasketaan, jää avoimeksi. He jättävät jo alusta alkaen ympäristön huomioimatta kulurakenteessa. Jokin tuote tai palvelu ei tietenkään välttämättä sisällä kaikkia

näitä tekijöitä, ja kaavaa 5 voidaan soveltaa siltä osin kuin se käyttökohteelle sopii. C:n arvot esitetään kuvassa 4.

$$LCC = \sum_{i=1}^{25} C_i \quad (5)$$



Kuva 4. LCC-mallin kulut (Waghmode ja Sahasrabudhe, 2012)

Satunnaisten vikojen optimoinnilla voidaan arvioida käyttäjälle esiintyvät rikkoontumiset. Stokastisista prosessimalleista työssä vertaillaan minimikorjausta ja uudeksi korjausta. (Waghmode & Sahasrabudhe, 2012)

Luotua uutta ja kattavaa LCC-mallia sovelletaan teollisuuspumpun elinkaarikulujen laskemisessa. Junin ja Kimin (2007) tavoin artikkelissa painotetaan, ettei halpa hankintahinta korreloi useinkaan halpojen elinkaarikulujen kanssa. Tärkeämpää on vertailla hyötysuhteita, joilla on suuri vaikutus sähkönkulutukseen. Pumpun hankintahinta on vain 0.5 % elinkaarikustannuksista, mutta käyttökulut ovat noin 95 % ja huoltokulut 3.7 % kokonaiskuluista. (Waghmode & Sahasrabudhe, 2012)

3.6 Toimintoperusteinen LCC-malli

LCC-laskennan perinteisiä toimintatapoja ja -malleja täytyy kyseenalaistaa, jotta LCC-laskentaa pystytään kehittämään eteenpäin. Kayrbekova, Markeset ja Ghodrati (2011) esittävät artikkelissaan uuden toimintoperusteisen mallin eli AB-LCC:n. AB-LCC kohdistaa kuluja aiheuttajalle, ei kustannuskategoriaan. Tämä mahdollistaa yleiskulujen tarkemman

kohdentamisen ja seuraamisen, mikä tavallisessa LCC-laskennassa on lähes mahdotonta. (Kayrbekova et al. 2011)

Malli on kehitetty arktisten alueiden öljynjalostukseen ja -tutkimukseen. Kokemuksen ja tiedon puutteesta johtuen tuotannon rakentaminen on kallista ja riskialtista arktisilla alueilla. Perinteistä laskentaa on tästä syystä lähes mahdoton käyttää luotettavien tulosten saamiseksi. AB-LCC antaa realistisemman kuvan tilanteesta ja pienentää epävarmuutta. (Kayrbekova et al. 2011)

Uusi malli antaa käyttäjälleen parempaa tietoa kulujen ja vaikutusten syy-seuraus suhteista. Kun vaikutukset ovat paremmin havaittavissa, niihin on helpompi puuttua. Tästä syystä AB-LCC erottuu edukseen esimerkiksi tuotteen/projektin/palvelun suunnitteluvaiheessa, jossa kulurakenteeseen on vielä helppo tehdä muutoksia. Kulut muuttuvat näkyvämmiksi ja tieto eri toiminnoista paranee. (Kayrbekova et al. 2011)

AB-LCC-mallia voidaan pitää uutena kehityslinjauksena elinkaarikustannuslaskentaan. Perinteinen LCC-laskenta käsittelee usein vain rahavirtoja. AB-LCC pystyy näyttämään mistä nämä rahavirratt tulevat. Tästä on valtavasti hyötyä kustannustehokkaassa nykymaailmassa. Idea perustellaan öljynporauslautan moottorin öljynsuodatin- ja öljynvaihtoesimerkillä. Perinteinen LCC pystyy nimeämään vain työ-, raaka-aine- ja vara-osakustannukset. AB-LCC ottaa huomioon kaikki tähän tiettyyn aktiviteettiin liittyvät kulut. Tällöin mukaan saadaan esimerkiksi kuljetuskulut, helikopterikulut, työn suunnittelukulut ja odotusaikakulut, kun tiedetään työvaiheiden kesto ja järjestys. Esimerkin AB-LCC on lähes 20 % LCC:tä suurempi. (Kayrbekova et al. 2011)

3.7 Ympäristökeskeinen LCC-malli

LCA-mallia pohjanaan käyttäneen Senthilin, Ongin, Tanin ja Neen (2001) artikkeli esittelee LCEC-analyysin, joka on entistä vahvemmin ympäristöä huomioiva elinkaarikustannusmalli. Uusina huomioina malliin on tuotu muun muassa jätevesikulujen kontrollointi, jätteiden käsittelykulut, ekologiset pakkausmateriaalit, hävityskulut, ympäristölle vaarallisten aineiden minimointi, ympäristön johtamisjärjestelmän luominen, eko-verot, uusiutuvan energian käyttö, ympäristön jälleenkunnostus sekä kierrätysstrategiat. Näistä kuluista luodaan uusi

kulukategoria; eko-kulut. Konsepti on kehitetty yksinomaan tuotteelle, mutta laskenta toimii yhtä hyvin myös palvelulle tai investoinnille. (Senthil et al. 2001)

Malli on tietokonelaskennallinen ja poikkeaa hieman muista LCC malleista rakenteeltaan. Laskennassa yksittäinen tuote tai tuoteperhe pilkotaan komponenteiksi, joiden kulurakenne pyritään selvittämään. Näille kuluille pyritään etsimään ekologisempia vaihtoehtoja. Tässä vaiheessa mallille selvitetään myös takaisinmaksu-, riski- ja herkkyysanalyysit. Esimerkiksi takaisinmaksua tutkitaan eko-kulujen ja niistä aiheutuvien tuottojen ja hyötyjen lineaarisella regressiolla. Lopuksi laskettuja eri vaihtoehtoja vertaillaan ja arvioidaan keskenään, ja tuotteelle etsitään paras mahdollinen komponenttikokonaisuus. (Senthil et al. 2001)

Kehittynyt ja parantunut tietoisuus ympäristövaikutuksista on aiheuttanut tarpeen myös laskennan kehittymiselle. Vanhaan edeltäjään LCA:han verrattuna uusi LCECA konsepti tuo laskentaan monipuolisuutta uusien kulujen muodossa. Malli on myös pystytty kehittämään universaaliksi, joten sitä on helppo soveltaa valtaosaan tuotteista, palveluista tai investoinneista. (Senthil et al. 2001)

3.8 LCC:n ja systeemin luotettavuuden tasapaino

Hwangin (2005) artikkelissa tarkastellaan tuottavuuden kasvattamista valmistuskoneistolla luotettavuusmallin implementoinnilla kaikkiin valmistuskoneiston elinkaaren vaiheisiin: konseptisuunnittelu, insinöörisuunnittelu, hankinta, käyttö, huolto ja käytöstäpoisto. Elinkaarilaskentaa käytetään mallissa hyväksi tiettyjen vaihtoehtoiskustannusten selvittämisessä valmistuskoneiston luotettavuuden, käytettävyyden ja kunnossapidon sekä elinkaarikustannusten välillä.

Laskentamallina LCC esitetään yksinkertaisesti hankintakustannuksien, huoltokustannuksien, korjauskustannuksien ja logististen sivukustannuksien summana. Nämä kaikki diskontataan ajan yli (Hwang, 2005). Mallissa ei kerrota miten kustannukset on diskontattu, mutta toisten julkaisujen mukaan nykyarvo periaatteella diskontatut kustannukset eivät vastaa todellisuutta (Gluch ja Baumann, 2004). Tämän jälkeen trade-off eli vaihtoehtoiskustannusanalyysin muodostamiseksi elinkaarikustannuksia on verrattu käytettävyydsarvoihin. Näistä on saatu

muodostettua arvo “LCC per system availability” sekä “LCC per product unit”. Näillä arvoilla pystytään löytämään paras mahdollinen LCC ja käytettävyytasapaino. (Hwang, 2005)

Edellämainittujen arvojen kehittymistä havainnollistetaan pullonkaulaesimerkillä. Esimerkissä tutkitaan valmistusketjua, joka koostuu viidestä työasemasta. Esimerkissä selvitetään, millä työasemalla kapasiteetti loppuu kesken ensimmäisenä, millä toisena, millä kolmantena ja niin edelleen. Näihin pullonkaulatyyöasemiin lisätään vuorotellen kapasiteettia, joka kasvattaa kuluja. Lopputuloksena kulut ovat kasvaneet, mutta samalla on pystytty parantamaan toimintavarmuutta, luotettavuutta ja valmistusmääriä. (Hwang, 2005)

3.9 Optimi LCC validoinnin ja takuukustannusten välillä

Autoteollisuuden elinkaarikustannusten laskennasta antavat esimerkkiä Kleyner ja Sandborn (2008). Heidän artikkelissaan tarkastellaan elinkaarikustannusten minimointia tasapainottelemalla tuotteen suunnittelu- ja testauskustannusten sekä korjaus- ja takuukustannusten välillä autojen elektronisissa laitteissa. Tuotteen validointivaiheeseen panostamisen määrällä on huomattu olevan suora vaikutus sen elinkaaren myöhemmässä vaiheessa syntyviin korjaus- ja takuukustannuksiin. Yhteys näiden kustannusten välillä on esitetty käyrillä, jossa kehityskustannukset kasvavat tuotteen luotettavuuden kasvaessa ja vastaavasti takuukustannukset laskevat. (Kleyner & Sandborn, 2008)

Artikkelissa esitelty malli on rakennettu siten, että se käsittelee toisistaan riippuvia muuttujia, joiden avulla voidaan luoda tuotteen suunnittelu- ja testausprosessi. Tämä minimoi elinkaarikustannuksia. Validointivaiheen kustannuksina on käytetty testausvälineistön hankintakustannuksia ja muita kustannuksia liittyen kiinteistökustannuksiin ja muihin kiinteisiin kustannuksiin sekä niin sanottuun testikappaleen kokoon. Näitä kustannuksia ovat testikappaleen valmistus, sen varustaminen ja testauksen muut kustannukset kuten työvoimakustannukset. Takuukustannuksiin kuuluu korjattavien osien määrä ja vaihdettavien osien määrä. (Kleyner & Sandborn, 2008)

Malli on hyvin yksityiskohtainen ja sen laskemisessa käytetäänkin stokastista tietokonesimulaatiota, joka helpottaa eri epävarmuustekijöiden hallinnassa. Mallissa käytetään

myös hyväksi aikaisempien samanlaisten tuotteiden kustannustietoja takuukustannuksien ennustamisessa. (Kleyner & Sandborn, 2008)

3.10 LCC-malli voiton maksimoimiseksi

Hyvin samankaltaisesti eri kustannusten välillä tasapainottelee David Mueller (2009). Tekstissään hän käsittelee elinkaarikustannusten vaihtoehtokustannuksia. Esimerkiksi tuotteen suunnitteluvaiheen kustannukset vaikuttavat elinkaaren myöhempien vaiheiden kuten valmistuksen kustannuksiin. Artikkelissa esitellään 3 fundamentaalista eli perustavalaatuista elinkaarikustannuksien vaihtoehtokustannusta:

- Tuotekehityskustannukset ja valmistuskustannukset
- Tuotekehityskustannukset ja operatiiviset sekä käytöstäpoistokustannukset
- Valmistuskustannukset ja operatiiviset sekä käytöstäpoistokustannukset

Artikkelissa esitellyn mallin lähtökohtana on kustannusten pohjautuminen vanhoihin tuotteisiin, koska uuden tuotteen kehityksessä käytetään 70 % tapauksissa hyväksi entisiä tuotteita. Olettamuksena mallissa on, että valmistus-, operatiiviset ja kierrätyskustannukset määrittyvät suunnittelu- ja kehityskustannuksista, joten ainoana kustannusajurina käytettiin suunnittelu- ja kehityskustannuksia (Mueller, 2009). Kehityskustannusten nostamisen vaikutus valmistuskustannuksiin on laskettu seuraavasti (kaava 6)

$$\Delta C_0 = -\Delta D \& DC_0 - IC_0 + \Delta MC_0 \quad (6)$$

ΔC_0	kustannusten muutos
$\Delta D \& DC_0$	suunnittelu ja kehityskustannusten muutos
IC_0	mahdolliset uuden koneiston investointikustannukset
ΔMC_0	valmistuskustannusten muutos

Valmistuskustannusten muutos saadaan nykyisten valmistuskustannusten ja optimoitujen valmistuskustannusten erotuksesta. Kaava muovautuu moninaisten vaiheiden jälkeen muotoon (kaava 7).

$$\Delta C_0 = -Z AD \& DC_0 - IC_0 + a_{mc} \left[\frac{1-b^Z}{1-b} \right] \alpha \quad (7)$$

Z kerroin lisätylle suunnittelu- ja kehityskustannuksille, joka vaikuttaa valmistuskustannusten muutoksen marginaaliseen kasvuun.

a_{mc} arvo, jonka yksikkökustannukset pienenevät

b arvo, jolla a_{mc} pienenee, jos kehityskulut kasvavat $AD \& DC_0$ verran

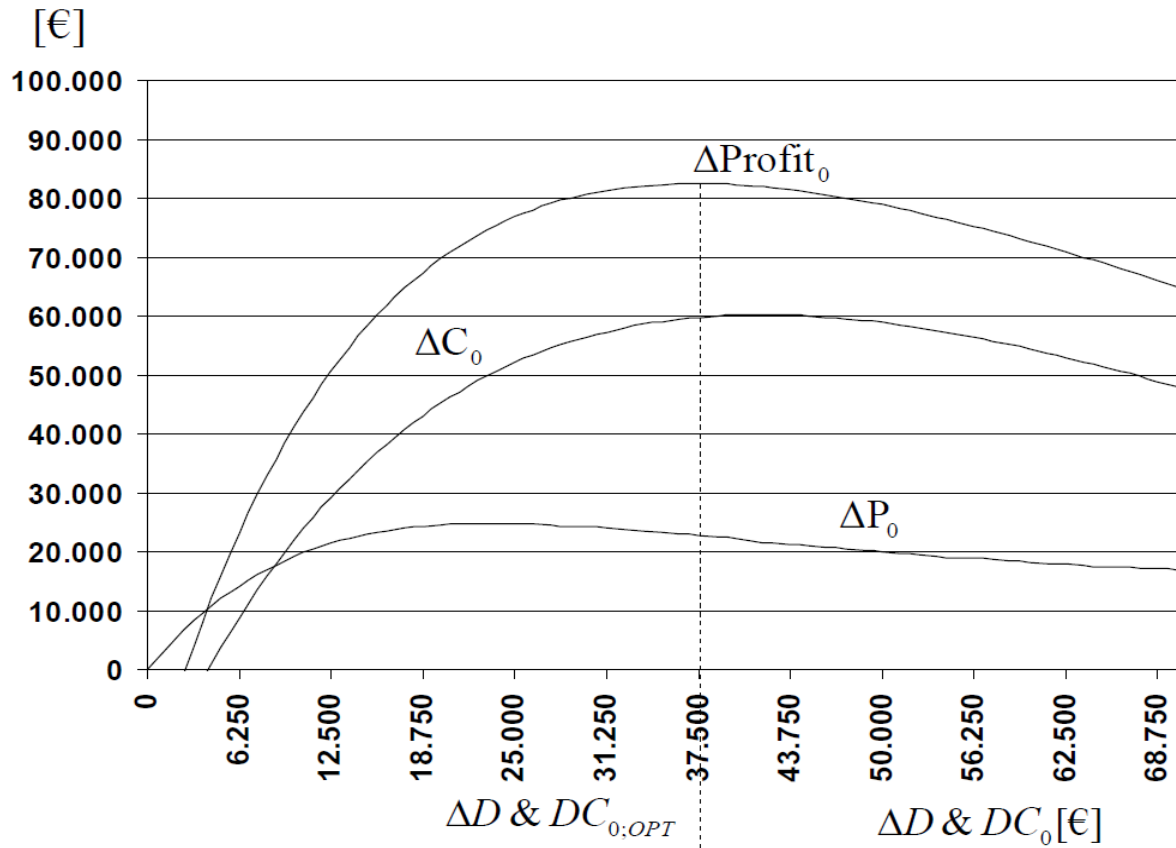
Artikkeli käy vielä läpi hinnan muutoksen suhteen operatiivisten ja kierrätyskustannusten muutokseen sekä suunnittelu- ja kehityskustannusten lisäyksen vaikutuksen operatiivisiin ja kierrätyskustannuksiin. Näiden avulla Mueller (2009) muodostaa voiton lisäyksen maksimoinnin kaavan 8

$$\Delta Profit_0 = \Delta C_0 + \Delta P_0 = -Z AD \& DC_0 - IC_0 + \Delta MC_0 + \Delta OC_0 + \Delta DC_0 \quad (8)$$

ΔP_0 hinnanmuutos

$\Delta OC_0 + \Delta DC_0$ operatiivisten ja kierrätyskustannusten muutos

Malli on paljon yksityiskohtaisempi kun muutosfunktioita aletaan avaamaan, mutta niitä ei tarkastella lähemmin. Mueller (2009) toteaa, että optimaalista suunnittelu- ja kehityskustannuksien lisäystä ei voi ratkaista analyttisesti vaan siinä on käytettävä tietokonesimulointia. Malli on hyvä suunnitteluvaiheen työkalu tuottojen maksimointia varten, mutta ei ota huomioon kuin valmistajalle kohdentuvat kustannukset. Mallin käyttöä havainnollistaa kuva 5, joka on artikkelissa simuloitu kaavan 8. pohjalta.



Kuva 5. Voiton kasvatus suunnittelu- ja kehityskustannusten lisäyksen funktiona (Mueller, 2009)

3.11 LCA-yhteensopiva LCC-malli

Heijungs, Settanni ja Guineé (2012) ratkaisevat artikkelissaan ongelmaa LCC:n ja LCA:n yhdistämisestä. He luovat matriisipohjaisen LCC-laskentamallin, joka on yhteensopiva LCA-konseptin kanssa. Malli ei ole kuitenkaan suoraan sovellettavissa todellisuuteen, koska sillä on yksinkertaistuksen vuoksi asetettu muutamia oletuksia. Näitä ovat hintojen homogeenisyys, valuutan vaihtumattomuus ja verottomuus.

Mallin käytön havainnollistamisessa käytetään esimerkkinä yhden tuotteen valmistus- ja käyttöprosessia, jolle ei muodostu myöhemmin käyttökustannuksia, kuten huolto- tai energiakustannuksia tuotteen käyttövoiman saamiseksi. Esimerkkinä mallissa käytetään tuolia. Sitä ei tarvitse juurikaan huoltaa eikä sitä tarvitse yhdistää verkkovirtaan sen käyttämiseksi. Mallissa myös vältetään kustannusten kahdentumista käyttämällä tuolin valmistuskustannuksissa hintoja kustannusten sijaan. Tästä esimerkkinä on sähkön hinnan

käyttäminen, joka sisältää jo sähkön valmistuksen kustannukset ja katteet. (Heijungs et al. 2012)

Malli määrittelee elinkaarikustannuksien olevan yhtä kuin arvonlisän tai jalostusarvon negatiivinen arvo eli arvon menetys. Arvo voidaan johtaa kaavojen 9-13 mukaisesti.

$$s = A_p^{-1} f_p \quad (9)$$

$$A_{p,scaled} = A_p \text{diag}(s) \quad (10)$$

$$A_{m,scaled} = \text{diag}(\alpha) A_p \quad (11)$$

$$v = (A_{m,scaled})^T \mathbf{1} \quad (12)$$

$$l = -v_j \quad (13)$$

A	teknologiamatriisi, jolla on fyysiset (physical, p) ja taloudelliset (monetary, m) arvot
f_p	pystysuora kysyntämatriisi
$\text{diag}(s)$	neliömatriisi, missä skaalaus arvot ovat diagonaalilla
$\text{diag}(\alpha)$	neliömatriisi, missä hintavektori on diagonaalilla
$\mathbf{1}$	pystysuora matriisi, joka koostuu pelkistä ykkösistä
v	jalostusarvo
l	LCC

Artikkelissa esimerkkinä käytetyt matriisien arvot ovat melko vaikeaselkoisia, joten niitä ei esitellä. Mallia laajennetaan artikkelissa niin, että se ottaa myös huomioon ympäristökustannukset (Heijungs et al. 2012). Tämä lisää jalostusarvon kaavaan funktion (kaava 14)

$$B_{m,scaled} = \text{diag}(\beta) B \text{diag}(s) \quad (14)$$

B_m	ympäristökustannukset
$\text{diag}(\beta)$	kuvastaa neliö matriisia jonka diagonaalilla on hinta vektori β

Lopullisesta LCC funktiosta muodostuu seuraavanlainen (kaava 15).

$$l = \sum_j -[(diag(\alpha)A_p diag(A_p^{-1}f))^T \mathbf{1} + (diag(\beta)B_p diag(A_p^{-1}f))^T \mathbf{1}] \quad (15)$$

Jossain tapauksissa mallissa muodostuu matriisirakenteen takia laskentaongelmia. Esimerkiksi, jos matriisi A_m sisältää yhden tai useamman rivin pelkkiä nollia, ei matriisia pystytä muuttamaan käänteismatriisiksi. Matriisi on niin sanotusti singulaarinen ja sen determinantti on nolla. Näin ollen skaalausarvoa ei voida laskea. Tämän takia mallissa ehdotetaan peruslaskujen tekemistä fyysisessä muodossa A_p ja johtamaan taloudelliset arvot niistä. (Heijungs et al. 2012)

4 ELINKAARILASKENNAN PUUTTEET

4.1 LCC-laskennan yleiset ongelmat

Vaikka LCC-laskenta on yleistynyt paljon ja tullut viime aikoina entistä suosittumaksi, se on myös kohdannut melko paljon kritiikkiä. Pääkritiikki on kohdistettu elinkaarilaskennan lähtötietojen epävarmuuteen, päätöksien peruuttamattomuuteen, liiallisiin oletuksiin, yhteisomistuksellisten asioiden (esimerkiksi luonto) vähättelyyn, pelkkään rahalliseen arvottamiseen, päättäjän henkilökohtaisten arvojen suosimiseen ja tulevaisuuden ympäristökulujen aliarvioimiseen. (Gluch & Baumann, 2004; Senthil et al. 2001)

LCC-analyysit lasketaan usein paperilla teoriassa. Usein analyysit jäävätkin teoreettiselle tasolle, eikä niitä käytetä todellisissa tilanteissa. Kirjallisuudessa ei ole löydettävissä paljoakaan todellista tilastotietoa tai todisteita LCC-analyysien käytöstä. Tästä syystä niihin suhtaudutaan paikoin kriittisesti. (Kayrbekova et al. 2011)

LCC-mallit eivät monestikaan sisällä minkäänlaisia riskikertoimia. Elinkaarta ja sen kuluja hahmotellessa useita kulutekijöitä joudutaan ennustamaan ja arvailemaan. Näiden oletusten riskit pitäisi saada huomioitua laskennassa. *“A LCC-analysis that does not include risk analysis is incomplete at best and can be incorrect and misleading at worst”* (Craig, 1998). Riskianalyysi on eräs keino riskien huomioimiseen. Myös herkkyysanalyysillä voidaan saada erilaiset kehitys- tai muutosvaihtoehdot näkyviin. (Craig, 1998)

4.2 Ympäristön huomiointi

Eräitä elinkaarikustannuslaskennan perusoletuksia ovat, että käyttäjä pyrkii maksimoimaan voitot, kaikki eri vaihtoehdot ovat aina valittavissa ja käyttäjä toimii aina täydellisellä tietämyksellä. Tämä ei kuitenkaan ikinä pidä täysin paikkaansa. Tästä esimerkkinä kivikon louhintaa infrastruktuurin tieltä tai lajien sukupuuttoa ei ymmärretä LCC-mallissa ongelmana. Malli ei huomioi hintaa tai menetyksen arvoa edellä mainituille peruuttamattomille tapahtumille. (Gluch & Baumann, 2004)

Elinkaarikustannuslaskennassa on myös todettu olevan suuria puutteita hinnan/arvon määrittämisessä “ei kenenkään omistamille” asioille. Paras esimerkki tästä on luonto ja

ympäristö. *“For example, many people own land and they are able to take action when damage is done to assets they own, but they do not generally own the rivers or the air through which pollution travels. The lack of well-defined property rights, as in the case of air and water, makes it difficult for a market to exist, which problemises the concept of a market.”* (Gluch & Baumann, 2004, 574)

Kehitys on toki mennyt eteenpäin muun muassa erilaisten päästöverojen muodossa, mutta ne eivät silti palauta ympäristölle aiheutettuja pysyviä vahinkoja. Elinkaarikustannusmallit eivät myöskään pysty vastaamaan tähän ongelmaan. LCC-mallit kohtaavat samanlaisen ongelman tulevaisuuden ympäristökulujen arvioinnissa. Onneksi LCC-konseptia on pyritty kehittämään entistä enemmän juuri tähän suuntaan. Esimerkkejä tästä ovat LCA- ja LCECA-mallit. (Gluch & Baumann, 2004; Senthil et al. 2001; Asiedu & Gu, 1998)

4.3 Nykyarvon määrittäminen

Yleisin tapa LCC-laskennassa tulevaisuuden kulujen ja tuottojen arvottaminen nykypäivään on diskonttaus. Gluch ja Baumann (2004) esittävät erinomaisen esimerkin, kuinka tavallinen nykyarvolaskenta (Net Present Value, NPV) ei vastaa todellisuutta. Käsitellään rakennusta, jonka purkukulujen (P_n) oletetaan olevan 1000, elinaika (t) 50 vuotta ja korkotaso (i) 5 %. Tällöin diskonttatut purkukulut olisivat kaavan 16 mukaiset.

$$LCC = \sum_{t=0}^T P_N (1 + i)^{-t} = 90 \quad (16)$$

Tällainen laskenta kuitenkin nojaa hyvin vahvasti pelkkiin oletuksiin. Hyvin todennäköisesti purkutyö tulevaisuudessa aiheuttaa suuremmat ympäristökustannukset esimerkiksi muuttuneen verotuksen tai kasvaneiden hintojen johdosta. Gluch ja Baumann (2004) suosittelivat diskonttaamiseen ennemmin kahta muuta laskentaa; Hurdle rate-periaatetta ja Price rate-periaatetta.

Hurdle rate-periaatteessa kuluja jaetaan vihreään, keltaiseen ja punaiseen tasoon sen mukaan, paljonko ne aiheuttavat negatiivisia vaikutteita ympäristöön. Tästä johtuen, esimerkiksi punaisia eli vakavia vaikutuksia diskontataan 0 % korolla tulevaisuuteen jolloin ne säilyvät yhtä suurina myös jatkossa. Periaatteena on, että tänään aiheutetut ympäristökulut ovat yhtä

vakavia myös huomenna. Kriittikinä laskentaan on sanottu, ettei se huomioi teknologian kehitystä, jonka ansioista tämän päivän punaiset kulut saattavat kehityksen myötä muuttua keltaisiksi tai jopa vihreiksi. (Gluch & Baumann, 2004)

Hurdle rate voidaan laskea kaavalla 17. Korkokannoille voidaan asettaa mielivaltaiset arvot sen mukaan paljonko ja kuinka vahvasti ympäristöasioita halutaan painottaa. Tällöin diskontattuna 0 % korolla purkukulut olisivat 1000 myös 50 vuoden päästä. (Gluch & Baumann, 2004)

$$\text{Hurdle rate LCC} = \sum_{t=0}^T P_{N,r} (1+r)^{-t} + \sum_{t=0}^T P_{N,y} (1+y)^{-t} + \sum_{t=0}^T P_{N,g} (1+g)^{-t} \quad (17)$$

P	purkukulut
r	punainen taso
y	keltainen taso
g	vihreä taso
t	aika

Toinen tapa arvioida tulevaisuuden kuluja on Price rate-periaate. Ideana laskentamallissa on, että joidenkin kustannusten voidaan olettaa kasvavan enemmän tai vähemmän suhteessa annettuun korkotasoon. Voidaan esimerkiksi olettaa purkukustannusten nousevan enemmän kuin 5 %:n annettu korko. Jos esimerkiksi oletetaan purkuhintojen nousevan 3 % korkotasoa enemmän, saadaan purkukulujen hinnaksi kaavalla 18 380. (Gluch & Baumann, 2004)

$$\text{Price rate LCC} = \sum_{t=0}^T \left[P_n \frac{(1+e)^t}{(1+i)^t} \right] = 380 \quad (18)$$

P	purkukustannukset
i	korkotaso
t	aika
e	eskaloitunut korkotaso

Molemmissa laskuissa jälleen huomataan, kuinka epävarmaa ja oletuksiin pohjautuvaa tulevaisuuteen liittyvien kulujen laskenta on LCC malleissa. (Gluch & Baumann, 2004)

4.4 Arvonmääritys ongelmat

Kritiikkiä saa myös elinkaarilaskennan vahva kytkös pelkkään taloudelliseen mittariin, rahaan (Kayrbekova et al. 2011). Kaikille kuluille ja tuotoille pyritään aina määrittämään hinta. Kuten jo aiemmin on todettu, tietyille menetyksille ei pystytä asettamaan hintaa. Biodiversiteetin katoaminen on korvaamatonta ja palautumatonta. Tämä tulisi yhdistää elinkaarilaskentaan muilla kuin taloudellisilla keinoilla ja näkemyksillä. Laskennassa vaikuttavat myös paljon käyttäjän omat näkemykset ja valinnat. Koska kyseessä on laskentatyökalu, käyttäjä voi painottaa eri asioita eri tavoilla. Nämä eivät jälleen välttämättä vastaa todellista tilannetta, joka voi johtaa väärin tuloksiin ja päätöksiin. (Gluch & Baumann, 2004)

Elinkaarilaskenta ottaa huomioon kustannukset suunnittelusta kierrätykseen, mutta yleensä jättää kustannukset, jotka liittyvät esimerkiksi tuotteen fyysiseen elinkaareen huomioimatta. Tästä esimerkkiä antavat Heijungs et al. (2012). Auton käyttäjän perspektiivistä elinkaarikustannukset muodostuvat auton ostosta, polttoainekuluista, huoltokuluista, hävittämiskuluista ja vakuutuskuluista. Nämä kulut kohdistuvat käyttäjälle eri elinkaaren vaiheissa. Fyysisen elinkaaren, toisin sanoen jakeluketjun muut kustannukset, kuten mineraalien kaivaminen ja jalostus, öljynporaus ja jalostus eivät selvästi kohdennu käyttäjän elinkaarikustannuksille ja täten eivät vaikuta ostopäätöksiin. (Heijungs et al. 2012)

4.5 Laskennalliset ongelmat ja epävarmuus

Usein elinkaarilaskentaa suorittaessa kaikki yksittäiset kulut eivät välttämättä ole tarkalleen tiedossa, ja niitä joudutaan arvioimaan. Tämä aiheuttaa epävarmuutta laskentaan, jonka seuraukset voivat paljastua vasta vuosien kuluttua. Lisäksi olosuhteet muuttuvat, minkä takia tämän päivän "oikeat valinnat" eivät välttämättä olekaan oikeita enää huomenna. Esimerkki tästä on eristemateriaali asbesti. Vuosien ajan se on ollut eniten käytetty eristemateriaali maailmassa. Vasta uusien tutkimusmenetelmien kehityttyä se pystyttiin todistamaan ihmiselle erittäin vaaralliseksi aineeksi. (Gluch & Baumann, 2004)

Joissain tapauksissa laskenta menee erittäin vaikeaksi tai jopa mahdottomaksi. Tästä hyvänä esimerkkinä on luvussa 3.11 käsitelty matriisimalli. Tällaisissa tapauksissa laskentamallien perinpohjainen tuntemus on välttämätöntä, jotta nämä ongelmat voidaan välttää.

Yhtenä riskinä elinkaarilaskentamalleissa on kustannusten uudelleen laskeminen eli kustannusten kahdentuminen myöhemmissä elinkaaren vaiheissa. Etenkin pitkien elinkaarien tapauksissa on mahdollista, että tällaisia kahdentumia tapahtuu ja arvioidut kustannukset ovat todellisuutta suuremmat. Auton valmistuksen tapauksessa raudan kustannukset sisältyvät teräksen kustannuksiin, jotka sisältyvät auton kustannuksiin. Jotkut laskentamallit eivät osaa ottaa tätä huomioon, ja näin ollen kustannukset kaksinkertaistuvat tai jopa kolminkertaistuvat (Heijungs et al. 2012). Kustannusten kahdentumisen vaaraa saattaa ilmetä myös tapauksissa, joissa yritetään käyttää useampaa mallia rinnakkain. Tämän totesivat artikkelissaan Wood ja Hertwich (2012), kun he yrittivät käyttää TCA:n ja LCA:n yhdistelmää.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Alkuolettamus mallien spesifiydestä on pitänyt paikkansa ja kaikkiin tapauksiin soveltuvaa yleismallia ei ole löytynyt, joka olisi sovellettavissa kaikkeen elinkaarilaskentaan. Valituista malleista on havaittavissa kolme keskeistä pääsuuntausta, joihin laskenta keskittyy. Nämä suuntaukset ovat ympäristökeskeiset, huoltokeskeiset ja optimointikeskeiset LCC-mallit.

Ympäristökeskeiset mallit joko asettavat pääpainon laskennassa ympäristöasioille tai pyrkivät eko-valintojen avulla luomaan suurempia säästöjä. Huoltokeskeiset mallit tarjoavat työkaluja huoltokulujen ja -toimenpiteiden LCC-laskentaan sekä painottavat edellä mainittujen huoltokulujen suuruutta läpi elinkaaren. Optimointikeskeiset mallit vastaavasti etsivät kulujen, tuottojen ja luotettavuuden optimitasapainoa läpi elinkaaren.

Elinkaarilaskentamalleille on havaittavissa kahtiajako. Ne ovat joko erittäin yksinkertaisia ja yleisiä tai erittäin spesifejä ja tuotekohtaisia. Tämä näkyy taulukossa 3. joko Y:nä (Yleinen) tai S:nä (Spesifi). Yleinen ei kuitenkaan tarkoita, että malli soveltuu kaikkeen laskentaan. Kustannukset kohdentuvat myös poikkeuksetta käyttäjälle. Usein käyttäjä on organisaatio tai yritys, joka suorittaa laskentaa omiin tarpeisiinsa.

LCC-laskenta vaatii paljon dataa ja on usein myös monimutkaista. Useimmat mallit joudutaankin mallintamaan tietokoneella. Tämä toki avaa samalla mahdollisuuden erilaisten skenaarioiden tutkimiselle sekä erilaisten analyysien tuottamiselle. Tietokonemallien avulla on myös helpompi hallita epävarmuustekijöitä. Kuitenkin vain muutama malli hyödyntää esimerkiksi riskianalyyseja tai herkkyysanalyyseja. Muutamat käsin laskettavat mallit ovat taas käytännössä kulujen yhteenlaskua ja sisältävät vain plus ja miinus laskutoimituksia.

Kritiikkiä elinkaarikustannuslaskenta on saanut eniten epävarmuudesta. Lukuja joudutaan ennustamaan, eikä aina ole löydettävissä faktatietoa ennusteiden pohjaksi. Toinen iso kritiikkiä saava osa-alue on ympäristön huomiointi. Tähän liittyvät muun muassa arvottamis-, omistus- ja näkökulmaongelmat. Lisäksi elinkaarikustannuslaskenta saa kritiikkiä teoria- painotteisuudesta, riskikertoimien puutteesta ja nykyarvon määrittämisestä. Monet mallit on rakennettu paperilla, eikä niiden käytöstä oikeassa elämässä ole mitään näyttöä.

Riskikertoimien puuttuminen voi johtaa laskennan tarpeettomien riskien ottamiseen ja todellisen tilanteen vääristymiseen.

Mallien puutteet korreloivat melko hyvin LCC-laskennan yleisen kritiikin kanssa. Monet mallit sivuuttavat ympäristölle muodostuvat haitat laskennassa. Käsitellyt mallit menevät myös usein matemaattisesti hyvin pitkälle ja vaativat käyttäjältä korkeampaa matemaattista osaamista ja ymmärrystä. Vastaavasti makrotasolle jäävät mallit eivät välttämättä tarjoa tarpeeksi syvällistä kustannustietoa suuren hyödyn saavuttamiseksi.

Taulukko 3: Yhteenvetotaulukko käsitellyistä malleista

Malli	Kohde	Y/S	Mallin toteutus	Elinkaaren vaihe	Hyödyt ja puutteet
Kolmi-vaiheinen LCC	Kunnossapito	Y	Tietokone mallinnus	Läpi elinkaaren	+Helppo ja konkreettinen laskenta -Ympäristön huomiointi
LCC-malli rautatiekalustolle	Rautateiden kunnossapito	S	Käsin laskettava	Käyttöajan aikaiset kulut	+Vikatilanteiden huomiointi -Laskentaan tarvitaan valtava määrä dataa
Huollettavien kohteiden LCC	Huollettavat kohteet	Y	Käsin laskettava	Läpi elinkaaren, paino huollolla	+Käyttöajan kulut -Laskentaan tarvitaan valtava määrä dataa
Ympäristökeskeinen LCC-malli	Ekosäästöt	Y	Tietokone mallinnus	Suunnittelu	+Uudet kulukategoriat -Tarvitsee toisen LCC-mallin pohjaksi
Ilmastointilaitteiden LCC	LCC vertailu tuotelaatujen välillä	Y	Tietokone mallinnus	Läpi elinkaaren	+Käyttöajan kulut -Analyysi ei päde kaikissa tuotteissa
Toiminto-perusteinen LCC-malli	Ääri luonnon-olot	S	Makro-taso	Läpi elinkaaren	+Tarkka kulujen kohdennus ja jäljitys -Toimintojen valtava määrä ja määrittäminen
LCA-yhteensopiva LCC-malli	Ympäristökeskeinen LCC	S	Käsin laskettava	Valmistus, käyttö ja poisto	+LCA yhteensopivuus -Matriisilaskennalliset ongelmat
LCC:n ja systeemin luotettavuuden tasapaino	LCC ja tuotanto-prosessin luotettavuuden optimi	S	Tietokone mallinnus	Hankinta, huolto, korjaus ja logistiikka	+Optimaalisen kustannus ja luotettavuus tasapainon löytäminen -Systeemin spesifiys ei sovellu muuhun käyttöön
Optimi LCC validoinnin ja takuukustannusten välillä	Autoteollisuuden R&D ja takuu kustannusten optimi	S	Tietokone mallinnus	Suunnittelusta takuuseen	+Optimaalisen kustannus tasapainon löytäminen -Vaatii aikaisempaa kustannustietoa
LCC-malli voiton maksimimiseksi	Valmistusteollisuus	S	Tietokone mallinnus	Läpi elinkaaren	+Voiton maksimointi -Huomioi vain valmistajalle kohdentuvat kustannukset

LÄHTEET

Alting, L. (1993). Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. In *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*. New York Wiley. s. 1-17.

Asiedu, Y. ja Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: state of the art review. *International Journal of Production Research*. Vol. 36, nro 4, s. 883-908.

Bengu, H ja Kara, E. (2010). Product Life Cycle Costing Methodology. *Banking and Finance Letters*. International Economic Society. Vol. 2, nro 3, s. 325-333

Craig, B. (1998). Quantifying the Consequence of Risk in Life Cycle Cost Analysis, First International Industry Forum on Life Cycle Cost, Toukokuu 28-29, Stavanger, Norway

Dunk, A. S. (2004). Product life cycle cost analysis: the impact of customer profiling, competitive advantage, and quality of IS information. *Management Accounting Research*. nro 15, s. 401-414.

Gluch, P. ja Baumann, H. (2004). The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. *Building and environment*. Elsevier Ltd. Vol. 39, s. 571-580

Heijungs, R., Settanni, E. ja Guineé, J. (2013). Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: unifying LCA and LCC. *International Journal of Life Cycle Assessment*. nro 18, s. 1722-1733.

Hwang, H.S. (2005). Costing RAM design and test analysis model for production facility. *International Journal of Production Economics*. nro 98, s. 143-149.

Jokinen, T. (2011). Elinjaksomallien käyttö merivoimien suorituskykyjen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpitämisessä. Maanpuolustuskorkeakoulu. 70 s.

Jun, H.K. ja Kim, J.H. (2007). Life Cycle Cost Modeling for Railway Vehicle. International Conference on Electrical Machines and Systems. Seoul, Korea. s. 1989-1994

Kayrbekova, D., Markeset, T. ja Ghodrati, B. (2011). Activity-based life cycle cost analysis as an alternative to conventional LCC in engineering design. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. Springer. Vol. 2, nro 3, s. 218-225

Kivimäki, H., Sinkkonen, T., Marttonen, S. & Kärri, T. (2013). Creating a life-cycle model for industrial maintenance networks. The 3rd International Conference on Maintenance Performance Measurement and Management, Syyskuu 12-13, Lappeenranta, Finland, s. 178-191.

Kleyner, A. ja Sandborn, P. (2008). Minimizing life cycle cost by managing product reliability via validation plan and warranty return cost. *International Journal of Production Economics*. nro 112, s. 796-807.

Lapašinskaitė, R. ja Boguslauskas, V. (2006). Non-Linear Time-Cost Break Even Research in Product Lifecycle. *Engineering Economics*. nro 1, s. 7-12

Mohan, A.V. ja Krishnaswamy, K.N. (2006). Marketing programmes across different phases of product life cycle. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*. Vol. 18. nro 4 s. 354-373

Mueller, D. (2009). Modelling trade-offs in design-accompanying life cycle cost calculation. *International Journal of Product Lifecycle Management*. Vol. 4, nrot 1/2/3, s. 290-310.

Nakamura, S. ja Kondo, Y. (2006). Hybrid LCC of Appliances with Different Energy Efficiency. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm. Vol. 11, nro 5, s. 305-314

Rafinejad, D. (2007). Innovation, Product development and Commercialization. USA. J. Ross Publishing Inc. 400 s.

Senthil, K.D., Ong, S.K., Tan, R.B.H. ja Nee, A.Y.C. (2001). Environmental life cycle cost analysis of products. *Environmental Health and Management*. Vol. 12, nro. 3, s. 260-276.

VTT. (2009). Elinkaaritiedon hyödyntäminen teollisen palveluliiketoiminnan kehittämisessä. Fleet asset management -hankkeen työraportti 2. 62 s.

Saatavilla: <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W136.pdf>>

Waghmode, L.Y. ja Sahasrabudhe, A.D. (2012). Modelling maintenance and repair costs using stochastic point processes for life cycle costing of repairable systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. Taylor & Francis Ltd. Vol. 25, nrot. 4–5, s. 353-367

Wood, R. ja Hertwich, E. G. (2012). Economic modelling and indicators in life cycle sustainability assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*. nro. 18, s. 1710-1721