

Opinnäytetyö (AMK)

Kestävä kehitys

2013

Ville-Veikko Mastomäki

EIO-hybridi-LCA-mallin
soveltuvuus
yhdyskuntarakenteen
ilmastopäästöjen arviointiin sekä
politiikan ohjauksen
apuvälineeksi



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TURUN AMK:N OPINNÄYTETYÖ | Ville-Veikko Mastomäki

Ville-Veikko Mastomäki

EIO-hybridi-LCA-mallin soveltuvuus yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arviointiin sekä politiikan ohjauksen apuvälineeksi

Ilmastonmuutosta pidetään nykyään yhtenä suurimmista ympäristöuhista. Yhdyskuntarakenteeseen liittyvät päästösektorit vastaavat jopa puolesta suomalaisten kasvihuonekaasupäästöistä.

Aalto yliopiston maankäyttötieteiden laitoksen tutkijatohtori Jukka Heinosen väitöskirjan ”The Impacts of Urban Structure and the Related Consumption Patterns on the Carbon Emissions of an Average Consumer” tulokset ovat kyseenalaistaneet aiemmat tutkimustulokset, jotka suosittelivat tiivistä yhdyskuntarakennetta ilmastopäästöjen ehkäisemiseen, käyttäen uutta panos-tuotos -perusteista hybridielinkaarianalyysimallia (EIO-hybridi-LCA-malli).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella soveltuuko EIO-hybridi-LCA-malli yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin sekä politiikan ohjauksen apuvälineeksi. Tutkimus toteutettiin aineistokatsaukseen perustuvan metakritiikin sekä kysymyspatteriston avulla.

Tutkimuksen merkittävimmät tulokset olivat kulutus-, vapaa-aika- sekä palvelusektorien ongelmat relevanssin, validiteetin ja reliabiliteetin suhteen. Myös jotkut muut sektorit saattavat tutkimuksen mukaan kärsiä samasta reliabiliteettiongelma. Tämän lisäksi soveltuvuus tulevien alueiden ilmastopäästöjen arviointiin on heikko johtuen pohjadata käytetyn kuluttajatutkimuksen luonteesta.

Johtopäätöksinä todetaan, että EIO-hybridi-LCA-malli soveltuisi yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arviointiin, jos se rajattaisiin arvioimaan vain yhdyskuntarakenteeseen vahvasti liittyviä päästöjä ja mahdolliset reliabiliteettiongelmaan liittyvät vääristymät kyettäisiin poistamaan. Tällaisessa tarkastelussa EIO-hybridi-LCA-malli kykenisi arvioimaan yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjä mahdollisesti aiemmin käytössä olevia malleja paremmin elinkaarianalyysinäkökulman vuoksi. Tulevan maankäytön ilmastovaikutusten arviointiin malli ei kuitenkaan sovellu ilman merkittäviä muutoksia pohjatietojen hankintaan.

ASIASANAT:

yhdyskuntarakenne, maankäytön suunnittelu, ilmastonsuojelu, ilmastopolitiikka, elinkaarianalyysi, elinkaarimallit, kritiikki

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Sustainable Development

19.6.2013 | 68 + 3 (appendix)

Sirpa Halonen

Ville-Veikko Mastomäki

The EIO hybrid LCA model's applicability in assessing climate impacts of urban structure and as a policy management tool

Climate change is recognized as one of the greatest environmental threats facing the world. Factors relating to urban structure are responsible for up to half of the Finnish greenhouse gas emissions.

The purpose of this study is to assess the compatibility of the economic input-output based hybrid life cycle analysis model (EIO hybrid LCA) as an assessment tool for urban structure's climate impacts, and as a policy management tool. The study was conducted with literature review based metacriticism as well as using a *collection of questions*. This thesis sets out to critically discuss the dissertation "The Impacts of Urban Structure and the Related Consumption Patterns on the Carbon Emissions of an Average Consumer" of postdoctoral researcher Jukka Heinonen from Aalto University Department of Real Estate, Planning and Geoinformatics. Heinonen has questioned earlier research findings suggesting that dense urban structures prevent greenhouse gas emissions, using the new EIO hybrid LCA model.

The most significant results rising from the collection of questions were the problems of relevance, validity and reliability especially concerning consumption, leisure and service sectors. Also other sectors may suffer from the problems of reliability. Furthermore, the suitability of the model for evaluation of future areas is weak due to the base data used.

As a conclusion, the EIO hybrid LCA could work for the climate emissions assessment of urban structure, if it were limited to merely evaluating emissions strongly related to urban structure, and the potential distortions associated with reliability could be excluded. With these modifications the EIO hybrid LCA model would potentially be able to evaluate the greenhouse gas emissions of urban structure even better than the previously used the models because of the life-cycle analysis perspective. However, for the assessment of climate impacts of future land use, the model is not suitable without significant changes to base data acquisition.

KEYWORDS:

urban structure, urban planning, climate policy, critical analysis, life cycle assessment, climate change

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 ILMASTONMUUTOS JA MAANKÄYTTÖ	9
2.1 Ilmastonmuutos uhkana	9
2.1.1 Ilmastonmuutoksen luonnontieteelliset perusteet	9
2.1.2 Ihmisen vaikutus ilmastoon	10
2.1.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön	11
2.1.4 Ilmastonmuutoksen hillintä	13
2.2 Maankäyttö ja kaavoitus	14
2.2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki	15
2.2.2 Vaikutusten arviointi kaavoituksessa	16
2.3 Ilmastonmuutos ja maankäyttö	17
3 INDIKAATTORIT PÄÄTÖKSENTEON APUVÄLINEINÄ	22
3.1 Indikaattorit	22
3.2 Talouden panos-tuotos -perusteinen hybridielinkaarianalyysi	25
3.3 EIO-hybridi-LCA-mallin tulokset suhteessa aiempaan tutkimukseen	28
4 TUTKIMUKSEN KUVAUS	30
4.1 Tutkimuksen tarkoitus	30
4.2 Tutkimuksen kuvaus ja aluerajaus	31
4.3 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset	31
4.4 Tutkimusmenetelmät	32
4.5 Tutkimuksen luotettavuus	34
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	36
5.1 Metakritiikki	36
5.1.1 Pohjatietojen epävarmuudet	36
5.1.2 Tuottajien ja tuotteiden välisten erojen katoaminen sektorien sisällä	37
5.1.3 Ulkomaiseen tuotantoon liittyvät ongelmat	39
5.1.4 Paikkaan ja aikaan liittyvät ongelmat	40
5.1.5 Fysikaalisten yksiköiden ja rahallisen arvon yhdistämisestä johtuvat ongelmat	41
5.2 Kysymyspatteristo	41

5.2.1	Odotetulla tavalla paineisiin vastaaminen	41
5.2.2	Tavoitetason ja/tai referenssitason määrittelyminen tieteellisistä lähtökohdista	42
5.2.3	Päällekkäisyyden välttäminen	42
5.2.4	Relevanssi	43
5.2.5	Validiteetti	44
5.2.6	Reliabiliteetti	50
5.2.7	Vertailtavuus muihin mittareihin	54
5.2.8	Helppokäyttöisyys	55
5.2.9	Mahdollisuus tavoitteen asettamiseen	55
5.2.10	Käytettävyys suunnittelun ja päätöksenteon ohjaamiseen	55
5.2.11	Mahdollisuus tavoitteiden toteutumisen seurantaan	56
5.2.12	(Ekologiseen) muutokseen kannustavuus	56
5.2.13	Uuden tiedon tuottaminen julkiseen keskusteluun	57
6	TUTKIMUSTULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	58
6.1	Laskentamallin saama kritiikki	58
6.2	Laskentamallin puutteet yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten mittaamisen näkökulmasta	59
6.3	Laskentamalli soveltuvuus päätöksenteon apuvälineeksi	61
6.4	Laskentamallin aiemmista tutkimuksista poikkeavat tulokset	61
6.5	Johtopäätökset	62
	LÄHTEET	65
	LIITTEET	
	KUVAT	
	Kuva 1. Vertailu: ilmastonmuutoksen riskit Reasons for concern 2001 (IPCC 2001) ja 2009 raporteissa (Smitha, J 2009).	12
	Kuva 2. Periaatekaavio yhdyskuntarakenteen vaikutuksista ja vaikutuskeinoista suhteessa kasviuonekaasupäästöihin (Lahti & Moilanen 2010, 67).	20
	Kuva 3. Vaihtoehtoisten yhdyskuntarakenteellisten kehitysurien vaikutukset kasviuonekaasupäästöihin vuonna 2050 tiivistettynä (Lahti & Moilanen 2010, 81).	21
	Kuva 4. Panosten ja tuotosten laskeminen IOE-LCA:ssa (mukaiillen Carnegie Mellon 2013c).	27
	Kuva 5. Ympäristövaikutusten lisääminen IOE-LCA-laskentaan (mukaiillen Carnegie Mellon 2013c).	27
	Kuva 6. Kotitalouksien kulutukseen menevä osuus käytettävissä olevista tuloista tuloviidenneksittäin vuonna 2006 (Tilastokeskus 2008a).	47
	Kuva 7. Kotitalouksien kulutukseen menevä osuus käytettävissä olevista tuloista taajama-asteen mukaan vuonna 2006 (Tilastokeskus 2008b).	49
	Kuva 8. Tulotasoon kytkeytynyt aggregaatiovääritys. Prosessikaavio (Girod & De Haan 2010, 36 perusteella).	53

TAULUKOT

- Taulukko 1. Parhaat arviot, todennäköiset vaihteluvälit sekä hyvin todennäköiset minimilämpötilan nousut, verrattuna esiteolliseen keskilämpötilaan erilaisilla hiilidioksidiekvivalenttikonsentraatioilla (IPCC:n neljännen arviointiraportin (2009) ”technical summary” s. 66 mukaillen). 14
- Taulukko 2. Kysymyspatteristo. Taulukossa on jaoteltuna luvuissa 2.3 ja 2.4 esitetyt kriteerit indikaattoreille järjestettyinä teemoittain. Liite 1.
- Taulukko 3. Yhdyskuntarakenteen ulkopuolisten sektorien suhteelliset osuudet kokonaishiilijalanjäljestä. Laskettu Heinosen väitöskirjan (2012) sivun 18 taulukon tietojen perusteella. Liite 2.

1 Johdanto

Yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutukset on hyvin politisoitunut ja kärjistynyt kysymys, joten tieteellinen informaatio vaikutuksista on tarpeen kiistojen ratkaisemiseksi perustellusti. Tässä opinnäytetyössä tutkimuksen kohteena oleva laskentamalli on tuottanut aiemmasta poikkeavia tuloksia yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen osalta ja tätä kautta johtaa erilaisiin johtopäätöksiin.

Käsiteltävänä olevan tutkimuksen tuloksia on siteerattu laajalti mediassa ja poliittisilla areenoilla eduskuntaa myöten. Näitä tuloksia on käytetty perusteluina valtakunnallisen kaavoituspolitiikan muutoksiin sekä mediassa että politiikassa.

Näin ollen on tarpeellista selvittää mistä talouden panos-tuotos -perusteisen hybridielinkaarianalyysin ja alan aiempien tutkimustulosten erot johtuvat, miten hyvin malli soveltuu yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin, mitä ongelmia laskentamallissa on ja soveltuuko se käyttäväksi politiikan ohjauksen välineenä.

Tämän opinnäytetyön aiheena on tarkastella hybridielinkaarianalyysimallin soveltuvuutta yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin sekä politiikan ohjauksen apuvälineeksi. Näkökulmaksi on valittu menetelmäkriittikki ja metodeina käytetään kirjallisuuskatsausta sekä kysymyspatteristoa.

Tutkimuksen toisessa luvussa käydään läpi ilmastomuutoksen perusteita sekä suhdetta maankäyttöön ja kaavoitukseen. Luvussa 2.1 käsitellään ilmastomuutoksen luonnontieteelliset perusteet, ihmistoiminnan vaikutukset maailman ilmastojärjestelmään sekä keinoja hillitä negatiivisia vaikutuksia. Luvussa 2.2 käydään läpi Suomen lainsäädäntöä sekä käytäntöjä liittyen maankäyttöön ja kaavoitukseen sekä näihin liittyviä arviointiprosesseja. Luvussa 2.3 käydään läpi ilmastomuutoksen ja yhdyskuntarakenteen välisiä vaikutussuhteita.

Luvussa kolme käydään läpi indikaattoreiden tarkoitusta ja käyttöä sekä esitellään tarkasteltavana oleva laskentamalli. Luvun aluksi (3.1) esitellään indikaattoreiden tarkoitusta sekä indikaattoreille esitettyjä vaatimuksia ja suosituksia. Luvun toisessa osiossa (3.2) esitellään käsiteltävänä oleva panos-tuotos -perusteinen hybridi elinkaarianalyysilaskentamalli.

Luvussa neljä on kuvaus tutkimuksen tarkoituksesta ja käytettävistä metodeista. Luvun aluksi (4.1) esitellään tutkimuksen tarkoitus ja tausta, jonka pohjalta tutkimukseen ja tutkimusongelmaan on päädytty. Tämän jälkeen esitellään tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset (4.3). Seuraavaksi käydään läpi valitut tutkimusmenetelmät (4.4) ja lopuksi arvioidaan tutkimuksen luotettavuutta (4.5).

Tutkimuksen viidennessä luvussa esitellään läpi kirjallisuuskatsauksen tulokset sekä kysymyspatteriston vastaukset. Metakritiikin kirjallisuuskatsaukseen perustuva materiaali esitellään luvussa 5.1 ja kysymyspatteriston vastaukset esitellään luvussa 5.2.

Kuudennessa luvussa ovat vastaukset tutkimuskysymyksiin sekä johtopäätökset. Alaluvuissa 6.1 – 6.5 käydään läpi tutkimustulokset suhteessa tutkimuskysymyksiin. Lopuksi esitellään johtopäätökset ja suositukset (6.6).

2 Ilmastonmuutos ja maankäyttö

2.1 Ilmastonmuutos uhkana

Ilmastonmuutoksella tässä työssä tarkoitetaan antropogeenistä, eli ihmisen toimista johtuvaa, maapallon keskilämpötilan nousua. Ilmaston lämpeneminen perustuu kasvihuoneilmiön voimistumiseen.

Aineistona tässä luvussa on pääasiassa käytetty Hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) arviointiraportteja, jotka ovat yhteenvetoraportteja tuhansista vertaisarvioituista tieteellisistä julkaisuista.

2.1.1 Ilmastonmuutoksen luonnontieteelliset perusteet

Maapallon ilmastojärjestelmä on hyvin monimutkainen ja interaktiivinen kokonaisuus, joka koostuu ilmakehästä, vesialueista kuten meristä, mantereista ja saarista, jäästä ja lumesta sekä eliökehästä. Ilmasto määritellään säätilojen vaihtelujen keskiarvoksi tietyllä alueella ja tietyssä ajanjaksona. Useimmiten käytetään 30 vuoden ajanjaksoa. (IPCC 2007a, 96.)

Maapallon ilmaston lämpötila määräytyy maan säteilytasapainon mukaan. Säteilytasapainolla tarkoitetaan auringosta maapallolle saapuvan ja ilmakehästä poistuvan energiamäärän tasetta. Tämä tasapaino voi muuttua kolmella tavalla: 1. auringosta saapuvan säteilyn määrä muuttuu (esimerkiksi maan kiertoradan muuttuminen), 2. maapallon heijastuskyky eli albedo muuttuu (esimerkiksi lumipeitteen lisääntyminen) ja 3. kasvihuoneilmiö, jossa niin kutsutut kasvihuonekaasut absorboivat pitkäaaltoista säteilyä ja estävät sen poistumisen ilmakehästä, voimistuu tai heikkenee (esimerkiksi kasvihuonekaasujen lisääntyminen tai vähentyminen maapallolla). Ilmasto ja lämpötilat reagoivat säteilytasapainon muutoksiin sekä välittömästi että välillisesti monien takaisinkytkentämekanismien kautta. (IPCC 2007a, 96.)

Maapallon säteilytasapaino osoittaa, että ilman kasvihuoneilmiötä maapallon keskilämpötila olisi noin -19 celsiusastetta (IPCC 2007a, 96–97). Nykyään

keskilämpötila on kuitenkin noin 14 celsiusastetta, joten kasvihuoneilmiö lämmittää maata noin 33 celsiusastetta ja siten mahdollistaen nykyisen kaltaisen elämän maan ilmakehässä (IPCC 2007a, 96–97). Tärkeimmät kasvihuonekaasut ovat vesihöyry, hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O), otsoni (O₃) sekä lukuisat CFC-yhdisteet (Ilmatieteen laitos 2010).

2.1.2 Ihmisen vaikutus ilmastoon

Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien mittaaminen aloitettiin vuonna 1958 Charles David Keelingin toimesta Havaijilla. Nykyisten kasvihuonekaasupitoisuusmittauksien lisäksi viime vuosikymmeninä on tutkittu historiallisia pitoisuuksia muun muassa jäätikkönäytteiden avulla. Näin on kyetty vertailemaan historiallisia kasvihuonekaasupitoisuuksia ja ilmaston lämpötiloja nykyisiin pitoisuuksiin ja lämpötiloihin. (IPCC 2007a, 100–102.)

Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että maapallon keskilämpötila on noussut viimeisen sadan vuoden aikana noin 0,75 celsiusastetta. Lämpötilan nousun seurauksena merenpinta on noussut sekä lumen ja jään peittämien alueiden on havaittu supistuneen. IPCC toteaaakin neljännessä arviointiraportissaan että: ”Ilmaston lämpeneminen on kiistatonta”. (IPCC 2007b, 2.)

Merkittävien kasvihuonekaasujen, hiilidioksidin, metaanin ja dityppioksidin, pitoisuudet ovat kasvaneet merkittävästi ihmisen toiminnan johdosta viimeisen 250 vuoden aikana. Ilmakehän hiilidioksidi- ja metaanipitoisuudet olivat vuonna 2005 selvästi luonnollisen vaihteluvälin yläpuolella 650 000 vuoden tarkasteluvälillä. Hiilidioksidipitoisuuden kasvu johtuu pääosin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Metaanipitoisuuden kasvun syinä ovat maatalous ja fossiiliset polttoaineet. IPCC:n mukaan havaittu maapallon keskilämpötilan nousu johtuu *hyvin todennäköisesti* (>95 prosentin todennäköisyydellä) ihmiskunnan tuottamien kasvihuonekaasujen lisääntymisestä. (IPCC 2007b, 7.)

2.1.3 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ihmisiin ja ympäristöön

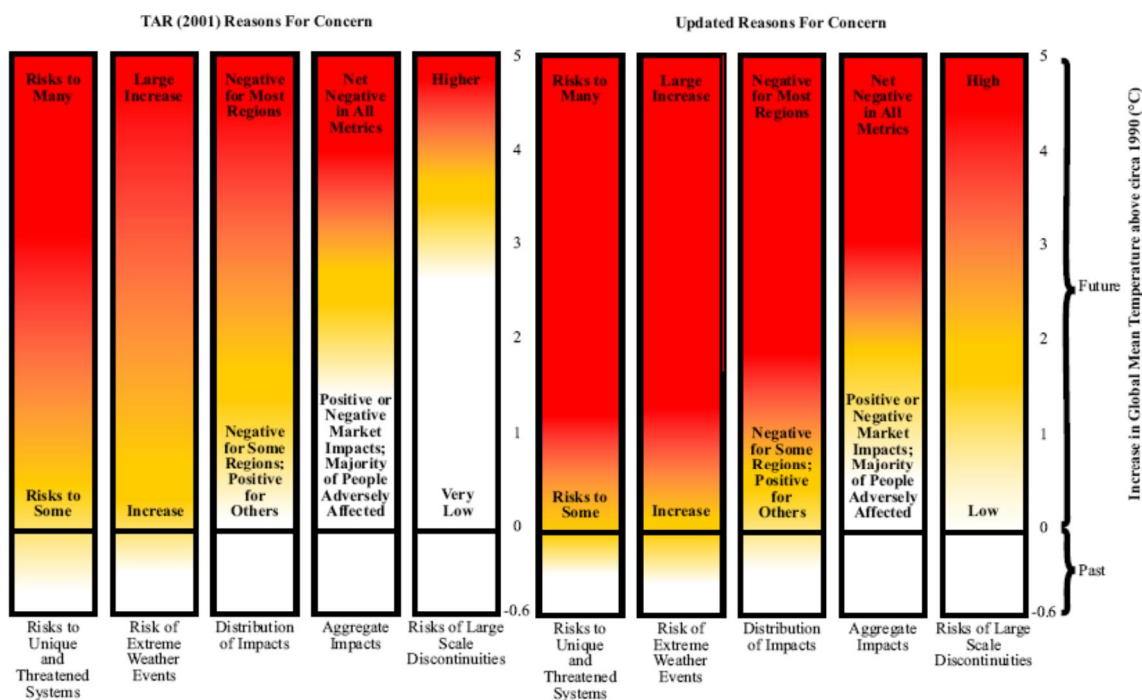
Antropologinen eli ihmisen aiheuttama ilmastonlämpeneminen on IPCC:n mukaan *hyvin todennäköisesti* kohottanut meren pintaa, *todennäköisesti* vaikuttanut tuulten jakaumiin sekä *yli 50 prosentin todennäköisyydellä* lisännyt lämpöaaltojen riskiä, kuivuudesta kärsivien alueiden laajuutta sekä rankkasateita (IPCC 2007b, 8).

Kasvihuonekaasupäästöjen kasvun jatkuminen nykyuralla tai sen yläpuolella aiheuttaa kiihtyvää lämpenemistä (IPCC 2007b, 9). Jatkuvalle lämpenemiselle on *hyvin todennäköisesti* suurempia vaikutuksia ilmastojärjestelmään kuin viime vuosisadalla havaitulla lämpötilan nousulla (IPCC 2007b, 9). IPCC arvioikin maapallon keskilämpötilan nousevan 1,1–6,4 astetta vuoden 1990 tasosta vuoteen 2100 mennessä (Smitha ym. 2009, 2).

Tämän kaltainen maapallon keskilämpötilan nousu aiheuttaisi IPCC:n neljännen arvointiraportin (IPCC 2007b, 13–16) mukaan:

- Satojen miljoonien ihmisten altistumista veden niukkuudelle
- Kohonnutta sukupuuttoriskiä jopa 30 prosentille maapallon eliölajeista sekä merkittävää määrää sukupuuttoja ympäri maailmaa
- Korallien haalistumisen lisääntymistä ja laajaa kuolleisuutta, joka johtaa näiden biotooppien tuhoutumiseen
- Monenlaisia haittoja toimeentulon rajalla eläville viljelijöille ja kalastajille
- Satojen muutoksia monilla alueilla
- Yhä suurempia tulva- ja myrskytuhoja
- Miljoonien uusien ihmisten joutumista alttiiksi vuosittaisille rannikotulville
- Aliravitsemuksen, suolisto- ja hengityssairauksien sekä tarttuvien tautien lisääntymistä
- Helleaaltojen, kuivuuden ja tulvien aiheuttamien sairauksien ja kuolemien lisääntymistä

Vuonna 2009 julkaistu Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) “reasons for concern” – raportti päivitti näitä ilmastonmuutoksen todennäköisiä vaikutuksia ja riskejä seuraavan sadan vuoden osalta (Smitha ym. 2009, 3).



Kuva 1. Vertailu: ilmastonmuutoksen riskit Reasons for concern 2001 (IPCC 2001) ja 2009 raporteissa (Smitha, J 2009).

Vuoden 2009 raportti osoittaa kuvan 1 mukaisesti, että riskit harvinaisille ja uhanalaisille ekosysteemeille ovat jo kasvaneet ja että nämä ekosysteemit tulevat kärsimään rajusti jo alle yhden celsiusasteen lämpötilan noususta vuoden 1990 tasosta, kun aiemmin vakavien seurausten oletettiin alkavan yli yhden asteen nousun jälkeen (Smitha ym. 2009, 3).

Äärimmäisten sääilmiöiden lisääntyminen ja voimistuminen on aiheuttanut aiemmin luultua suurempia tuhoja omaisuudelle ja useampia ihmisuhreja. Näiden sääilmiöiden voimistumisen ja lisääntymisen katsotaan myös alkavan vähäisemmillä lämpötilan nousuilla kuin aiemmin. (Smitha ym. 2009, 3-4.)

Vuoden 2009 raportti osoittaa myös, että ilmastonmuutoksesta hyötyviä alueita tulee olemaan huomattavasti vähemmän. Vaikutukset ovat uudemman tutkimuksen mukaan negatiivisia suurimmalle osalle alueista lämpötilan noustessa yli yhden celsiusasteen vuoden 1990 tasosta. Myös taloudellisten vaikutusten arvioidaan olevan aiemmin luultua negatiivisempia myös vähäisellä lämpenemisellä. (Smitha ym. 2009, 4.)

Eniten on muuttunut riski ilmastojärjestelmän vakaville häiriöille kuten mannerjäätiköiden sulamiselle ja merenpinnan huomattavalle nousulle. Aiemmassa raportissa tämän riskin uskottiin voimistuvan vasta maapallon keskilämpötilan noustessa yli kolme astetta nykytasolta. Vuoden 2009 raportti kuitenkin osoittaa, että riski on olemassa jo alle yhden asteen lämpenemisellä ja muuttuu vakavaksi keskilämpötilan noustessa yli kaksi celsiusastetta nykyisestä. (Smitha ym. 2009, 4-5.)

Uusin raportti kyseenalaistaa aiemmin hyväksytyt ajatuksen, jonka mukaan ”vaarallinen” ilmastonmuutos kyetään torjumaan, jos ilmasto ei lämpene yli kahta celsiusastetta verrattuna esiteolliseen tasoon (IPCC 1995 ja EU Climate Change Expert Group ‘EG Science’ 2008). Kuvasta 1 voidaan kuitenkin havaita, että suurin osa IPCC:n arvioimista riskeistä tulee konkretisoitumaan, jos maapallon keskilämpötila nousee kaksi celsiusastetta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että ilmaston lämpeneminen tapahtuu aiemmin luultua nopeammin ja sillä on jo vähäisilläkin lämpötilan nousuilla aiemmin luultua vakavampia seurauksia.

2.1.4 Ilmastonmuutoksen hillintä

Ihmisen aiheuttamalla ilmaston lämpenemisellä vakavia negatiivisia vaikutuksia niin luontoon, ympäristöön, talouteen kuin ihmisten terveyteen ja hyvinvointiin, kuten edellisestä luvusta (2.1.3) käy ilmi.

IPCC:n kolmannessa arviointiraportissa todetaan, että vaarallisen ilmastonmuutoksen, jolla IPCC tarkoittaa yli kahden celsiusasteen lämpenemistä esiteolliseen tasoon verrattuna, torjumiseksi 50 prosentin

todennäköisyydellä ilmakehän hiilidioksidiekvivalenttipitoisuustason tulisi olla alle 450 miljoonasosaa (ppm). Tämä tarkoittaisi, että Kioton sopimuksen Annex I -maiden eli kehittyneiden teollisuusmaiden tulisi kyetä vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 25–40 prosenttia vuoteen 2020 mennessä ja 80–95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta (taulukko 1).

Taulukko 1. Parhaat arviot, todennäköiset vaihteluvälit sekä hyvin todennäköiset minimilämpötilan nousut, verrattuna esiteolliseen keskilämpötilaan erilaisilla hiilidioksidiekvivalenttikonsentraatioilla (IPCC:n neljännen arviointiraportin (2009) ”technical summary” s. 66 mukailten).

Hiilidioksidiekvivalenttia (ppm)	Lämpötilanousu celsiusasteina		
	Paras arvio	Hyvin todennäköisesti yli	Todennäköinen vaihteluväli
350	1,0	0,5	0,6-1,4
450	2,1	1,0	1,4-3,1
550	2,9	1,5	1,9-4,4
650	3,6	1,8	2,4-5,5
750	4,3	2,1	2,8-6,4
1000	5,5	2,8	3,7-8,3
1200	6,3	3,1	4,2-9,4

Neljännessä arviointiraportissaan IPCC laskee, ettei 450 ppm:n tavoitekaan tule riittämään 50 prosentin todennäköisyyteen kahden celsiusasteen alittamisessa.

Kun otetaan huomioon IPCC:n uusin riskianalyysi, voidaan todeta, että vaarallisen ilmastonmuutoksen torjumiseksi Annex I -maiden tulee todennäköisesti vähentää päästöjään arvioidun skaalan yläpään tavoitteiden mukaisesti eli 40 prosenttia vuoteen 2020 mennessä ja 95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta.

2.2 Maankäyttö ja kaavoitus

Maankäytöllä tarkoitetaan yleensä ihmisen toimesta tapahtuvaa tai ihmisen järjestämää maa-alueen hyväksikäyttöä eri tarkoituksiin. Maankäytön suunnittelua toteutetaan kaavoituksen avulla. Maankäytön suunnittelun ja rakentamisen ohjauksen tavoitteena on hyvän elinympäristön ja yhdyskuntien

kestävän kehityksen edistäminen ja rakentamisen laadun varmistaminen. (Valtion ympäristöhallinto 2010.)

2.2.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Suomessa maankäyttöä säätelee Maankäyttö- ja rakennuslaki. Lain tavoitteena on järjestää alueiden käyttö ja rakentaminen niin, että ne luovat edellytykset hyvälle elinympäristölle sekä edistävät ekologisesti, taloudellisesti, sosiaalisesti ja kulttuurisesti kestävä kehitystä. Lisäksi tarkoituksena on turvata ihmisten osallistumismahdollisuus asioiden valmisteluun, suunnittelun laatu ja vuorovaikutteisuus, asiantuntemuksen monipuolisuus ja avoin tiedottaminen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.)

Kaavoituksesta Suomessa vastaavat maakunnat ja kunnat. Maakunnan liitto laatii maakuntakaavan, jonka tarkoituksena on esittää suurpiirteinen suunnitelma alueiden käytöstä maakunnassa tai sen osa-alueella (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132).

Kunnat laativat alueiden käytön järjestämiseksi yleiskaavoja ja asemakaavoja. Yleiskaavan tarkoitus on osoittaa alueiden käytön pääpiirteet kunnassa.

”Yleiskaavassa esitetään tavoitellun kehityksen periaatteet ja osoitetaan tarpeelliset alueet yksityiskohtaisen kaavoituksen ja muun suunnittelun sekä rakentamisen ja muun yhdyskuntarakenteen perustaksi.” (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.)

Yleiskaavaa laadittaessa on otettava huomioon muun muassa seuraavia sisältövaatimuksia:

1. yhdyskuntarakenteen toimivuus, taloudellisuus ja ekologinen kestävyys
2. olemassa olevan yhdyskuntarakenteen hyväksikäyttö
3. mahdollisuudet liikenteen, erityisesti joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen, sekä energia-, vesi- ja jätehuollon tarkoituksenmukaiseen järjestämiseen ympäristön, luonnonvarojen ja talouden kannalta kestäväällä tavalla sekä
4. ympäristöhaittojen vähentäminen (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132).

Asemakaavan tarkoitus taas on osoittaa kunnan osa-alueen käyttö sekä rakentamisen järjestäminen tonteilla (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132).

”Alueiden käytön yksityiskohtaista järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten laaditaan asemakaava, jonka tarkoituksena on osoittaa tarpeelliset alueet eri tarkoituksia varten ja ohjata rakentamista ja muuta maankäyttöä paikallisten olosuhteiden, kaupunki- ja maisemakuvan, hyvän rakentamistavan, olemassa olevan rakennuskannan käytön edistämisen ja kaavan muun ohjaustavoitteen edellyttämällä tavalla.” (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.)

Asemakaavan tulee noudattaa oikeusvaikutteista maakuntakaavaa sekä yleiskaavaa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132).

Asemakaavaa laadittaessa on otettava huomioon muun muassa seuraavia sisältövaatimuksia:

1. edellytykset terveelliselle, turvalliselle ja viihtyisälle elinympäristölle
2. palvelujen alueellinen saatavuus
3. liikenteen järjestäminen
4. rakennettua ympäristöä ja luonnonympäristöä tulee vaalia eikä niihin liittyviä erityisiä arvoja saa hävittää. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.)

2.2.2 Vaikutusten arviointi kaavoituksessa

Vaikutusten arvioinnilla tarkoitetaan kaavan ja sitä koskevien vaihtoehtojen toteuttamisen merkittävien vaikutusten ennakoarviointia. Erillisellä vaikutusselvityksellä taas tarkoitetaan kaavan yksittäisiin vaikutuksiin tai vaikutusryhmään keskittyvää erillistä selvitystä. (Ympäristöministeriö 2006, 8.)

Maankäyttö- ja rakennuslain 9 pykälässä vaikutusten arvioinnista todetaan seuraavaa:

”Kaavan tulee perustua riittäviin tutkimuksiin ja selvityksiin. Kaavaa laadittaessa on tarpeellisessa määrin selvitettävä suunnitelman ja tarkasteltavien vaihtoehtojen toteuttamisen ympäristövaikutukset, mukaan lukien yhdyskuntataloudelliset,

sosiaaliset, kulttuuriset ja muut vaikutukset. Selvitykset on tehtävä koko siltä alueelta, jolla kaavalla voidaan arvioida olevan olennaisia vaikutuksia”. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 8.4.2005/202.)

Ympäristöministeriön Vaikutusten arviointi kaavoituksessa -oppaassa todetaan esipuheessa seuraavaa:

”Vaikutusten arviointi on olennainen osa suunnittelua. Kysymys ei siis ole erillisestä prosessista tai menetelmästä, vaan tärkeästä työkalusta, joka parhaimmillaan hyödyttää tehokkaasti suunnittelua, osallistumista ja päätöksentekoa. Vaikutusten arviointi on aina sovittava kunkin kaavatason ja kaavoitustehtävän erityispiirteiden mukaisesti – yhtä kaikkiin tilanteisiin soveltuva mallia ei ole.” (Ympäristöministeriö 2006, 7.)

Vaikutusten arvioinnin tarkoituksena on siis tuottaa tietoa kaavan toteuttamisen merkittävistä vaikutuksista. Vaikutuksia koskevaa tietoa tuotetaan ja hyödynnetään läpi koko kaavaprosessin. Vaikutusten arviointi on suunnittelutyökalu, joka palvelee suunnitteluongelmien ratkaisemisessa ja helpottaa erityisesti eri vaiheissa tehtäviä valintoja (Ympäristöministeriö 2006, 10). Arvioinnin tavoitteena on myös vähentää tai lieventää hankkeen, suunnitelman tai ohjelman kielteisiä vaikutuksia ja vahvistaa niiden myönteisiä vaikutuksia (Ympäristöministeriö 2006, 9).

Erillisiä vaikutusselvityksiä voidaan tehdä merkittävien vaikutusten arvioimiseksi ja ulkopuolisten tahojen toimesta. Selvitykset voivat liittyä kaavan yksittäisiin vaikutuksiin, kuten selvitykseen liikennemelun vaikutuksista asuntoalueeseen, vaikutusryhmään, kuten yleiskaavan sosiaalisiin vaikutuksiin tai kaavan osaratkaisuihin, kuten arviointiin maakuntakaavan jätteenkäsittelyalueiden vaikutuksista. (Ympäristöministeriö 2006, 14.)

2.3 Ilmastonmuutos ja maankäyttö

Ilmastonmuutoksen ja yhdyskuntarakenteen välistä suhdetta on tutkittu pitkään ja aiheesta on julkaistu suuri määrä tutkimuksia. Tämän tutkimuksen kannalta oleellista on hahmottaa, mitkä päästölähteet liittyvät yhdyskuntarakenteen

muutoksiin sekä vastaavasti, miten yhdyskuntarakenteen muutokset vaikuttavat päästöihin.

Alan kirjallisuudessa keskeisimmiksi maankäyttöön ja rakentamiseen liittyviksi ilmastopäästölähteiksi esitetään kaupunkirakenteen tiiviys ja eheys, kaupunkialueen rakenne, liikennejärjestelmät, rakennusteknologia sekä asumisväljyys. (Kennedy ym. 2009, 7298-7300 ja Cordon ym. 2009, 6-8.)

Cordon ja muut kirjoittajat esittävät julkaisussaan *Urban planning tools for climate change mitigation* (2009, 6-8) maankäyttöön liittyvien päästölähteiden jakautuvan liikenteen, rakennuksien ja infrastruktuurin rakentamisen ja käytön aikaisiin päästöihin.

Kaupunkirakenteen tiiviys tai eheys vaikuttaa vahvasti liikennejärjestelmään, liikennemuotoihin ja -määriin sekä tätä kautta polttoainekulutukseen sekä hiilidioksidipäästöihin. Hyvin tiivis kaupunkirakenne ohjaa vähäisempään henkilöautonkäyttöön, suurempaan joukkoliikenteen, pyöräilyn ja kävelyn osuuteen sekä pienempiin liikennemääriin. Nämä tekijät vähentävät liikennesektorin päästöjä huomattavasti. Toiseksi tiiviys vaikuttaa mahdollisuuksiin käyttää kaukolämpöä sekä infrastruktuuriverkoston laajuuteen ja tätä kautta infrastruktuurin rakentamisen ja huollon energiankulutukseen. Erittäin suuressa tiiviydessä, joka saavutetaan vain poikkeuksellisen korkeilla rakennuksilla, on myös negatiivisia vaikutuksia, jotka tulevat pilvenpiirtäjien rakennusmateriaalien sivuvirtoina. (Fong ym. 2008, 19.)

Kaupunkirakenteen merkitys nähdään niin merkityksellisenä ilmastonmuutoksen kannalta, että lähes kaikki tutkimukset korostavat tiiviin kaupunkirakenteen merkitystä päästöjen ehkäisyssä. Mahdollisuudet organisoida liikennettä liittyvät kiinteästi kaupunkirakenteeseen. Joukkoliikenne on organisoitavissa tehokkaasti vain jos alueella on joukkoja eli järjestelmän käyttäjien määrä ylittää kriittisen massan. (Fong ym. 2008, 18.)

Rakennusteknologialla on suuri vaikutus päästöjen määrään kahta kautta. Rakennuksen energiatehokkuus lämmön ja sähkön käytössä vaikuttaa suureen osaan päästöistä. Toisaalta käytetyt rakennusmateriaalit sisältävät suuresti

vaihtelevia määriä materiaalien valmistukseen ja kuljetukseen liittyviä päästöjä. Arkkitehtiliiton mukaan nykyisen rakennuskannan elinkaaren aikainen energiankulutus jakaantuu siten, että rakennusmateriaalit ja rakentaminen vastaavat noin 10-20 prosentista päästöistä ja rakennuksen käyttö noin 80-90 prosentista päästöjä. Käytönaikainen kulutus jakautuu siten, että tilojen lämmitykseen kuluu energiasta puolet, sähkökulutus noin 30 prosenttia ja käyttöveden lämmitys noin 20 prosenttia. (Suomen arkkitehtiliitto 2012.)

Myös rakennusten pinta-ala asukasta kohden vaikuttaa vahvasti henkilökohtaisiin päästöihin (Fong ym. 2008, 19).

Esitetyn perusteella voidaan hahmottaa seuraava jaottelu maankäyttöön liittyvistä päästölähteistä:

1. Yhdyskuntarakenne
 - a. vaikutukset liikennemääriin
 - b. vaikutukset liikennemuotojakaumaan
 - c. vaikutukset tarvittavan infrastruktuurin määrään
 - d. mahdollisuudet käyttää kaukolämpöä
2. Rakennukset
 - a. rakennusmateriaalien päästöt
 - b. rakennusten energiantehokkuus ja energiamuotovalinnat
 - c. rakennusten pinta-ala per asukas

Seuraava Lahden ja Moilasen kuvaaja tukee edellä olevaa kansainvälisistä lähteistä koottua listausta yhdyskuntarakenteen vaikutuksista ja suhteista kasvihuonekaasupäästöihin (Lahti & Moilanen 2010, 67).



Kuva 2. Periaatekaavio yhdyskuntarakenteen vaikutuksista ja vaikutuskeinoista suhteessa kasvihuonekaasupäästöihin (Lahti & Moilanen 2010, 67).

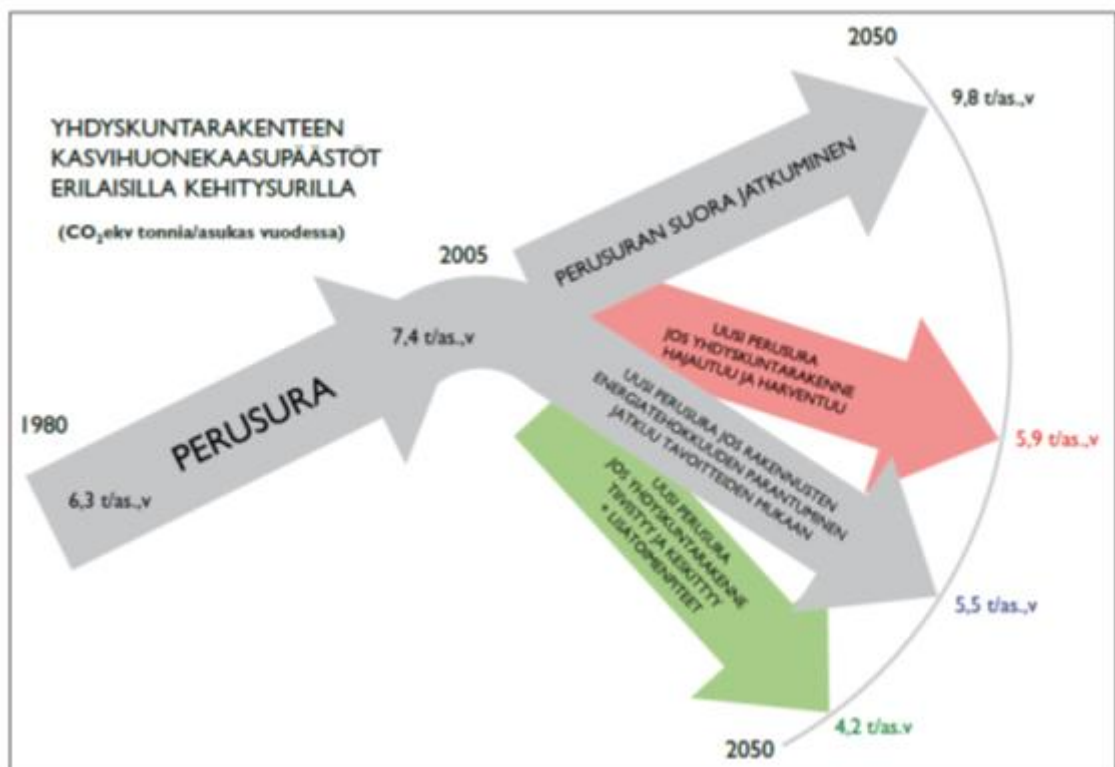
Lahden ja Moilasan kuvaaja myös sitoo yhteen aiemmissa luvuissa läpikäytyjä yhdyskuntarakenteen ohjauskeinoja ja näin antaa selkeän pohjan sekä ilmastovaikutusten että politiikan ohjauksen arvioinnille.

Edelleen rajaten voidaan todeta, että edellä esitetyistä ilmastopäästölähteistä, joilla on selkeä yhteys maankäyttöön ja sen muutoksiin, vain osaan voidaan vaikuttaa kaavoituksen yhteydessä. Esimerkiksi rakennusten energiatehokkuudesta ei voida kaavassa maankäyttö- ja rakennuslain mukaan säätää voimassa olevia rakennusmääräyksiä tiukemmiksi, eikä kaukolämpöverkon ulkopuolella voida kaavoituspäätöksillä vaikuttaa valittavaan lämmitysmuotoon.

Näin ollen kaavoituksessa sellaisia päästölähteitä, joihin voidaan vaikuttaa suoraan maakunta-, yleis- tai asemakaavalla ovat liikenteen määrä ja laatu, tarvittavan infrastruktuurin määrä ja laatu, mahdollisuus liittyä kaukolämpöverkkoon sekä jossain tapauksissa rakennusten pinta-ala per asukas.

Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin 30 % on peräisin rakennusten lämmityksestä ja sähkönkulutuksesta. Rakennusmateriaalien valmistus ja rakentamisvaiheen päästöt vastaavat alle viidestä prosentista kotimaisista päästöistä. Liikennesektori vastaa noin 16 prosentista Suomen päästöistä. (Heljo ym. 2005, 34.)

Maankäyttöön liittyvät, siitä aiheutuvat tai sellaiset päästölähteet joihin maankäytöllä voidaan vaikuttaa, vastaavat siis noin puolesta Suomen päästöistä.



Kuva 3. Vaihtoehtoisten yhdyskuntarakenteellisten kehitysrien vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin vuonna 2050 tiivistettynä (Lahti & Moilanen 2010, 81).

Lahden ja Moilasan mukaan (kuva 3) nämä päästöt on mahdollista puolittaa perusuran arviosta maankäyttöön ja rakentamiseen liittyvillä politiikkatoimilla.

3 Indikaattorit päätöksenteon apuvälineinä

"They can provide an early warning, sounding the alarm in time to prevent economic, social and environmental damage. They are also important tools to communicate ideas, thoughts and values because as one authority said, "We measure what we value, and value what we measure". (DESA/DSD 2001, 2.)

3.1 Indikaattorit

Valtiovarainministeriö määrittelee Indikaattorit ohjauksen ja seurannan välineinä – raportissaan käsitteen seuraavasti:

"Indikaattori: Ytimekäs käsite, joka kuvaa tiettyä trendiä tai muutosta ympäristön tilassa.

Indikaattori (yhteiskunta-, talous- ja ympäristötieteissä) on jokin tunnusluku, joka kuvaa jotain piirrettä asioiden tilasta ja kehityksestä." (valtiovarainministeriö 2005, 2.)

Indikaattoreita on käytetty jo pitkään kansantalouden tilan arvioinnissa. Näistä taloudellisista indikaattoreista tunnetuin on bruttokansantuote (BKT). Taloudellisten indikaattorien rinnalle kehitettiin 1960- ja 1970-luvuilla sosiaalisia indikaattoreita. Uudempi aluevaltaus ovat ympäristöindikaattorit, jotka tekivät läpimurron muutama vuosikymmen sitten. Näitä yhdistelemällä on muodostettu kestävä kehityksen indikaattoreita. (Rosenström & Palosaari 2000, 8.)

Indikaattori on sanakirjamääritelmän mukaisesti osoitin tai ilmaisin. Sillä voidaan myös tarkoittaa tilastollista lukua, jonka avulla voidaan tiivistää suuri määrä tietoa helposti hallittavaan ja ymmärrettävään muotoon. Indikaattoreita voidaan käyttää apuvälineenä niin tavoitteiden asettamisessa ja seurannassa kuin suunnittelussa ja päätöksenteossakin. Yhteensopivilla indikaattoreilla voidaan verrata eri alueiden välistä kehitystä. (Rosenström & Palosaari 2000, 8.)

Valtiovarainministeriön raportin mukaan keskeisiä vaatimuksia indikaattoreille ovat *relevanssi* (aiheenmukaisuus, sopivuus, hyödyllisyys), *validiteetti* (mitataanko oikeaa asiaa) ja *reliabiliteetti* (luotettavuus, uskottavuus, paikkansapitävyys) (valtiovarainministeriö 2005, 4). Näiden lisäksi tärkeitä ominaisuuksia yhteiskuntapolitiikan suunnitteluun ja toteutukseen tarkoitetuilla

indikaattoreilla ovat ymmärrettävyys, päällekkäisyyden välttäminen, vertailtavuus kansainvälisten mittareiden kanssa, selkeä yhteys politiikkatavoitteeseen, mahdollisuus vaikuttaa välineindikaattoriin selkeällä poliittisella mekanismilla sekä eteenpäin katsominen (valtiovarainministeriö 2005, 38).

Rosenström ja Palosaari määrittelevät indikaattorien valintakriteereiksi luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden. Luotettavuus koostuu ajallisesta ja alueellisesta edustavuudesta, tieteellisestä hyväksyttävyydestä, tutkimuksen toistettavuudesta sekä siitä, ettei indikaattori välitä päällekkäistä informaatiota muiden indikaattorien kanssa. Käyttökelpoisuus taas koostuu tarpeellisuudesta, indikaattorin yksinkertaisuudesta ja helposta tulkittavuudesta, herkkyydestä muutoksille, ennakkoinnin mahdollistamisesta (aikasarjoista ja ennusteista), tavoite- tai suositusarvon sisällyttämisestä sekä vertailun mahdollistamisesta. (Rosenström & Palosaari 2000, 9.)

Indikaattorit voidaan jakaa kuvaileviin (kvalitatiivisiin) ja määrällisiin (kvantitatiivisiin) indikaattoreihin. Määrälliset indikaattorit kuvaavat mitattavia, numeraalisia asiakokonaisuuksia, kun taas kuvailevat indikaattorit pyrkivät kuvailemaan asiaa tai sen tilaa. (Rantala 2007, 18.)

Kvantitatiivisten indikaattoreiden käytön kolme keskeistä tukijalkaa ovat: hyvä numeerinen, esimerkiksi tilastollinen tietopohja, laadukas tutkimus sekä kvalitatiivinen, kokonaisuuden huomioon ottava harkinta. Selkeät kvantitatiiviset tavoitteet, kansainväliset vertailut sekä analyysiketjut vaikuttavuudesta mahdollistavat indikaattorin tulosten kriittisen arvioinnin. (valtiovarainministeriö 2005, 5.)

Indikaattorien käytössä on myös omat rajoitteensa. Samalla kun indikaattori tiivistää informaatiota se myös yksinkertaistaa sitä, jolloin relevanttia tietoa voi kadota. Tämän lisäksi yleisiä ongelmia indikaattoreissa ovat tavoitteiden ja keinojen sekoittuminen sekä lopullisten tavoitteiden unohtuminen. (Rantala 2007, 21.)

Rantalan (2007, 18) mukaan,

”Ei ehkä olekaan perusteltavaa pyrkiä laajasti yleistettävään järjestelmään, vaan paikallisesti tietyssä tilanteessa hyvin toimiviin kokonaisuuksiin, kuten tässä tutkimuksessa”.

Tämä pitää paikkansa varmasti myös tässä työssä.

Indikaattorien tarvittavia ja suositeltuja piirteitä ja muuttujia on listattu lukuisissa julkaisuissa. Maija Hakanen (2003) (ks. Rosenström 2003, 2) luettelee indikaattorien hyödyllisiä ominaisuuksia seuraavasti:

- ”Tiedon hankinnan helppous.
- Vertailtavuus kynnysarvoihin ja tavoitteisiin.
- Vertailtavuus muiden järjestelmien indikaattoreihin.
- Liitettävyyys taloudellisiin malleihin ja tietojärjestelmiin.
- Kyky ohjata suunnittelua ja päätöksentekoa.
- Kannustaa muutokseen.
- Heijastaa yhteiskunnallisia tavoitteita.
- Yhdistää kestävyuden kolme ulottuvuutta.
- Liittää yhteen paikallisen ja maailmanlaajuisen.
- Kiinnostavuus eri tahojen kannalta.”

Vivi Fleming-Lehtinen esittelee Biodiversiteetti-indikaattorien kehittäminen MARMONI LIFE+ -projektin esittelykalvoissa (2006, 6) indikaattorin hyviä piirteitä seuraavasti:

- ”Indikaattori kokoaa monimuotoista tietoa yksinkertaiseen ja ymmärrettävään muotoon.
- Yksinkertaisesti päivitettävissä mittausten avulla
- Heijastaa yhtä tai useampaa monimuotoisuuden aspektia
- Vastaa paineisiin odotetulla tavalla
- Voidaan hyödyntää eri maantieteellisillä alueilla
- Tavoitetason asettaminen mahdollista” DIA 5
- Määritetään tieteellisistä lähtökohdista tavoitetaso ja/tai referenssitaso”

YK:n kestävän kehityksen osaston (DESA/DSD) Indicators of sustainable development: framework and methodologies background paper no. 3 –

raportissa (2001, 8) todetaan, että seuraavat tekijät on todettu hyödyllisimmiksi indikaattoreissa:

- “bring important issues to the political agenda;
- help to identify main trends in priority sectors;
- facilitate reporting on the state of sustainable development to decision-makers and the general public, both domestic and international;
- promote national dialogue on sustainable development;
- help to assess the fulfillment of governmental goals and targets, and in the revision of these goals and targets;
- facilitate the preparation and monitoring of plans;
- help to assess the performance of both policies and actions when implementing the plans;
- state the concept of sustainable development in practical terms; and
- focus the national and sectoral programmes and state budgets towards sustainability.”

3.2 Talouden panos-tuotos -perusteinen hybridielinkaarianalyysi

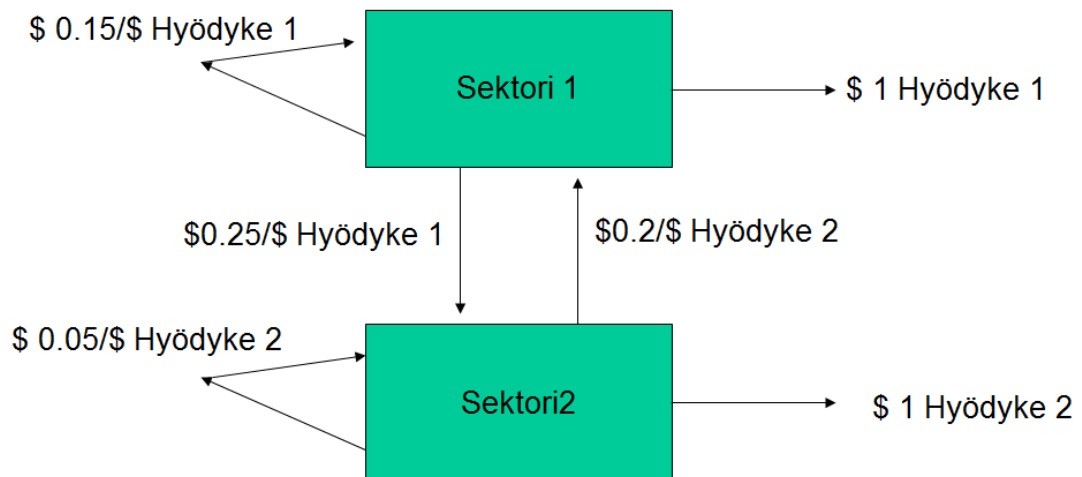
Aalto yliopiston paljon julkisuutta saaneessa tutkimushankkeessa on kehitetty kulutuksen panos-tuotos perusteista elinkaariarviointimallia (economic input-output based life cycle assesment), jota on tohtori Jukka Heinosen väitöstyössä edelleen kehitetty paremmin Suomeen soveltuvaksi hybridimalliksi (EIO-hybrid-LCA). Laskentatapa ottaa huomioon kulutuksen kaikki kasvihuonekaasupäästöt riippumatta missä vaiheessa tuotantoketjua päästöt syntyvät (Heinonen 2012, 12). Mallin pohjana on käytetty Carnegie Mellon -yliopiston talouden panos-tuotos -perusteista elinkaariarviointimallia (EIO-LCA) (Heinonen 2012, 12).

Elinkaarianalyysillä tarkoitetaan malleja, jotka pyrkivät laskemaan kaikki tuotteen tuotannon aikaiset suorat ja epäsuorat panokset. Alun perin prosessiperusteisissa malleissa pyrittiin laskemaan yksittäisen tuotteen tai tuoteryhmän tarkat vaikutukset alenevassa ja käytännössä päättymättömässä ketjussa: esimerkiksi paperimukin valmistuksen suorat vaikutukset paperimukitehtaalla, valmistukseen tarvittavien aineiden kuljetusten ja valmistuksen vaikutukset, näiden valmistukseen tarvittavien aineiden

kuljetusten ja valmistuksen vaikutukset ja niin edelleen. (Carnegie Mellon 2013a.)

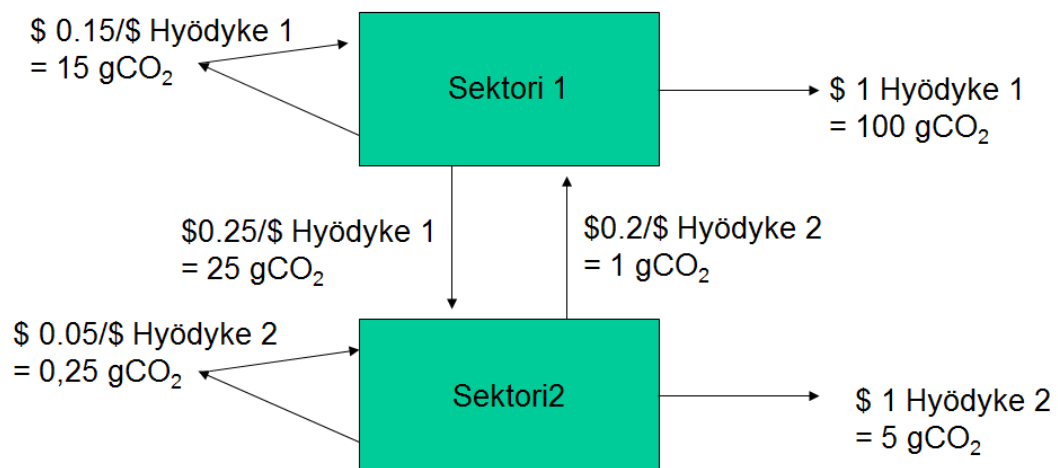
Prosessin raskautta helpottamaan on kehitetty talouden panos-tuotos – analyysimetodi (EIO). Tässä mallissa jokaiselle prosessin osalle lasketaan taloudellinen arvo ja matriisin avulla jokaisen vaiheen panokset ja tuotokset ovat mukana seuraavissa vaiheissa ja lopulta lopputuotteessa kaikkine sivuvirtoineen. EIO-mallia on kehitetty lisäämällä taloudellisen arvon lisäksi näihin arvoihin sidotut ympäristövaikutukset eli yhdistämällä prosessiperusteisen mallin ominaisuuksia EIO-malliin. Tässä EIO-LCA-mallissa jokainen tuotannon vaihe sivuvirtoineen on mukana ja rahalliseen arvoon sidottuna kyetään laskemaan myös vaikutukset ympäristöön. (Carnegie Mellon 2013b.)

Carnegie Mellon -yliopiston esimerkissä (kuva 4) tarkastellaan kahden hyödykkeen ja kahden tuotantosektorin panoksia ja tuotteita sekä seuraavassa esimerkin vaiheessa (kuva 5) näiden ympäristövaikutuksia. Kuvaajassa esitetään, kuinka tuottaakseen yhden dollarin edestä hyödykettä yksi tarvitaan 0,15 dollarin panos sektorilta yksi sekä 0,2 dollarin panos sektorilta kaksi. Samoin tuottaakseen yhden dollarin edestä hyödykettä kaksi, sektori kaksi tarvitsee 0,05 dollarin panoksen omalta sektoriltaan sekä 0,25 dollarin panoksen sektorilta yksi. (Carnegie Mellon 2013c.)



Kuva 4. Panosten ja tuotosten laskeminen IOE-LCA:ssa (mukailen Carnegie Mellon 2013c).

Tämän jälkeen esimerkkiin lisätään ympäristövaikutukset, jotka on laskettu kullekin sektorille yksikössä: ympäristövaikutukset per dollaria hyödykettä. Esimerkissä (kuva 5) sektori yksi tuottaa 100 grammaa hiilidioksidia jokaista tuottamaansa dollaria kohden ja sektori kaksi viisi grammaa hiilidioksidia jokaista tuottamaansa dollaria kohden. (Carnegie Mellon 2013c.)



Kuva 5. Ympäristövaikutusten lisääminen IOE-LCA-laskentaan (mukailen Carnegie Mellon 2013c).

Näin kaikkien panoksien ja tuotoksien ympäristövaikutukset tulevat kuvatuiksi. Todellinen malli sisältää satoja sektoreita panoksineen, tuotoksineen ja ristiinkytkentöineen.

Heinosen väitöskirjan laskennassa pääasiallisina pohjatietoina käytetään Suomen kuluttajatutkimuksen dataa, joka perustuu lähes 10 000 haastatteluun suomalaisten kulutustottumuksista. Pohjadata on hyvin yksityiskohtaista käsittäen yli tuhat tuote- tai hyödykekatgoriaa ja alakategoriaa. Pohjadata mahdollistaa alueiden ja kaupunkien vertailun toisiinsa. (Heinonen ym. 2010, 2.)

Carnegie Mellon -yliopiston EIO-LCA pohjaa on kehitetty ajankohtaisella ja paikallisella prosessidatalla tärkeimpien kohteiden osalta (Säynäjoki ym. 2011, 15). Heinosen tutkimuksissa käytetään hybridianalyysiä, jossa suorat ja tulevaisuudessa toteutuvat vaiheet (kuten rakentaminen, käyttö, ylläpito ja hävitys) sekä muutamat tärkeimmät elinkaaren ja tapahtuneet vaiheet mallinnetaan yksityiskohtaisella prosessianalyysillä ja jäljelle jääneet tuotteiden elinkaarten vaiheet (kuten materiaalien hankinta ja raaka-aineiden jalostus) mallinnetaan panos-tuotos -analyysillä (Säynäjoki ym. 2011, 15).

EIO-hybridi-LCA ei itsessään ole indikaattori, mutta sitä voidaan ajatella käytettävän tällaiseen tarkoitukseen. Kuten ehkä kuuluisin indikaattori bruttokansantuote, joka antaa tuloksia muodossa rahayksikköä per asukas per vuosi, antaa myös EIO-hybridi-LCA-malli tuloksensa samankaltaisessa muodossa ja siten muodoltaan soveltuva indikaattoriksi.

3.3 EIO-hybridi-LCA-mallin tulokset suhteessa aiempaan tutkimukseen

“Any method development should not be seen as an end in itself. A method is suitable only if it fulfills its target – in this case to contribute to environmental policy making in a meaningful manner. Hence, a methodology discussion must have a wider scope – it must be embedded in a system of political target setting and decision making.

Last but not least, instruments must show their value in practical life before existing and well-proven tools are abandoned. Otherwise serious damage is likely to occur.” (ANEC 2012, 1.)

EIO-hybridi-LCA-mallilla saavutetut tulokset ovat nousseet laajaan yhteiskunnalliseen keskusteluun johtuen niiden poikkeavuudesta suhteessa aiempiin tutkimuksiin. Verrattuna aikaisempiin suomalaisiin tutkimuksiin Heinosen (2012) tuloksissa on kaksi eroa: ensinnäkin EIO-hybridi-LCA-mallin tuloksissa laskettu hiilijalanjälki on huomattavasti aiempia tutkimuksia suurempi ja toiseksi johtopäätökset ilmastoystävällisestä yhdyskuntarakenteesta ovat erisuuntaiset.

Aiemmissä tutkimuksissa laskettujen hiilijalanjälkien koko asukkaalle vuodessa on vaihdellut Lahden ja Moilasen (2010, 18) mukaan 3,5 tonnin ja viiden tonnin välillä. Heinosen (2012) tuloksissa hiilijalanjälki asukkaalle vuodessa ovat kahdestatoista tonnista yli kahdeksaantoista tonniin.

Toinen ero tuloksissa koskee erilaisten yhdyskuntarakenteiden tuottamia hiilijalanjälkiä. Lähes kaikissa aiemmissä tutkimuksissa on tuloksena ollut, että hajanainen yhdyskuntarakenne johtaa suurempiin ilmastopäästöihin kuin tiivis ja eheä yhdyskuntarakenne. Esimerkiksi Irmeli Wahlgrenin (2012, 311) EcoBalance-mallilla laskettujen lukuisten tapaustutkimusten mukaan monilla tiiviin yhdyskuntarakenteen ulkopuolella olevilla asuinalueilla on selkeästi suuremmat tai moninkertaiset kasvihuonekaasupäästöt per asukas kuin tiiviin yhdyskuntarakenteen sisällä olevilla. EIO-hybridi-LCA-mallin tapaustutkimuksissa monissa tapauksissa tiiviit kaupunkialueet pärjäsivät huonosti ja joidenkin haja-asuttujen alueiden kasvihuonekaasupäästöt olivat pienempiä (Heinonen 2012, 18).

Näin ollen on tarpeellista selvittää, mistä tulosten erot johtuvat ja onko selvitettävissä, mihin suuntaan johtavien tulosten perusteella yhdyskuntarakenteen ohjausta ja päätöksentekoa olisi suunnattava, jos yhdyskuntarakenteen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä halutaan rajoittaa.

4 Tutkimuksen kuvaus

4.1 Tutkimuksen tarkoitus

Tutkimuksen tarkoituksena on osallistua julkiseen ja tieteelliseen keskusteluun yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuksista, Suomessa kehitettyjen yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen laskentamalleista sekä indikaattoreiden soveltuvuudesta päätöksenteon apuvälineiksi. Yhdyskuntarakenteen vaikutuksia tutkitaan nykyään maankäyttö- ja rakennuslain vaatimusten mukaan kattavasti, kuten luvussa 2.2 esitellään. Ilmastovaikutuksia ei kuitenkaan ole nykyään määrätty selvitettäväksi laissa, eikä tästä syystä näitä vaikutuksia monestikaan tutkita, vaikka ilmastonmuutos on nykyään yksi keskeisimmistä ympäristöpoliittisista teemoista.

Yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutukset on hyvin politisoitunut ja kärjistynyt kysymys, joten tieteellinen informaatio vaikutuksista on tarpeen kiistojen ratkaisemiseksi perustellusti. Tutkimuksen kohteena oleva laskentamalli on tuottanut aiemmasta poikkeavia tuloksia yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen osalta ja tätä kautta johtaa erilaisiin johtopäätöksiin.

Heinosen väitöskirjan tuloksia on siteerattu laajalti mediassa ja poliittisilla areenoilla eduskuntaa myöten. Väitöskirjan tuloksia on käytetty perusteluina valtakunnallisen kaavoituspolitiikan muutoksiin sekä mediassa että politiikassa.

Näin ollen on tarpeellista selvittää mistä talouden panos-tuotos -perusteisen elinkaarianalyysi hybridin ja aiempien tutkimustulosten erot johtuvat, miten hyvin malli soveltuu yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin, mitä ongelmia laskentamallissa on ja soveltuuko se käytäväksi politiikan ohjauksen välineenä.

Tämä työ on rinnakkainen laajan KEKO-hankkeen kanssa, jossa tutkimuslaitosten yhteishankkeena vertaillaan Suomessa käytössä olevia mittareita, joita käytetään yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen laskemisessa ja raportoinnissa. KEKO-hankkeen tarkoitus ei kuitenkaan ole kritisoida

tutkittavina olevia mittareita, jonka vuoksi kritiikki on valittu tässä työssä vahvaksi näkökulmaksi (Säynäjoki 2012). Kun KEKO-hankkeessa käydään lävitse mitä mittarit tekevät, pyrkii tämä tutkimus selvittämään yhden paljon keskustelua herättäneen mittarin soveltuvuutta yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arvioinnin sekä politiikan ohjauksen välineenä.

Työn lähtökohtana on selvittää soveltuuko panos-tuotos -perusteinen elinkaarianalyysi hybridi yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin ja mitä puutteita mallissa on.

Heinonen itse esittää, että laskentamallia voitaisiin käyttää tällaisiin tarkoituksiin:

”With screening-LCA we mean a holistic and efficient monetary based modeling of carbon emissions for decision making. We propose that demand and consumption approach is especially relevant for urban development since it provides a possibility to predict consumer behavior and its environmental implications and further to simulate environmental effects of the coming development projects with the consumer behavior taken into account.”

(Heinonen ym. 2010, 2.)

4.2 Tutkimuksen kuvaus ja aluerajaus

Työn tarkoituksena on tutkia talouden panos-tuotos -perusteista elinkaarianalyysihybridimallia ja hahmottaa, miten hyvin tämä kykenee ilmaisemaan maankäytöstä sekä yhdyskuntarakenteesta johtuvia ilmastopäästöjä. Tämän lisäksi pyritään arvioimaan, miten hyvin kyseinen laskentamalli soveltuu päätöksenteon ohjaamiseen.

4.3 Tutkimusongelma ja tutkimuskysymykset

Tämän tutkimuksen tutkimusongelma on: **Miten hyvin EIO-hybridi-LCA-malli soveltuu yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arviointiin sekä päätöksenteon ohjaamiseen?**

Tutkimusongelma on jaettu useampaan alatason tutkimuskysymykseen, joihin pyritään antamaan vastaukset luvussa 4.4 esitetyillä metodeilla. Alemman tason

tutkimuskysymyksiksi on valittu seuraavat kysymykset, joihin vastaamalla pyritään vastaamaan perustellusti edelle esitettyyn laajempaan tutkimusongelmaan.

- Millaista kritiikkiä laskentamallia kohtaan on esitetty tutkimuskirjallisuudessa?
- Mitä puutteita laskentamallissa on yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten mittaamisen näkökulmasta?
- Soveltuuko laskentamalli päätöksenteon apuvälineeksi?
- Mistä laskentamallin aiemmista tutkimuksista poikkeavat tulokset johtuvat?

4.4 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytetään kirjallisuuskatsaukseen perustuvaa metakritiikkiä sekä vertailua kysymyspatteriston (liite 1) avulla. Metakritiikkiä on kerätty useista alan tiedejulkaisuista. Kysymyspatteriston kysymykset on muodostettu luvuissa 2.3 ja 2.4 esitettyjen lähtökohtien perusteella, joissa käydään läpi yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuksia sekä indikaattoreiden kriteeristöä. Kysymyspatteriston tavoitteena on purkaa tutkimuskysymykset helpommin tutkittaviin osakysymyksiin.

Metakritiikki

Tutkimuksen ensimmäisenä osana suoritetaan kirjallisuuskatsaukseen perustuva metakritiikin kokoaminen. Metakritiikillä terminä viitataan muiden kirjoittajien julkaiseman kritiikin koontiin ja esittämiseen. Useista tieteellisistä aikakausjulkaisuista on etsitty artikkeleita, jotka käsittelevät tutkimuksen kohteena olevaa laskentamallia tai laskentamallissa käytettyä tutkimusmetodia. Näistä artikkeleista on kerätty laskentamallia ja sen metodeja koskevaa kritiikkiä, joka on jaoteltu sisällön mukaisesti viiteen kategoriaan.

Metakritiikin avulla pyritään vastaamaan erityisesti tutkimuskysymyksiin ”*millaista kritiikkiä laskentamallia kohtaan on esitetty tutkimuskirjallisuudessa?*” ja ”*mitä puutteita laskentamallissa on yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten*

mittaamisen näkökulmasta?'. Myös kahteen muuhun tutkimuskysymykseen pyritään etsimään vastauksia.

Kysymyspatteristo

Tutkimuksena toisena metodina käytetään kysymyspatteristoa, jonka avulla pyritään vastaamaan tutkimuskysymyksiin *"soveltuuko laskentamalli päätöksenteon apuvälineeksi"* sekä *"mistä laskentamallin aiemmista tutkimuksista poikkeavat tulokset johtuvat"*. Kysymyspatteriston voi mieltää haastattelututkimukseksi tutkittavalle aineistolle sekä joukoksi tutkimuskysymyksiä edelleen tarkentaviksi alakysymyksiä.

Luvussa 2.4 esitellään useiden lähteiden kriteereitä mittaristoille ja indikaattoreille. Nämä kaikki on koottu taulukkoon 2, joka on liitteestä 1. Taulukossa 2 kriteerit on ensin jaoteltu teemoittain ja tämän jälkeen yhdistetty samankaltaiset kriteerit yksittäisiksi kysymyksiksi, jotka muodostavat kysymyspatteriston.

Taulukossa 2 ylimpänä on otsikko, jonka alle kriteerit on jaoteltu. Vasemmalla on listattuna kaikki kriteerit ja oikealla on lihavoituna tekstinä kriteereistä yhdistetyt kysymykset, jotka pyrkivät kuvaamaan kaikkia kysymykseen sisällytettyjä kriteereitä mahdollisimman hyvin ja jotka muodostavat kysymyspatteriston.

Taulukon 2 mukaiset kysymyspatteriston kysymykset ovat:

Tieteellisyyteen ja pätevyyteen liittyvät kysymykset

1. Vastaa paineisiin odotetulla tavalla
2. Määritetään tieteellisistä lähtökohdista tavoitetaso ja/tai referenssitaso
3. Päällekkäisyyden välttäminen
4. Relevanssi (aiheenmukaisuus, sopivuus, hyödyllisyys)
5. Validiteetti (mitataanko oikeaa asiaa)
6. Reliabiliteetti (luotettavuus, uskottavuus, paikkansapitävyys)

Käytännön toimivuuteen liittyvät kysymykset

7. Onko vertailtavissa muihin mittareihin
8. Onko helppo käyttää

Politiikkaan liittyvät kysymykset:

9. Mahdollistaako tavoitteen asettamisen
10. Kyetäänkö käyttämään suunnittelun ja päätöksenteon ohjaamiseen
11. Mahdollistaako tavoitteiden toteutumisen seurannan
12. Kannustaako (ekologiseen) muutokseen

Julkisuuteen ja uuteen tietoon liittyvät kysymykset:

13. Tuoko uutta tietoa julkiseen keskusteluun

Osa kriteereistä ei liity tutkimuksen aiheeseen, joten näitä ei nostettu kysymyspatteriston osaksi. Nämä poisjätetyt kysymykset löytyvät Taulukon 2 viimeisestä osasta.

Kysymyspatteriston kysymyksien avulla selvitetään tarkastelussa olevan laskentamallin soveltuvuutta yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arviointiin ja päätöksenteon ohjaamiseen.

4.5 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuudessa on monia puutteita.

Kirjallisuuskatsauksen, johon metakritiikki perustuu, tulisi olla laajempi. Mitään löydettyä tutkimusta, jossa aihetta käsiteltiin, ei jätetty pois, mutta on selvää, että laajemmassa katsauksessa olisi löydettävissä lisää tutkimusartikkeleita ja – julkaisuja, joissa aihetta käsitellään.

Kysymyspatteriston kysymysten rajausta ja valikointia on valintakysymys, johon saattavat vaikuttaa monet tutkijasta itsestään johtuvat tekijät. Tämän lisäksi kysymyspatteriston kysymysten soveltaminen näin tarkkaan aiheeseen vaatii tulkintaa, johon ammattitaitoni ei välttämättä riitä.

Aiheena oleva väitöskirja sekä siinä käytetty EIO-hybridi-LCA on monimutkainen laskentamenetelmä eikä minulla ole nimenomaan kyseisen alan koulutusta taikka työkokemusta. Näin ollen ammattitaidon puutteesta johtuva tutkimusaiheen ymmärryksen puutteellisuus on aiheellinen huoli.

Kirjoittajalla on myös vahvoja ennakkokäsityksiä aiheesta, jotka saattavat vaikuttaa tehtyihin johtopäätöksiin ja tulosten tulkintaan. Tämä asetelma sekä muut esitellyt huolet luotettavuuden osalta on kuitenkin tiedostettu alusta lähtien ja niiden vaikutuksia on pyritty minimoimaan.

5 Tutkimuksen toteutus

5.1 Metakritiikki

Aineiston analysoinnin menetelmänä käytetään laadullista sisältöanalyysia, jossa artikkeleista on poimittu kritiikkiä sisältävät kohdat erilleen ja lajiteltu tämän jälkeen teemoittain. Laajoihin aihepiireihin liittyvät luokat on jaettu edelleen alaluokkiin. Metakritiikin koontia käytetään hyödyksi varsinaisiin tutkimuskysymyksiin vastaamisessa sekä luvun 5.2 kysymyspatteriston vastausten taustana.

5.1.1 Pohjatietojen epävarmuudet

Useat lähteet nostavat ensimmäiseksi ongelmaksi käytetyn pohjadatan epävarmuudet. Pohjadatan epävarmuuksien syiksi esitetään tietojen vanhenemista, nopeaa teknologista kehitystä, puutteellista tietoa tuottajien välisistä suhteista sekä kuluttajatutkimusten epävarmuuksia. (Lenzen 2000, Reap ym. 2008a ja Carnegie Mellon 2013c.)

Pohjadataan saattaa tuotantosektorien välisten transaktioiden sekä kuluttajainformaation keräyksessä tulla virheitä tai vääristymiä. Tuotantosektorien data saattaa vääristyä sekä kerätessä että muokattaessa tietoa panos-tuotos-taulukoiksi. Kuluttajatutkimuksen haastatteludata on altis kaikille normaaleille kyselytutkimuksen ongelmille. Lenzenin mukaan näille vääristymille on laskettavissa virhemarginaalit, jotka tulee ottaa huomioon tuloksia esiteltäessä. (Lenzen 2000, 136.)

Reap ym. (2008a, 294) sekä Junnila (2006, 7074) nostavat esiin, että EIO-LCA-mallien data on yleensä huomattavasti vanhempaa kuin prosessi-LCA-mallien. Tämä saattaa johtaa heidän mukaansa pohjadatan vääristymiin nopeasti kehittyvien sektorien osalta. Junnila nostaa esimerkeiksi energiantuotannon rikkidioksidipäästöt sekä sähkömarkkinoiden teknisen kehityksen, joka saattaa johtaa kokonaistuotannon hiili-intensiteetin muutoksiin.

5.1.2 Tuottajien ja tuotteiden välisten erojen katoaminen sektorien sisällä

Selkein ja yleisin kritiikki, joka kirjallisuuskatsauksessa tuli esiin, on kritiikki sektorien sisäisestä aggregaatiosta, jolla tarkoitetaan erilaisten tuottajien ja tuotteiden aggregoitumista eli ryhmittymistä yhdeksi sektoriksi (Lenzen 2000, Junnila 2006, Finnveden ym. 2009 ja Carnegie Mellon 2013c).

EIO-LCA-mallien data kuvaa koko sektorin keskiarvovaikutuksia ja näin ollen heikentää tarkastelun resoluutiota. EIO-LCA-malli olettaa kaikki toimijat yhden sektorin sisällä homogeenisiksi ympäristövaikutusten osalta. Kun yhteen sektoriin lasketaan sisään monenlaisia tuottajia ja tuotteita on approksimaatio, eli arvio yksittäisen tuottajan tai tuotteen todellisesta ympäristövaikutuksesta per rahayksikkö, epätarkka. (Reap ym. 2008a, 294.)

”The precision of this approximation can be poor and depends on how typical or atypical the studied product or product group is in relation to the other products from this sector.” (Finnveden ym. 2009, 8)

”Depending on the model chosen, an industry sector represents a collection of several industry types, and this aggregation leads to uncertainty in how well a specific industry is modeled.” (Carnegie Mellon 2013c)

Kuten Finnveden ym. (2009) sekä Carnegie Mellon (2013c) esittävät, riippuu arvion tarkkuus siitä, miten tyypillinen tai epätyypillinen kyseinen tuottaja tai tuote on hinnaltaan ja ympäristövaikutuksiltaan oman sektorinsa sisällä.

Carnegie Mellonin yliopiston verkkosivuilla, jossa EIO-hybridi-LCA-laskentamalli sijaitsee, ongelmaa esitellään seuraavalla esimerkillä:

”So, the method is limited in its ability to model the effects of "producing one laptop" but is good at modeling the effects of the Electronic Computer Manufacturing sector as a whole.” (Carnegie Mellon 2013c.)

EIO-LCA-malli toimii heidän mukaansa hyvin koko elektroniikkasektorin ympäristövaikutusten laskemiseen, mutta huonosti yksittäisen kannettavan tietokoneen ympäristövaikutusten laskemiseen. Tämä johtuu elektroniikkateollisuussektorin laajuudesta, monimuotoisuudesta sekä monista

erilaisista tuotteista kuten matkapuhelimista, tietokoneista ja kannettavista tietokoneista (Carnegie Mellon 2013c).

Myös Junnila (2006, 7074) tuo esiin esimerkkejä kyseisestä ongelmasta tutkimuksessaan palvelusektorin ympäristövaikutuksista. Hänen mukaansa alojen luettelointi on laajaa, jolloin esimerkiksi ”matkojen” sektorissa on laskettuna sekä henkilöautoilla, busseilla että junilla tehdyt matkat. Tämä luo selkeän mahdollisuuden vääristymälle, koska henkilöautojen, bussimatkojen ja junamatkojen ilmastovaikutukset poikkeavat suuresti toisistaan. Toisena esimerkkinä Junnila (2006, 7074) nostaa esiin toimijoiden väliset muuttujat, kuten lyhyiden ja pitkien lentomatkojen jakauman.

Mainitut ongelmat koskevat tuottajien ja tuotteiden ympäristövaikutusten ja hintojen eroja verrattuna keskiarvoon. Samalle ongelmalle sukua oleva ongelma syntyy myös subjektiivisista arvotuksista. Reap ym. (2008, 379) tuovat esiin subjektiivisen arvotuksen ongelmia artikkelissaan liittyen prosessi-LCA-metodiin. Subjektiivinen arvotus tässä mielessä ei koske EIO-LCA-malleja, mutta subjektiivinen arvotus rahan arvoon liittyen koskee.

Yksilöt arvottavat hyödykkeitä aina subjektiivisesti ja ovat näin valmiita maksamaan samoista hyödykkeistä eri hintoja. Helpoin esimerkki on huutokauppa, jossa hyödyke saattaa saada minkä tahansa hinnan subjektien arvotuksen perusteella. Toisessa esimerkissä nälkiintymisestä kärsivä on todennäköisesti valmis maksamaan ruosta enemmän kuin kylläinen. EIO-LCA-mallin mukaan hyödykkeen ympäristövaikutus kasvaa maksetun hinnan mukaan lineaarisesti, vaikka todellisuudessa hyödykkeellä on sama ympäristövaikutus maksetusta hinnasta riippumatta. Myös subjektiivinen arvotus luo selkeän mahdollisuuden virheen muodostumiseen.

Heinosen väitöstilaisuudessa opponenttina toiminut Berkeleyyn yliopiston professori Arpad Horvath nosti läpikäydyn kritiikin esiin esimerkillä juomapullon hinnasta. Hän huomautti, että EIO-LCA-laskentamallin mukaan saman juomapullon myyminen eri hintaan muuttaa sen ympäristövaikutuksia hinnan mukaisesti, vaikka todellisuudessa ympäristövaikutukset ovat täysin samat.

Kutsun tätä ongelmakokonaisuutta tutkimuksen tulevissa luvuissa aggregaatiovääristymäksi. Aggregaatiovääristymä voi edellä esitetyn perusteella tapahtua kolmessa eri tilanteessa:

1. samanhintaisilla tuotteilla on toisistaan poikkeavat ilmastovaikutukset
2. tuotteilla, joilla on samat ilmastovaikutukset on toisistaan poikkeavat hinnat ja
3. yksi kuluttaja on valmis maksamaan tietystä tuotteesta enemmän kuin toinen (johtaa käytännössä samaan kuin 2.)

Tämän aggregaatiovääristymän vaikutuksista laskentamallin tuloksiin keskustellaan lisää luvussa 5.2.1.

5.1.3 Ulkomaiseen tuotantoon liittyvät ongelmat

Kolmas keskeinen kritiikki, joka toistui kirjallisuuslähteissä, on EIO-LCA-mallien oletus suljetusta taloudesta eli kaikkien tuotteiden kotimaisuudesta (esimerkiksi Lenzen 2000, Reap ym. 2008a ja Carnegie Mellon 2013d). EIO-LCA-malleissa tuontihyödykkeiden ympäristövaikutukset lasketaan samojen muuttujien ja kertoimien perusteella, kuin kotimaisen tuotannon. Tuontimaan sähköntuotanto ja lukuisat muut tekijät saattavat kuitenkin poiketa suuresti ympäristövaikutusten arvioinnin pohjana käytetyistä kotimaisista luvuista. Tämä saattaa vääristää lopputulosta ulkomailla valmistettujen hyödykkeiden osalta jopa kertoimella kolme (Reap ym. 2008a, 294).

Kun tuontituotteet käsitellään valtion talouden sisäisinä tuotteina, on EIO-LCA-laskentaa vaikeaa käyttää avoimiin talouksiin, jossa paljon vertailukelvottomia tuontituotteita (Carnegie Mellon 2013d).

Junnila (2006, 7074) tuo esiin myös hintojen heterogeenisyyteen liittyvät kaksi ongelmaa: arvon alenemisen sekä vaihtokurssit. Tuotanto eri maissa saattaa olla eriarvoista hinnaltaan, jolloin saman kertoimen käyttö kuin kotimaassa ei kärsi ainoastaan teknisten poikkeavuuksien tuomista vääristymistä vaan myös tuotannon rahallisen arvon erilaisuudesta. Toiseksi rahan vaihtokurssit maiden välillä voivat luoda vääristymää.

5.1.4 Paikkaan ja aikaan liittyvät ongelmat

Reap ym. (2008b, 378) nostavat esiin myös paikallisympäristön, ekosysteemiherkkyyden ja ajan tuottamat poikkeavuudet todellisiin ympäristövaikutuksiin. Monet ympäristön ajalliset ja vuoden kiertoan liittyvät tekijät vaikuttavat ympäristövaikutusten määrään. Yleistävät tarkastelut, kuten EIO-LCA, jättävät aikaulottuvuuden huomiotta ja näin tulokset saattavat vääristyä (Reap ym. 2008b, 378). Jokainen ympäristö, josta otetaan resursseja tai suoritetaan muuta toimintaa, reagoivat yksilöllisesti, jolloin saman toiminnan vaikutukset eri sijainneissa ovat erilaisia eivätkä mallit kykene ottamaan tätä huomioon (Reap ym. 2008b, 378).

Reapin ym. (2008b, 378) esittämä kritiikki koskee prosessi-LCA-malleja, joissa ajallinen ulottuvuus kyetään ottamaan paremmin huomioon tarkemman tutkimusmetodin vuoksi. EIO-LCA-mallit ovat karkeutensa vuoksi selkeästi haavoittuvampia samalle kritiikille ja sen luomille vääristymille, kun ympäristödynamiikkaa ei kyetä ottamaan sektorien sisällä lainkaan huomioon ja tutkimuksen kohteena ovat kokonaiset talouden sektorit.

Sijainnin ja ekosysteemiherkkyyden lisäksi aika on muuttuja, joka vaikuttaa ympäristövaikutuksiin ja jota yleisellä tasolla toimivat mallit eivät kykene ottamaan huomioon (esimerkiksi Koskinen 2001, 60). Monet ekosysteemien toimintaan liittyvät tekijät ovat aikasidonnaisia. Tämän lisäksi myös teknisissä järjestelmissä on aikaan liittyviä tekijöitä, joita mallit eivät kykene ottamaan huomioon ilman erillistä puuttumista laskennan perusteina käytettäviin kertoiimiin. Esimerkkinä tästä voidaan pitää sähköntuotantoa, jossa vuoden aikaiset päästöt muuttuvat huomattavasti vuodenajasta riippuen. Suomessa talviaikana käynnistettävät hiililauhdevoimalat sekä fossiilisia polttoaineita käyttävät yhteistuotantolaitokset muuttavat sähköntuotannon hiili-intensiteettiä merkittävästi.

5.1.5 Fysikaalisten yksiköiden ja rahallisen arvon yhdistämisestä johtuvat ongelmat

Fysikaalisten yksiköiden ja rahallisen arvon yhdistäminen on myös saanut osakseen kritiikkiä alan tutkimuksissa.

“The discrepancy between a measured or calculated quantity and the true value of that quantity”. (Finnveden ym. 2009, 14.)

“Some assume that monetary and physical flows are equivalently proportional amongst different industries, whereas the proportionality constants or multipliers vary between and within industries.” (Reap ym. 2008a, 294.)

Lenzen (2000, 138) nostaa tästä fyysisten yksiköiden ja rahallisten yksiköiden eroavaisuudesta esimerkkitapaukseksi kuluttajien ja teollisuuden mahdollisuuden ostaa erihintaista sähköä markkinoilta. Tällainen fyysisten yksiköiden ja rahallisen arvon irtaantuminen toisistaan johtaa poikkeavuuksiin laskennallisissa ympäristövaikutuksissa ja siten tulosten vääristymiin. Lenzen esittää, että ongelma voidaan korjata käyttämällä rahallisten yksiköiden sijaan fyysisiä yksiköitä, kuten kiloja tai kilowattitunteja. (Lenzen 2000, 138.)

5.2 Kysymyspatteristo

Tässä luvussa käydään läpi kysymyspatteriston kysymykset ja vastaukset niihin. Vastaukset perustuvat aiemmissa luvuissa läpikäytyyn sisältöön.

5.2.1 Odotetulla tavalla paineisiin vastaaminen

Paineisiin vastaamista yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten laskennassa voidaan arvioida tukeutumalla aikaisempaan tutkimukseen yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjä kohtaan osoittamista paineista, joita on käyty läpi luvussa 2.3. Mallien voidaan katsoa vastaavan paineisiin odotetulla tavalla, jos ne kykenevät reagoimaan luvussa 2.3. esitettyjen muuttujien kuten liikenteen tai rakennusten energiakulutuksen kasvuun tai vähenemiseen oikeansuuntaisesti. Esimerkiksi jos liikenteen määrä lisääntyy yhdyskuntarakenteenmuutoksista johtuen, tulisi tämä näkyä lisääntyneinä

liikenteen päästöinä tai jos rakennusten energiatehokkuus paranee, tulisi tämä näkyä vähentyneinä rakennusten lämmityspäästöinä.

EIO-hybridi-LCA reagoi muutoksiin käytetyn rahamäärän perusteella ja paineet muuttavat lopputuloksia suureksi osaksi oikeansuuntaisesti luvussa 3.2 esitettyjen laskentaperusteiden mukaan. Erityisesti aggregaatiovääristymä voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia tuloksien suhteen (katso luku 5.2.6).

5.2.2 Tavoitetason ja/tai referenssitason määrittäminen tieteellisistä lähtökohdista

Tieteellisenä tavoitetasona ilmastonmuutoksen ja siten myös yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten osalta voidaan pitää luvussa 2.1 esitettyjä arvioita ilmaston kyvystä sietää kasvihuonekaasupäästöjä ja tästä johdettuja maakohtaisia päästövähennystavoitteita. Tavoitteen mukaan Kioton sopimuksen Annex I maiden eli kehittyneiden teollisuusmaiden tulisi kyetä vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 25–40 prosenttia vuoteen 2020 mennessä ja 80–95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 tasosta (IPCC 2001, 776).

Maakohtaista tavoitetta on kuitenkin epäkäytännöllistä valita yksittäisen sektorin tavoitteeksi, joten näistä tieteellisistä lähtökohdista johdettu sektorikohtainen tavoite olisi toimivampi ratkaisu. Monilla suomalaisilla kunnilla on sektorikohtaisia tavoitteita, joskaan nämä eivät usein tukeudu tieteellisiin, vaan poliittisiin lähtökohtiin (esimerkiksi Turun kaupunki 2009 ja Ympäristöraportoinnin asiantuntijatyöryhmä 2012).

Mallia ei kytketä tavoitetasoon, mutta tällainen kytkös olisi halutessa mahdollista tehdä.

5.2.3 Pällekkäisyyden välttäminen

Valtiovarainministeriön mukaan päällekkäisyyden välttämiseksi pyritään helpottamaan indikaattorien käyttöä ja estämään indikaattoreiden määrää paisumasta. Pällekkäisyyden ongelma tulee valtiovarainministeriön mukaan

vaikutuksesta, jossa saman ilmiöalueen indikaattorit voivat antaa ristiriitaisia tietoja. Ristiriitaisten tietojen löytymistä valtiovarainministeriö pitää hyödyllisenä ja tärkeänä, mutta ministeriö painottaa, että ongelmat tulisi havaita riittävän varhain. (valtiovarainministeriö 2005, 38.)

Laskentamalli on samankaltainen monien muiden yhdyskuntarakenteen ilmastolaskentamallien kanssa. Tämän työn yhtenä lähtökohtana on pohtia näiden päällekkäisten mittareiden toisistaan eroavia tuloksia. valtiovarainministeriön tavoin tässä katsotaan, että ristiriitaisten tietojen löytyminen on hyödyllistä, eikä mitään yksittäistä laskentamallia tai indikaattoria voi pitää epäsojivana sillä perusteella, että asiaa tutkitaan jo muilla menetelmillä.

5.2.4 Relevanssi

Relevanssilla tarkoitetaan sitä, että indikaattori todella kuvaa tarkoitetun ilmiöalueen ydintä (valtiovarainministeriö 2005, 38).

Tämän tutkimuksen kontekstissa relevanssilla tarkoitetaan sitä, onko juuri maankäytöllä keskeinen vaikutus laskentamallin tutkimiin asioihin ja näistä aiheutuviin ilmastopäästöihin, ja onko juuri tutkittavilla asioilla yhdyskuntarakenteen kokonaisilmastovaikutusten kannalta merkitystä.

Tarkoitus ei ole arvioida laskentamallin relevanssia sinänsä, vaan suhteessa tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiin.

Yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten kannalta keskeiset tekijät on käyty läpi luvussa 2.3. EIO-hybridi-LCA huomio kaikki luvun 2.3 tekijät, joiden voidaan katsoa olevan relevantteja, kun tutkitaan yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuksia.

Tämän lisäksi EIO-hybridi-LCA ottaa laskuihin mukaan huomattavan määrään muita tekijöitä, kuten kulutushyödykkeet, ulkomaanmatkat, vapaa-ajan palvelut ja hyödykkeet sekä terveys- kasvatus- ja koulutuspalvelut (Heinonen 2012, 15).

Kutsun näitä sektoreita ”kulutussektoreiksi” luettavuuden helpottamiseksi, vaikka tämä termi ei täydellisesti kuvaa kaikkien sektorien luonnetta.

Luvussa 2.3 esiteltyjen perusteiden mukaan kulutussektoreita ei yleisesti pidetä yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöihin vaikuttavina sektoreina, eikä siten relevantteina tutkimuskohteina, kun tutkitaan yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuksia.

Myös Heinonen (2012, 15) katsoo väitöskirjassaan tämän kaltainen jaottelu, maankäyttöön läheisesti liittyviin [relevantteihin] ja ei niin läheisesti liittyviin [epärelevantteihin], on olemassa:

“As the figure depicts, 70% of the emissions in Finland on average come from sources very closely related to urban structure: 30% from Heat & electricity, 17% from Private driving, 12% from Building and property, 11% from Maintenance and operation (of buildings) and 1% from Public transportation.”

Kokonaisilmastovaikutuksista kulutussektorien päästöt vastaavat lähes 30 prosentista keskivertosuomalaisen päästöistä (Heinonen 2012, 15). Jos katsomme, että kaikki maankäytölle relevantit ilmastovaikutukset on kuvattu luvussa 2.3, on EIO-hybridi-LCA-mallin tuloksista hieman alle kolmannes epärelevanttia informaatiota yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arvioinnin kannalta.

5.2.5 Validiteetti

Validiteetilla tarkoitetaan sitä, että indikaattori mittaa juuri sitä asiaa, jota on tarkoitus mitata (valtiovarainministeriö 2005, 38).

”Validiteetti (pätevyys, engl. validity) ilmaisee sen, miten hyvin tutkimuksessa käytetty mittaus- tai tutkimusmenetelmä mittaa juuri sitä tutkittavan ilmiön ominaisuutta, mitä on tarkoituskin mitata; – mittaako tutkimus sitä, mitä sen avulla on tarkoitus selvittää.” (Hiltunen 2009, 3.)

Tämän tutkimuksen kontekstissa validiteetti voidaan ymmärtää kysymyksenä siitä, onko arvioitu validilla tavalla luvussa 2.3 esitettyjä erilaisia yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuksia ja niiden elinkaaren aikana syntyviä

ilmastopäästöjä sekä sitä, miten juuri maankäyttö vaikuttaa tutkittaviin ilmastopäästölähteisiin.

Tarkoitus ei ole arvioida mallin validiteettia sinänsä taikka sen omassa kehityksessään, vaan suhteessa tämän tutkimuksen tutkimuskysymyksiin.

Luvussa 2.3. esiteltyjen maankäyttöön liittyvien ilmastopäästöjen osalta EIO-hybridi-LCA-mallin laskentatapa on validi siten, että laskentatapa kykenee arvioimaan reliabiliteetin rajoissa maankäyttöön liittyviä kasvihuonekaasupäästöjä. Kun haluamme mitata yhdyskuntarakenteen päästöjä, joista yksi on liikenteen päästöt, mittaa EIO-hybridi-LCA polttoaineisiin käytetyn rahamäärän kautta polttoainekulutusta ja siten juuri näitä päästöjä.

Kulutussektorien ilmastovaikutusten osalta validiteetti on kyseenalainen. Jotta tutkimusasetelma olisi validi, tulisi yhdyskuntarakenteella ja maankäyttöratkaisuilla olla selkeä kausaalinen yhteys kulutussektorien päästöihin. Heinosen väitöskirjan tuloksissa korrelaatio yhdyskuntarakenteen ja kulutussektorien osalta on nähtävissä, mutta mahdollista kausaliteettia ei Heinosen mukaan tutkittu:

”However, the possible causality between the density and the emissions was not studied.” (Heinonen 2012, 16.)

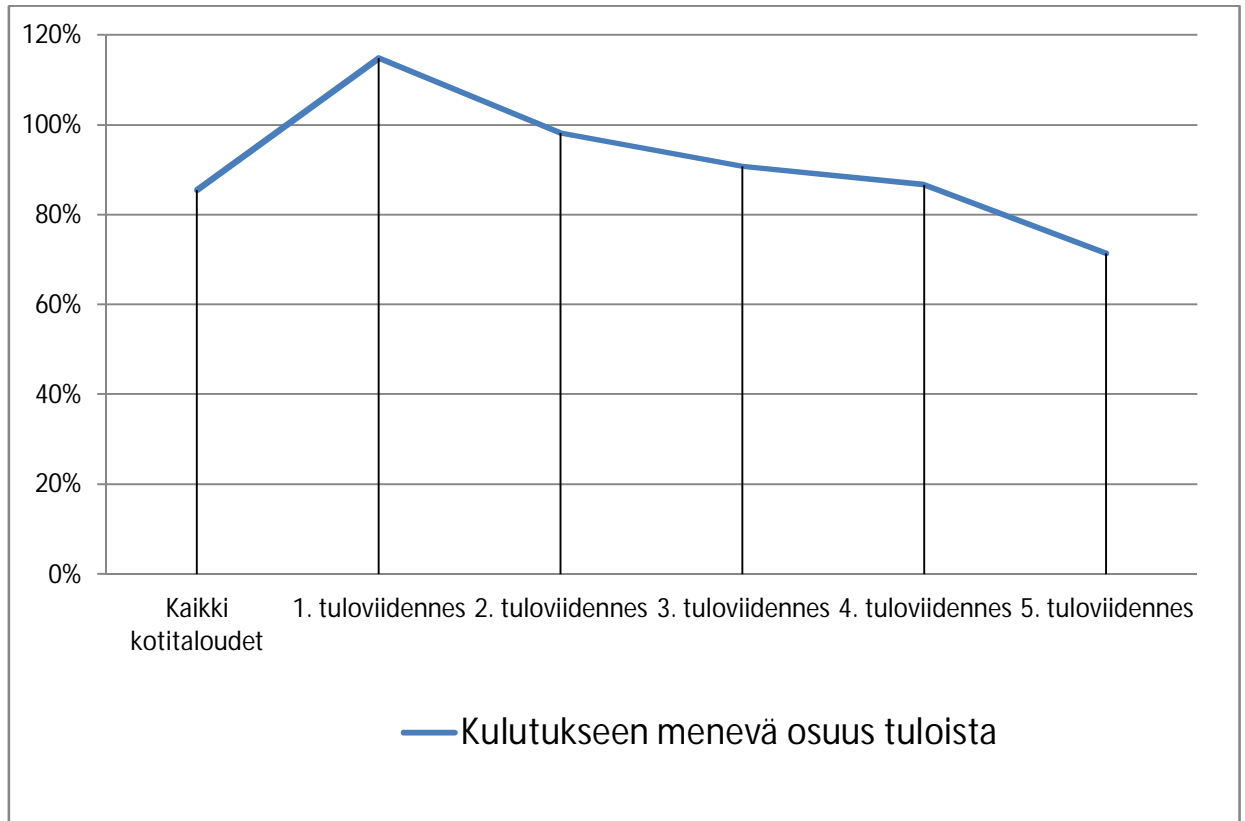
Kausaliteetin merkitys validiteetin takeena on tärkeä. Jos tutkittavien asioiden välillä ei ole kausaliteettia, on tutkimuksen validiteetti kyseenalainen. Yleisenä esimerkkinä (Kokkonen 2010, 21) tätä havainnollistetaan seuraavasti: jäätelömyynnin ja hukkumisonnettomuuksien välillä on löydettävissä korrelaatio, sillä kesäisin sekä syödään enemmän jäätelöä että ihmisiä hukkuu enemmän. Kausaliteettia näiden välillä ei kuitenkaan ole, sillä jäätelön syönti ei johda hukkumisiin taikka toisin päin. Näin ollen tutkimus, jossa pyritään etsimään syitä hukkumistapauksiin ja metodina käytetään jäätelömyynnin tutkimista, ei ole ilmeisen kausaliteetin puutteen vuoksi myöskään validi – tutkimuksessa ei mitata sitä mitä sen avulla on tarkoitus selvittää.

EIO-hybridi-LCA-mallin kulutussektoreille on kuitenkin esitettävissä hypoteeseja kausaalisuhteista, joiden myötä myös näiden sektorien tutkiminen olisi validia ja tätä kautta myös relevanttia. Tällaisia hypoteeseja ovat:

- I. varallisuuden ja tulojen suuruuden kytkös yhdyskuntarakenteeseen
- II. käytettävissä olevien tulojen kulutukseen menevän osuuden kytkös yhdyskuntarakenteeseen sekä
- III. kulutuksen laadullisten muutosten kytkökset yhdyskuntarakenteeseen.

Ensimmäisenä mahdollisena hypoteesina tutkitaan varallisuuden ja tulojen määrän kytköstä yhdyskuntarakenteeseen. Kulutussektorien sisällyttäminen tutkimukseen on validia, jos on osoitettavissa selkeä kausaliteetti varallisuuden ja kaupunkirakenteen välillä, sillä varakkaammilla on enemmän tuloja käytettävänä kulutukseen ja näin he kuluttavat enemmän.

Tulee kuitenkin huomioida, ettei kulutus kasva lineaarisesti. Tulotaso vaikuttaa kulutukseen menevään osuuteen tuloista (kuva 6). Suurempituloiset käyttävät pienemmän osan tuloistaan kulutukseen kuin pienituloiset. Varallisuuden lisääntyessä absoluuttinen kulutus kasvaa (Heinonen 2012, 18), mutta toisaalta myös säästämisaste lisääntyy (Dynan ym. 2004, 9), jolloin kulutukseen käytettävä osuus tuloista pienenee.



Kuva 6. Kotitalouksien kulutukseen menevä osuus käytettävissä olevista tuloista tuloviidenneksittäin vuonna 2006 (Tilastokeskus 2008a).

Varallisuuden ja yhdyskuntarakenteen suhteesta on useita näkemyksiä. Ilmeisestä korrelaatiosta huolimatta joissain julkaistuissa artikkeleissa kausaliitteitä ei pidetä selkeänä tai sen olemassaolo kielletään (Bloom ym. 2008, 2). Toisaalta monissa tutkimuksissa kausaliitteitä pidetään olemassa olevana ja ilmeisenä (Glaeser 2011, 592 ja Loikkanen 2013, 4-6).

Tutkimuskirjallisuudesta löytyy esimerkkejä molempiin suuntiin. Osa teoksista esittää, ettei kausaliitteitä ole ja toiset taas pitävät tätä ilmeisenä. Jos kallistumme kytköstä puoltavien tutkimusten puolelle, on kuitenkin havaittava, että kytkös on hyvin suurpiirteinen ja sitä tarkastellaan yleisellä tasolla (Loikkanen 2013, 4-6). On vaikea tai mahdotonta sanoa, miten yksittäinen alue tiiviisti tai hajanaisesti rakennettuna vaikuttaa tulevien asukkaiden tai koko alueen varallisuuden kehitykseen. Kytköksen ollessa yksittäisen alueen osalta kyseenalainen tai parhaassakin tapauksessa hyvin vaikeasti osoitettava, on

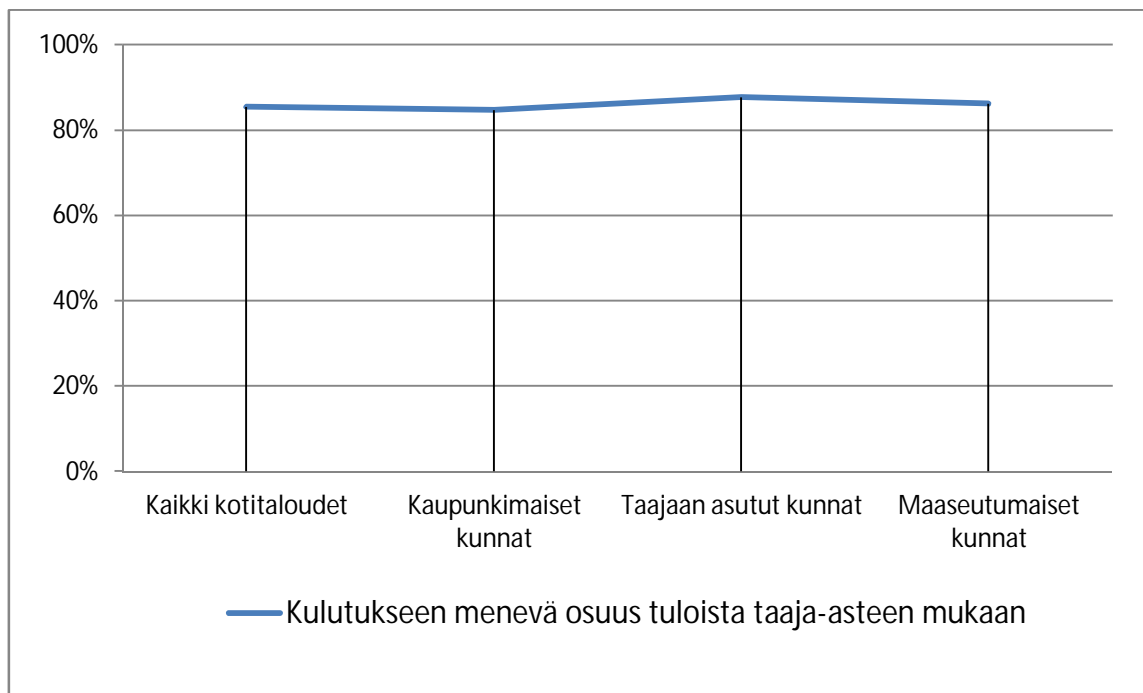
kulutussektoreiden mukaan otto yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen erittäin heikosti perusteltua.

Epämääräisyyden lisäksi tulee huomioida, että tulojen muuttuminen yhdyskuntarakenteen vaikutuksesta oikeuttaa laskemaan vain tämän muutoksen suuruuden verran kulutuksen päästöjä yhdyskuntarakenteesta johtuviksi, sillä muu osuus tuloista pysyy samana, eikä siten ole kytköksissä yhdyskuntarakenteeseen.

Toisena hypoteesina kulutussektorien sisällyttämiseksi yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin voidaan esittää käytettävissä olevien tulojen kulutukseen menevän osan kytköstä yhdyskuntarakenteeseen. Tämä argumentti esiintyy usein muodossa, jossa puhutaan kulutusmahdollisuuksien määrän vaihteluista. Argumentin mukaan yhdyskuntarakenteeseen liittyvät kulutusmahdollisuudet, kuten kauppojen ja palveluiden, läheisyys vaikuttaa kulutuksen määrään.

Kulutusmahdollisuudet luovat hypoteesin mukaan kulutusta. Tämä voi pitää paikkaansa vain, jos palveluiden lähellä asuvat kuluttajat käyttävät suuremman osan kokonaisvarallisuudestaan kulutukseen tai palveluiden lähellä asuvat kuluttajat saavat jostain syystä enemmän varallisuutta kulutukseen, koska asuvat palveluiden lähellä. Jälkimmäinen oletus palautuu yhdyskuntarakenteen ja varallisuuden kytkökseen, joka käsiteltiin edellä. Jäljelle jää käytettävissä olevien tulojen kulutukseen käytettävän osuuden tarkastelu.

Kuluttavatko ihmiset suuremman tai pienemmän osuuden tuloistaan riippuen asuinpaikkansa yhdyskuntarakenteesta? Asiaa voidaan tarkastella Heinosenkin tutkimuksen taustalla olevan Tilastokeskuksen kulutusdatan avulla (kuva 7).



Kuva 7. Kotitalouksien kulutukseen menevä osuus käytettävissä olevista tuloista taajama-asteen mukaan vuonna 2006 (Tilastokeskus 2008b).

Kuvasta 7 voimme havaita, että kaupunkimaisissa kunnissa, joissa on eniten kulutusmahdollisuuksia, kulutetaan hieman pienempi osa käytettävissä olevista tuloista kuin yhdyskuntarakenteeltaan hajanaisemmilla alueilla, joissa palveluja on usein vähemmän. Käytännössä taajama-asteesta ja yhdyskuntarakenteesta huolimatta kaikkialla kulutetaan lähes sama osuus tuloista. Näin ollen voidaan todeta, että palvelujen läheisyys tai yhdyskuntarakenne ei vaikuta kulutuksen määrään suhteessa tuloihin.

Kolmantena hypoteesina, jolla voidaan perustella kulutussektorien sisällyttämistä tutkimukseen, ovat yhdyskuntarakenteen mukaan muuttuvat laadulliset erot kulutuksessa.

Heinosen tutkimuksen tuloksista on havaittavissa laadullisia eroja, jotka muuttuvat varallisuuden ja/tai yhdyskuntarakenteen mukaan, mutta selkeää suhdetta ei ole mahdollista havaita. Liitteen 2 "Kulutussektorien suhteelliset osuudet kokonaishiilijalanjäljestä" taulukon 3 perusteella voidaan todeta, että eroavaisuuksia eri kaupunkien välillä on havaittavissa, mutta nämä ovat pieniä eivätkä muodosta selkeää mallia, jossa yhdyskuntarakenne vaikuttaisi olevan

määrävänä tekijänä. Taulukosta voidaan havaita, että nurmijärveläiset tekevät enemmän ulkomaanmatkoja kuin hyvinkääläiset, mutta nähdäkseni on ilmeistä, että tämä on seurausta nurmijärveläisten huomattavasti suuremmista tuloista, eikä lainkaan yhdyskuntarakenteesta. Kulutussektoreiden yhteenlaskettu osuus kokonaispäästöistä vaihtelee 22 prosentin ja 28 prosentin välillä. Selkeää yhteyttä ei kuitenkaan ole yhdyskuntarakenteen suhteen välillä.

Näin ollen voidaan todeta, ettei kulutussektoreiden ilmastovaikutusten ja yhdyskuntarakenteen välillä ole löydettävissä sellaista kausaliitteettisuuhdetta, joka tekisi näiden sektoreiden sisällyttämisestä yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin validia.

5.2.6 Reliabiliteetti

Reliabiliteetilla tarkoitetaan indikaattorin tulosten luotettavuutta eli sitä että tilastovirhe on pieni (valtiovarainministeriö 2005, 38).

Metakritiikkiosuudessa luvussa 5.1 tuotiin esiin seuraavat alan tutkimuskirjallisuudessa esitetyt ongelmat, jotka heikentävät EIO-hybridi-LCA-mallin reliabiliteettia: pohjadataan epävarmuudet, tuottajien ja tuotteiden välisten erojen katoaminen sektorien sisällä, ulkomaiseen tuotantoon liittyvät ongelmat, paikkaan ja aikaan liittyvät ongelmat sekä fysikaalisten yksiköiden ja rahallisen arvon yhdistämisestä johtuvat ongelmat.

Lenzen esittää tutkimuksessaan vuodelta 2001, että suuri osa prosessi-LCA-mallien sekä EIO-LCA-mallien reliabiliteettiongelmistä kyetään ratkaisemaan soveltamalla Heinosenkin tutkimuksessa käytettyä hybridi-mallia, jossa eri elinkaarianalyysit täydentävät toisiaan. Hän kuitenkin korostaa askel askeleelta etenevän reliabiliteetin parantamisen jokaisen ongelman kohdalta vaativan aikaa, työvoimaa sekä rahaa. (Lenzen 2001, 18.)

EIO-hybridi-LCA toimii hyvin sektorien osalta, joissa tuotteet ja tuottajat ovat samankaltaisia sekä tuotteet ja palvelut samanhintaisia eli sektoreilla, joissa aggregaatio on vähäistä. Esimerkiksi polttoaineenkulutuksen päästöjen

laskeminen ei kärsi tästä ongelmasta, sillä polttoaine hyvin samanlaista kaikkialla ja lähes samanhintaista.

Aggregaatiovääristymä saattaa kuitenkin olla erityisesti kulutussektorien osalta järjestelmällisesti tuloksia vääristävä ja näin heikentää tulosten reliabiliteettia. Luvussa 5.1.2 esitettiin kolme tilannetta, jossa aggregaatiovääristymä on mahdollinen:

1. samanhintaiset tuotteet, joilla on toisistaan poikkeavat ilmastovaikutukset,
2. tuotteet, joilla on samat ilmastovaikutukset, mutta toisistaan poikkeavat hinnat ja
3. tuotteet, joista yksi kuluttaja on valmis maksamaan enemmän kuin toinen (johtaa käytännössä samaan kuin 2.).

Samanhintaisia tuotteita, joilla on hyvin erilaiset ilmastovaikutukset, ovat esimerkiksi kotimaiset tomaatit ja lentäen tuodut tomaatit taikka ravintolassa ostettu naudanlihapihvi ja kallis kasvisateria. Vaikka suuriakin vaihteluja samassa kategoriassa olevien samanhintaisien tuotteiden ilmastovaikutuksissa on varmasti löydettävissä, on todennäköistä, että nämä aggregaatiovääristymät tasoittuvat kyseessä olevan kokoisessa otannassa.

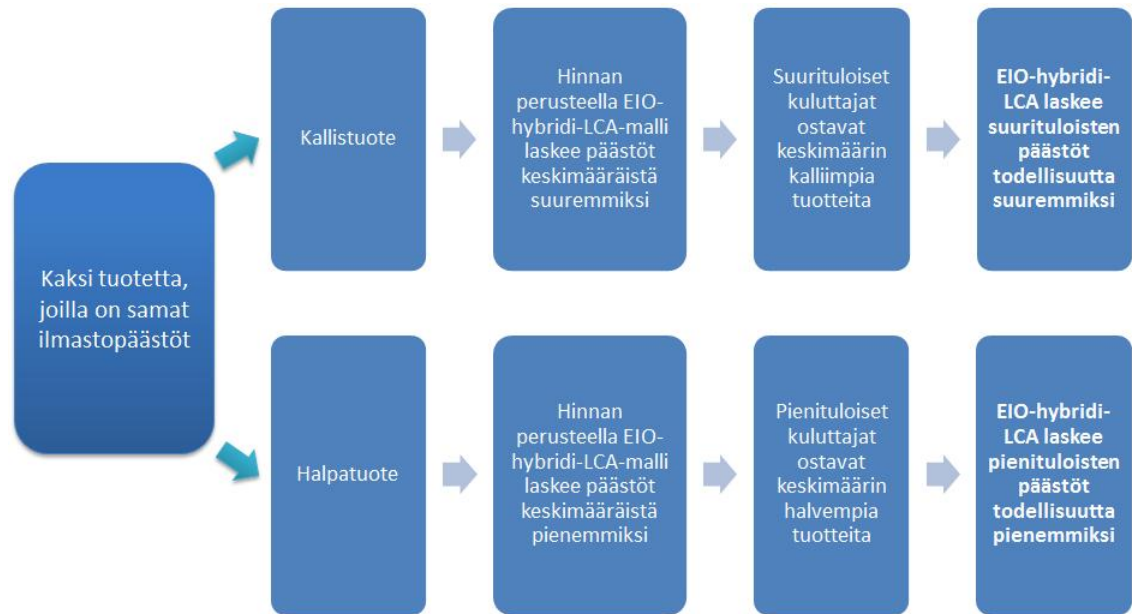
Tuotteita, joiden ilmastovaikutukset ovat lähellä toisiaan, mutta hinta vaihtelee tuotteesta ja tuottajasta riippuen huomattavasti, löytyy hyvin monista kulutussektorin tuotekategorioista. Monet kulutussektorien hyödykkeet kärsivätkin Berkeleyn yliopiston professori Arpad Horvathin esittämästä hintaongelmasta. Lähes samat ilmastopäästöt aiheuttavilla tuotteilla voi olla moninkertaisia hintaeroja.

Tällainen aggregaatiovääristymä olisi merkitykseltään vähäinen, jos se jakautuisi kuluttajien välillä tasaisesti, kuten edellä läpikäyty samanhintaisien, mutta ilmastovaikutuksiltaan poikkeavien tuotteiden kohdalla. Nähdäkseni on osoitettavissa, että erilaisista hinnoista johtuvalla aggregaatiovääristymällä on kytkös tulotasoon ja siten se todennäköisesti vääristää laskettuja ilmastovaikutuksia kulutussektorien osalta.

Suurituloiset ostavat keskimäärin kalliimpia vaatteita, elektroniikkatuotteita, ruokaa, palveluita ja niin edelleen. Vastaavasti pienituloiset taas ostavat keskimäärin halvempia tuotteita samoista kategorioista. Erittäin suuri osa kulutussektorien kategorioista on tällaisia tuotteita, tuoteryhmiä tai palveluita, joissa tulotason voidaan olettaa vaikuttavan kulutettavan tuotteen tai palvelun hintaan. (Girod & De Haan 2010, 36.)

Ulkomaanmatka saattaa olla hyvin erihintainen riippuen siitä tekeekö sen halpalentoyhtiöllä ja halvalla majoituksella vai lentäen ykkösluokassa ja majoittumalla kalliissa hotellissa. Kahvikupin hinta kantakaupungin kahvilassa verrattuna huoltoaseman vastaavaan on monesti moninkertainen. Samoin t-paitojen hinnat supermarketin alennushyllyssä ja brändiliikkeen näyteikkunassa poikkeavat toisistaan merkittävästi. EIO-hybridi-LCA kuitenkin laskee päästöt suoraan hintaan sidottuna, joten hintavaihtelua ei oteta huomioon, vaan tämä näyttäytyy tuloksissa moninkertaisina ilmastopäästöinä, vaikka kyseessä on palveluja ja tuotteita, joiden todelliset päästöt ovat lähes samansuuruisia.

EIO-hybridi-LCA laskee keskiarvoa suurihintaisemmille tuotteille todellisuutta suurempia päästömääriä ja keskiarvoa halvemmille tuotteille todellisuutta pienempiä päästömääriä (kuva 8).



Kuva 8. Tulotasoon kytkeytynyt aggregaatiivääristymä. Prosessikaavio (Girod & De Haan 2010, 36 perusteella).

Tämä vääristää tutkimustuloksia siten (kuva 8), että EIO-hybridi-LCA laskee suurituloisten päästöt todellisuutta suurempina ja pienituloisten päästöt todellisuutta pienempinä kulutussektorien osalta. Tämä tulotasoon kytkeytyvä aggregaatiivääristymä asettaa EIO-hybridi-LCA-mallin tutkimustulokset kulutussektorien osalta kyseenalaisiksi. Samanlaiseen lopputulokseen ovat päätyneet myös Girod ja De Haan (2010, 43) tutkimuksessaan:

“Therefore, using a household model based on expenditure only tends to overestimate the increase in GHG emissions with increasing affluence, because the model neglects a shift toward higher quality level.”

Aggregaatiivääristymästä johtuva ongelma saattaa löytyä myös EIO-hybridi-LCA-mallin yksityisautoilu-sektorista. Heinosen (2012, 18) tulosten mukaan hyvinkääläisten keskimääräiset hiilidioksidipäästöt yksityisautoilusta ovat 1,19 tonnia vuodessa ja helsinkiläisten 1,42 tonnia vuodessa. Kuitenkin Helsingissä yksityisautoilun kulkumuoto-osuus on alle kolmannes kaikesta liikenteestä, kun se Hyvinkäällä on yli puolet (Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2009, 5). Tämän lisäksi pääkaupunkiseudun, johon Helsinki lukeutuu, päivittäinen matkasuorite on 25 kilometriä per henkilö ja henkilöautoja on alle 400 kappaletta tuhatta ihmistä kohden. Muun Helsingin seudun asukkaiden osalta, joihin Hyvinkää lukeutuu, matkasuorite on 40 kilometriä vuorokaudessa per

henkilö ja henkilöautoja omistetaan yli 500 tuhatta asukasta kohden (Helsingin seudun liikenne 2008, 9 ja 34).

Näiden lukujen perusteella hyvinkääläiset keskimäärin tekevät matkansa useammin henkilöautolla, matkat ovat huomattavasti pidempiä kuin helsinkiläisten ja auto on ostettu useampaan talouteen. Hyvinkääläiset tuottavat näiden lukujen perusteella enemmän ilmastopäästöjä sekä polttoainekulutuksen että autonhankinnan kategorioissa. Heinosen tulokset (2012, 18) ovat kuitenkin toisen suuntaiset, joten on mahdollista, että myös henkilöautoliikenne-sektori kärsii yllä käsitellystä tulotasoon kytkeytyvästä aggregaatiovääristymästä. On myös mahdollista, että kyseessä on kuluttajatutkimusdatan vääristymä otannan pienuudesta johtuen.

Myös subjektiivinen arvottaminen eli yhden kuluttajan halukkuus maksaa samankaltaisesta tai ympäristöystävällisemmästä tuotteesta normaalia enemmän, saattaa aiheuttaa vääristymää siltä osin, kun kuluttajat ovat omasta halustaan päättäneet ostaa esimerkiksi tuulisähköä. Tällöin sähkөөn kulutettu rahamäärä on hieman suurempi, mutta ympäristövaikutukset pienemmät kuin pohjoismaisen sähköverkon keskiarvosähköllä. Tällaisen virheen vaikuttavuutta ei ole tämän tutkimuksen sisällä mahdollista laskea, mutta todennäköisesti vaikutus on hyvin pieni, sillä tuulisähkön tilaajia pitäisi olla huomattavan paljon ja heidän tulisi olla alueellisesti keskittyneitä, jotta tämä tekijä muuttaisi tutkimuksen tuloksia.

5.2.7 Vertailtavuus muihin mittareihin

Vertailtavuutta muihin mittareihin ja indikaattoreihin pidetään valtiovarainministeriön (2005, 39) mukaan itsestäänselvytenä. Vertailtavuudella pyritään saavuttamaan lisätietoa suhteessa muiden indikaattoreiden tuloksiin.

EIO-hybridi-LCA-mallin lähtötiedot ovat valittu vertailtavuuden kannalta hyvistä lähteistä. Lähteet ovat avoimesti kaikkien käytössä ja niitä käytetään monien muidenkin mittarien ja indikaattoreiden pohjatietoina. Myös tulosten esitystapa

hiilidioksidiekvivalentteina per asukas on yleisesti käytössä oleva ja siten vertailtavissa moniin muihin alan laskentamalleihin ja indikaattoreihin.

5.2.8 Helppokäyttöisyys

Käytön helppoudella tarkoitetaan tässä laskentamallin käytön helppoutta osana kaavoitusprosessia.

EIO-hybridi-LCA-mallin käyttö vaatii vahvaa osaamista ja ymmärrystä laskentamallin perusteista ja ongelmista, jotta tuloksien voidaan katsoa olevan perusteltuja. Laskentamallin käyttö vaatii kattavaa koulutusta alasta eikä voida olettaa, että kaavoitusprosessin nykyisillä tekijöillä, olisi pätevyyttä EIO-hybridi-LCA-laskentaan.

Toisaalta myös esimerkiksi luontoarviointeihin, joita tehdään suureen osaan kaavoitusprosesseista, on käytössä joko kunnan organisaation omia koulutettuja biologeja tai asiantuntijatyö ostetaan organisaation ulkopuolelta. Näin ollen myös ilmastovaikutustenarviointiin voidaan ajatella hankittavan asiantuntemusta omaan organisaatioon tai ostettavan tämä asiantuntemus ulkopuoliselta toimijalta.

5.2.9 Mahdollisuus tavoitteen asettamiseen

Valtiovarainministeriön (2005, 39) mukaan politiikan ohjauksessa käytettävien indikaattorien tulee olla selkeässä yhteydessä politiikan tavoitteisiin ja politiikan välineisiin.

Laskentamalli ei sellaisenaan sisällä tavoitteen asettamista, mutta tavoitteen asettaminen on täysin mahdollista. Laskentatapa mahdollistaa eri sektoreille asetettavia tavoitteita ja sekä kokonaistavoitteen asettamisen.

5.2.10 Käytettävyys suunnittelun ja päätöksenteon ohjaamiseen

Suunnittelulla ja päätöksenteon ohjaamisella tarkoitetaan tässä kaavaprosessin etenemistä ja ohjaamista. Ilmastovaikutuksia tutkittaessa on indikaattorin kyettävä esittämään päteviä arvioita eri vaihtoehtojen todennäköisistä

ilmastovaikutuksista, jotta suunnittelua voidaan ohjata ilmastoystävällisempään suuntaan sekä päätöksenteossa ottaa huomioon eri vaihtoehtojen ilmastovaikutukset.

Laskentamalli soveltuu parhaiten olemassa olevien alueiden ilmastovaikutusten arviointiin, sillä laskenta perustuu kyselytutkimuksella kerättyyn aineistoon. Tulevista alueista ei tällaista aineistoa ole ja siten uusien alueiden ilmastovaikutusten arviointi EIO-hybridi-LCA-mallin avulla on hyvin vaikeaa tai mahdotonta.

5.2.11 Mahdollisuus tavoitteiden toteutumisen seurantaan

Valtiovarainministeriön (2005, 39) mukaan Indikaattorien avulla seurataan tapahtunutta kehitystä, hahmotetaan nykytilannetta ja tunnuslukujen sekä malleihin perustuvien ennusteiden avulla hahmotellaan mahdollisia tulevaisuuksia.

Koska laskentamalli perustuu kyselytutkimuksella kerättyyn aineistoon ja siten soveltuu parhaiten olemassa olevien alueiden ilmastovaikutusten arviointiin, onnistuu tapahtuneen kehityksen arviointi hyvin ja nykytilanteen hahmotus kohtuullisesti. Ongelmana on kuluttajatutkimusten toteutuksen pitkä aikaväli, joka sanelee frekvenssin menneen kehityksen arvioinnille.

Tulevaisuuden hahmottaminen on vaikeaa tai mahdotonta, sillä vielä rakentamattomista alueista ei kuluttajatutkimusaineistoa ole olemassa.

5.2.12 (Ekologiseen) muutokseen kannustavuus

Ekologisella kehityksellä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa ilmastopäästöjen vähenemistä suhteellisesti ja absoluuttisesti. Muutokseen kannustaminen toimii tavoitteita asettamalla tai nykytilaa kritisoimalla ja paremman vaihtoehdon tarjoamisella.

Laskentamalli ei itsessään aseta tavoitteita, mutta sellaiset on mahdollista kytkeä laskentatapaan ja näin myös kannustaa tavoitteiden kautta ekologiseen

muutokseen. Laskentamalli antaa nykytilasta kuvan sektoreittain ja siten mahdollistaa muutoksen suunnittelun tarkasti eri sektoreilla.

5.2.13 Uuden tiedon tuottaminen julkiseen keskusteluun

Julkisuudella ja uudella tiedolla tarkoitetaan tässä tietoa tulevan yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutuksista sekä sen avointa tarjontaa julkisen keskustelun pohjaksi.

EIO-hybridi-LCA-mallin tuottaman tiedon perusteella on käyty laajamittaista keskustelua mediassa ja politiikassa. Mallilla on kuitenkin vaikeaa tai mahdotonta tuottaa uutta tietoa tulevien maankäyttöpäätösten vaikutuksista.

6 Tutkimustulokset ja johtopäätökset

6.1 Laskentamallin saama kritiikki

Luvussa 5.1 esiteltiin tutkimuskirjallisuudesta löydetty kritiikki liittyen talouden panos-tuotos -perusteiseen elinkaarianalyysihybridiin. Kritiikki jaettiin alaryhmiin: pohjatietojen epävarmuudet, tuottajien ja tuotteiden välisten erojen katoaminen sektorien sisällä, ulkomaiseen tuotantoon liittyvät ongelmat, paikkaan ja aikaan liittyvät ongelmat sekä fysikaalisten yksiköiden ja rahallisen arvon yhdistämisestä johtuvat ongelmat.

Lenzenin (2000, 136) mukaan pohjatietojen epävarmuuksille on laskettavissa virhemarginaalit, jotka vähentävät virheellisten tulosten mahdollisuuksia huomattavasti. Tämän perusteella pohjatietojen epävarmuus ei aseta laskentamallin tuloksia kyseenalaisiksi.

Tuotteiden ja tuottajien välisten erojen katoaminen oli yleisin löydetty kritiikki laskentamallia kohtaan. Yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten merkittävimmillä sektoreilla, kuten rakennusten lämmön- ja sähkönkäytössä sekä liikenteessä, tällä kritiikillä on pienehkö merkitys kahdesta syystä. Ensinnäkin osissa näistä sektoreista on laskentamallissa käytetty hybridimallia, jossa talouden panos-tuotos -perusteista mallia on täydennetty prosessimallilla. Toiseksi ilmastovaikutukset näillä sektoreilla johtuvat lähinnä polttoaineiden ja sähkön kulutuksesta. Näiden hyödykkeiden tuottajien ja tuotteiden väliset erot ovat hyvin pieniä tai olemattomia, jolloin virhettä ei juuri synny.

Kulutussektoreilla tulotasoon kytkeytyvä aggregaatiovääristymä vaikuttaa tutkimustuloksiin siten, että suurituloisten päästöt esitetään todellisuutta suurempina ja pienituloisten päästöt todellisuutta pienempinä. Tämä tulotasoon kytkeytyvä aggregaatiovääristymä asettaa EIO-hybridi-LCA-mallin tutkimustulosten reliabiliteetin kulutussektorien osalta kyseenalaiseksi.

Ulkomaiseen tuotantoon liittyvät ongelmat ovat selkeitä. Vaikka vääristymää olisi Reapin ym. (2008, 294) arvioimalla kertoimella kolme jompaankumpaan

suuntaan, on EIO-hybridi-LCA-mallin etu se, että näitä vaikutuksia pyritään arvioimaan ylipäättänsä. Monissa laskentamalleissa ympäristövaikutuksia tuotantoketjun aiemmista vaiheista ei lasketa lainkaan. Näin ollen, vaikka laskentamalli kärsisikin vääristymästä ulkomaisen tuotannon osalta, on tulos kokonaisvaikutuksiltaan lähempänä todellisia ympäristövaikutuksia kuin mallit, jotka jättävät nämä vaikutukset täysin pois laskuista.

Paikkaan ja aikaan liittyvät ongelmat koskevat käytännössä lähes kaikkia laajoja kokonaisuuksia tutkivia laskentamalleja (Koskinen 2001, 60). Tutkittaessa laajoja kokonaisuuksia, kuten liikenteen ilmastopäästöjä, on erittäin vaikeaa - ellei mahdotonta - ottaa huomioon kaikkien ympäristövaikutuksia aiheuttavien toimien paikkaan ja aikaan liittyviä tekijöitä. Systeemitason tarkastelussa monet näistä ongelmista myös tasoittuvat, koska käytettävä ympäristövaikutusten kerroin sisältää sekä alueita, joissa vaikutukset ovat keskiarvoa pienempiä, että sellaisia joissa vaikutukset ovat keskiarvoa suurempia. Kritiikki onkin tärkeämpää ottaa huomioon tutkittaessa tiettyä yksittäistä tuotantoketjua. Sähköntuotannon hiili-intensiteetin ajalliset vaihtelut muuttavat ympäristövaikutuksia ajallisesti niin merkittävästi, että nämä saattavat vaikuttaa tutkimustuloksiin.

Fysikaalisten yksiköiden ja rahallisen arvon yhdistämiseen liittyviä ongelmia on Heinosen EIO-hybridi-LCA-mallissa korjattu tarkennetuilla pohjatiedoilla.

6.2 Laskentamallin puutteet yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten mittaamisen näkökulmasta

Yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten mittaamisen näkökulmasta puutteita voidaan tämän tutkimuksen perusteella katsoa olevan kolme. Päälimmäisenä puutteena on relevanssiin liittyvä problematiikka, joka johtuu yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten ulkopuolisten kulutussektorien sisällyttämisestä laskentaan. Toiseksi puutteeksi voidaan katsoa kulutussektorien validiteetin puutteet ja kolmanneksi näiden sektorien aggregaatiövääristymästä johtuvat reliabiliteetti-ongelmat. Muiden sektoreiden

osalta ongelmat ja puutteet ovat kirjallisuuskatsauksen perusteella vähäisiä ja/tai korjattavissa.

Selkein ongelma, joka tutkimuksessa ilmeni yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten mittaamisen näkökulmasta, on EIO-hybridi-LCA-mallin tarkastelun laajuus. Laskentamallissa on mukana vahvasti yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöihin liittyvien sektorien, kuten liikenteen ja rakennusten energiankäytön, lisäksi monia sektoreita, joita ei pidetä yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöihin liittyvinä. Nämä sektorit vastaavat noin kolmanneksesta Heinosen tutkimustulosten kokonaispäästöistä ja siten asettavat tulokset kyseenalaisiksi.

Toisena puutteena yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arvioinnin osalta tuli ilmi validiteetin ongelmat kulutussektorien osalta. Jos esimerkiksi kulutushyödykkeiden kuluttamisen tai ulkomaanmatkoilla käymisen ja yhdyskuntarakenteen välillä ei ole kausaliiteettiyhteyttä, ei tällainen tutkimus voi olla myöskään validi.

Kulutussektoreiden ilmastovaikutusten ja yhdyskuntarakenteen väliltä ei löydetty sellaista kausaliiteettisuhdetta, joka tekisi näiden sektoreiden sisällyttämisestä yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin validia. Myöskään tämän perusteella ei kulutussektorin sisällyttämistä yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arviointiin voida pitää perusteltuna.

Relevanssi- ja validiteettiongelmien lisäksi kulutussektorien päästöjen laskenta kärsii tulotasoon kytkeytyvästä aggregaatiovääristymästä. Tämä vääristää tuloksia siten, että EIO-hybridi-LCA liioittelee suurituloisten päästöjä ja vähättelee pienituloisten päästöjä. Tämä heikentää huomattavasti tulosten reliabiliteettia.

Yhteenvedon voidaan todeta, että ulkomaanmatkajoen, vapaa-ajan palveluiden ja hyödykkeiden, kulutushyödykkeiden sekä terveys-, hyvinvointi- ja koulutuspalveluiden sektorit kärsivät lukuisista ongelmista relevanssin, validiteetin ja reliabiliteetin suhteen. Nämä tekijät puoltavat niiden poisjättämistä yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten arvioinnissa. Tämän lisäksi on

mahdollista, että muistakin sektoreista on löydettävissä tulotasoon kytkeytyvästä aggregaatiovääristymästä johtuvia reliabiliteettiongelmia ja tulosten vääristymiä.

6.3 Laskentamalli soveltuvuus päätöksenteon apuvälineeksi

Päätöksenteon apuvälineeksi soveltuvuuden kannalta nousi esiin kaksi puutetta: ensinnäkin, laskentamallin ominaisuus mitata maankäyttöön liittymättömiä sektoreiden ilmastopäästöjä ja toiseksi kyvyttömyys arvioida uusien alueiden päästöjä.

Ensimmäistä ongelmaa on käsitelty luvuissa 5.2.1 sekä 6.2.

Kyvyttömyys arvioida uusien alueiden ilmastopäästöjä on sisäänrakennettu ominaisuus EIO-hybridi-LCA-mallissa, koska laskentamallin vaatii pohjadatakseen laajan kyselytutkimuksen. Ongelma voidaan ajatella ratkaistavan arvioimalla tulevien asukkaiden tulot sekä kulutuksen jakautuminen. Tällaisen arvioinnin tekemisen mahdollisuuksia ei kyetä tässä tutkimuksessa arvioimaan.

Tulevien asukkaiden kulutuksen arvioinnin lisäksi voidaan ajatella, että EIO-hybridi-LCA-mallin tuloksia olemassa olevista alueista voidaan käyttää arvioitaessa tulevien alueiden päästöjä. Tällaisella arvioinnilla voidaan katsoa olevan hyötyä yleisellä tasolla tehtäessä päätöksiä maankäytöstä. Tällaisessa käytössä tulee ottaa huomioon muu tutkimuksessa esitetty kritiikki.

6.4 Laskentamallin aiemmista tutkimuksista poikkeavat tulokset

EIO-hybridi-LCA-mallin tulokset poikkeavat huomattavasti muiden Suomessa käytettyjen yhdyskuntarakenteen ilmastopäästölaskentamallien tuloksista. Poikkeavuudet johtuvat kahdesta tekijästä: EIO-hybridi-LCA-mallin laajemmasta tutkimusasetelmasta, jossa myös tiiviisti yhdyskuntarakenteeseen kuuluvien sektorien ulkopuolisia sektoreita on otettu mukaan tutkimukseen sekä elinkaarianalyysin luonteesta, jolloin elinkaaren aiempien vaiheiden päästöt on kyetty ottamaan laskuihin mukaan.

Selkein poikkeus aiempiin suomalaisiin tutkimuksiin verrattuna johtuu kulutussektorien mukaanotosta. Nämä sektorit vastaavat lähes kolmanneksesta EIO-hybridi-LCA-mallin tulosten kokonaispäästöistä. Kun muissa tutkimuksissa ei näitä sektoreita tutkita lainkaan, on ilmeistä, että tulokset poikkeavat suuresti ja ovat tältä osin vertailukelvottomia. Jättämällä nämä sektorit pois laskuista voidaan EIO-hybridi-LCA-mallin ja aiempien tutkimusten tuloksia vertailla.

Yhdyskuntarakenteeseen liittymättömien sektoreiden poistamisen jälkeenkin EIO-hybridi-LCA-mallin tulokset ovat poikkeavia aiemmista tutkimuksista. Ero johtuu todennäköisesti EIO-hybridi-LCA-mallin kyvystä ottaa kulutuksen elinkaaren aiemmat vaiheet paremmin huomioon. Tämä kasvattaa kaikkien sektorien kulutuksen hiilijalanjälkeä, joka todennäköisesti johtaa EIO-hybridi-LCA-mallin tulosten suuruuteen. Tätä ei kuitenkaan kyetty tämän tutkimuksen sisällä tarkastamaan, sillä se olisi vaatinut kaikkien aiemmin käytettyjen mallien laskentaperusteiden läpikäyntiä, johon ei ollut mahdollisuutta.

6.5 Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, miten hyvin EIO-hybridi-LCA-malli soveltuu yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arviointiin sekä päätöksenteon ohjaamiseen. Tehdyn aineistokatsaukseen perustuvan metakritiikin sekä kysymyspatteriston perusteella EIO-hybridi-LCA-mallissa on vakavia puutteita sekä yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arvioinnin että päätöksenteon ohjaamiseen soveltuvuuden osalta. Toisaalta elinkaarimenetelmän käyttö tuo aiempaa laajemman kuvan päästöistä.

Merkittävimmäksi ongelmaksi osoittautui EIO-hybridi-LCA-mallin laajuus. Laskentamallissa tarkastellaan suurta joukkoa sektoreita, joiden relevanssi, validiteetti sekä tutkimustavan reliabiliteetti yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten kannalta on tämän tutkimuksen perusteella kyseenalaista.

Yhdyskuntarakenteen ilmastovaikutusten tutkimuksessa kulutushyödykkeiden, vapaa-ajan palveluiden ja hyödykkeiden, ulkomaanmatkojen sekä terveys-,

hyvinvointi- ja koulutuspalveluiden tutkimusta ei pidetä relevantteina tutkimuskohteina.

Näiden kulutussektoreiden ilmastovaikutusten kausaliiteetti suhteessa yhdyskuntarakenteeseen on hyvin laeva ja epämääräinen, jolloin yksittäistapauksissa näistä koituvien ilmastovaikutusten arviointi on vaikeaa tai mahdotonta. Näin ollen kulutussektoreiden tutkimisen validiteetti on heikko.

Relevanssi- ja validiteettiongelmien lisäksi kulutussektorit kärsivät kulutuksen mittauksessa esiintyvistä tulotasoon kytkeytyvästä aggregaatiovääristymästä, joka heikentää huomattavasti tulosten reliabiliteettia.

Näiden syiden perusteella edellä mainittujen kulutussektorien tutkiminen osana yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arviointia on hylättävä liian epämääräisenä ja epäluotettavana. Nämä sektorit vastaavat lähes kolmanneksesta EIO-hybridi-LCA-mallin tutkimustulosten kokonaispäästöistä.

Tämän lisäksi on mahdollista, että muistakin sektoreista on löydettävissä tulotasoon kytkeytyvästä aggregaatiovääristymästä johtuvia reliabiliteettiongelmia ja tulosten vääristymiä. Erityisesti näiden osalta jatkotutkimus on tarpeellista. Jatkotutkimukseksi suositellaan Girodin ja De Haanin (2010) tutkimuksen kaltaista tarkastelua, jossa pyrittäisiin selvittämään tulotasoon kytkeytyvän aggregaatiovääristymän suuruutta tuotekategoriakohtaisesti. Vääristymän suuruuden tarkastelulla olisi mahdollista kehittää korjauskertoimia tuotekategoriakohtaisesti ja näin parantaa reliabiliteettia huomattavasti.

Toinen merkittävä ongelma aiheutuu laskentamallin pohjatietoina käytettävästä kuluttajatutkimusdatasta, jota ei ole mahdollista saada uusista alueista, eikä näin tulevan rakentamisen ilmastovaikutuksia ole mahdollista arvioida ratkaisematta tätä ongelmaa.

Näiden kahden merkittävimmän ongelmien lisäksi aineistokatsaukseen perustuvassa metakritiikissä tuli ilmi useita muita ongelmia, mutta monet näistä

on jo otettu huomioon EIO-hybridi-LCA-mallissa tai on korjattavissa laskentamallin sisällä.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että EIO-hybridi-LCA toimisi yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjen arvioinnissa, jos se rajattaisiin arvioimaan vain yhdyskuntarakenteeseen vahvasti liittyvien sektoreiden päästöjä ja näiden sektoreiden mahdolliset aggregaatiovääristymät kyettäisiin selvittämään ja poistamaan. Tällaisessa yhdyskuntarakenteen suoriin vaikutuksiin rajatussa tarkastelussa EIO-hybridi-LCA-malli kykenisi arvioimaan yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöjä mahdollisesti aiemmin käytössä olleita malleja paremmin monipuolisen elinkaarianalyysinäkökulman ansiosta. Tulevan maankäytön ilmastovaikutusten arviointiin malli ei kuitenkaan sovellu ilman merkittäviä muutoksia pohjatietojen hankintaan. Yhdyskuntarakenteen päästöihin rajattu elinkaarianalyysinäkökulma voi kuitenkin tuoda uutta tietämystä ja syvyyttä keskusteluun ja päätöksentekoon yhdyskuntarakenteen ilmastopäästöistä.

Lähteet

- ANEC. 2012. the European Association for the Co-ordination of Consumer Representation in Standardisation. Anec position. Environmental assessment goes astray - A critique of environmental footprint methodology and its ingredients. Brussels: ANEC
- Bloom D.; Canning D. & Fink G. 2008. Urbanization and the wealth of nations. *Science* 8 February 2008: Vol. 319 no. 5864 pp. 772-775
- Burgess R. 2000. Compact City debate: A global perspective. *Compact cities: Sustainable urban forms for developing countries*, 9-24. Lontoo: Spon Press
- Carnegie Mellon 2013a. A Primer on Life Cycle Assessment. Carnegie Mellon University. Viitattu 24.4.2013. http://www.eiolca.net/Method/LCA_Primer.html
- Carnegie Mellon 2013b. Theory and Method behind EIO-LCA. Carnegie Mellon University. Viitattu 6.6.2013. <http://www.eiolca.net/Method/eio-lca-method.html>
- Carnegie Mellon 2013c. Theory and Method behind EIO-LCA numerical example. Kalvosarja. Viitattu 24.4.2013 <http://www.eiolca.net/Method/eiolca%20example.ppt>
- Carnegie Mellon 2013d. Limitations of the EIO-LCA Method and Models. Carnegie Mellon University. Viitattu 6.6.2013. <http://www.eiolca.net/Method/Limitations.html>
- Cordon P.; Cavens D. & Miller N. 2009. Urban planning tools for climate change mitigation. Cambridge: Lincoln institute of land policy.
- DESA/DSD. Division for Sustainable Development. Department of Economic and Social Affairs. United nations 2001. Indicators of sustainable development: framework and methodologies background paper no. 3. Viitattu 4.6.2013 http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd9_indi_bp3.pdf
- Dynan K.; Skinner J. & Zeldes S. 2000. Do the rich save more? National Bureau of Economic Research. No. w7906.
- EU Climate Change Expert Group 'EG Science' 2008. The 2°C target. Background on Impacts, Emission Pathways, Mitigation Options and Costs. Information Reference Document. Final Version, Version 9.1.
- Finnveden G.; Hauschild M.; Ekvall T.; Guinée J.; Heijungs R.; Hellwege S.; Koehler A.; Pennington D. & Suh S. 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*. 91(1), 2009 1-21.
- Flemming-Lehtinen V. 2006. Biodiversiteetti-indikaattorien kehittäminen MARMONI LIFE+ -projektissa 2010-14. Kalvosarja. Marmoni hanke. Viitattu 4.6.2013 <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=133050&lan=fi>
- Fong W.; Matsumoto H.; Ho, C. S.; & Yu, F. L. 2008. Energy consumption and carbon dioxide emission considerations in the urban planning process in Malaysia. *University Teknologi Malaysia*. Viitattu 4.6.2013 http://eprints.utm.my/6626/1/Wee_Hiroshi_Chin_Yu_EnergyConsumptionAndCarbonDioxide.pdf
- Girod B. & De Haan P. 2010. More or Better? A Model for Changes in Household Greenhouse Gas Emissions due to Higher Income. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 14/2010, No. 1, 31-49.
- Glaeser E. 2011. Cities, Productivity, and Quality of Life. *Science* 29 July 2011: Vol. 333 No. 6042. 592-594

Hakanen, M. 2003. Hyvän indikaattorin ominaisuudet. Esitelmä Ympäristöhallinnon ympäristöraportointipäivillä 24.3.2003.

Heinonen J. Junnila S. & Kuronen M. 2010. Life Cycle Assessment of Carbon Mitigation Possibilities in Metropolitan Areas. SB10 Finland, Sustainable Community - BuildingSMART, Espoo, 22.-24.9.2010, Finnish Association of Civil Engineers RIL, Conference Proceedings.

Heinonen J. 2012. The Impacts of Urban Structure and the Related Consumption Patterns on the Carbon Emissions of an Average Consumer. Aalto University publication series: doctoral dissertations 25/2012

Heljo J.; Nippala E. & Nuutila H. 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv- päästöt Suomessa – Ympäristöklusterin tutkimusohjelma. Rakennuskannan ekotehokkaampi energiankäyttö (EKOREM) -projekti. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakentamistalouden laitos: Raportti 2005:4

Helsingin kaupungin ympäristökeskus 2009. Liikenteen nykytila ja tulevaisuus Helsingissä. Helsingin ympäristön tila: teemakatsaus 2/2009

Ympäristöraportoinnin asiantuntijatyöryhmä 2012. Helsingin kaupungin ympäristöraportti 2011. Helsingin kaupungin keskushallinnon julkaisuja 2012:15.

Helsingin seudun liikenne 2008. Helsingin seudun työssäkäyntialueen laajan liikennetutkimuksen (LITU 2008) yhteenveto. Helsinki 2010: Edita Oy.

Hendrickson C.; Lave L. & Matthews H. 2006. Environmental life cycle assessment of goods and services – an input – output approach. Routledge.

Hiltunen, L. (2009). Validiteetti ja reliabiliteetti. Graduryhmä.[Verkojulkaisu]. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 12.4. 2011. www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius_ja_reliabiliteetti.pdf

Ilmatieteenlaitos 2010. Kasvihuonekaasut lämmittää. viitattu 4.8.2010. http://www.fmi.fi/ilmastonmuutos/miksi_5.html

IPCC 1996. Climate Change 1995: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC

IPCC 2001. Climate Change 2001: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press,

IPCC 2007a. Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.B.; Tignor, M.; and Miller, H.L., ed., Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press

IPCC 2007b. Neljäs arviointiraportti, Ilmastonmuutos 2007: yhteenvetoraportti, Tiivistelmä päätöksentekijöille. Viitattu 6.6.2013 <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=81566&lan=sv>

Junnila S. 2006. Empirical comparison of process and economic input-output life cycle assessment in service industries. Environmental science and technology. Vol 40, No 22, 7070-7076.

Kennedy C.; Steinberger J.; Gasson B.; Hansen Y.; Hillman T. & Havranek M. 2009. Greenhouse gas emissions from global cities. Environmental Science & Technology, Vol. 43 No.19, 7297-7302.

Kokkonen T. 2010. Tieteellinen selittäminen ja kausaliteetti. Johdatus yhteiskuntatieteiden filosofiaan. Kalvosarja. Helsingin yliopiston opetusmateriaali.

Koskinen H. 2001. MIPS ja ekologinen selkäreppu tuotteiden potentiaalisten ympäristövaikutusten vertailun menetelminä – ongelmakohtien tarkastelu. Pro gradu –tutkielma. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Lahti P. & Moilanen P. 2010. Kaupunkiseutujen yhdyskuntarakenne ja kasvihuonekaasupäästöt. Kehitysvertailuja 2005-2050. Ympäristöministeriö.

Lenzen M. 2000. Errors in conventional and input output–based life cycle inventories. Journal of Industrial Ecology. Vol. 4 No. 4, 127-148.

Loikkanen H. 2013. Kaupunkialueiden maankäyttö ja taloudellinen kehitys – maapolitiikan vaikutuksista tuottavuuteen sekä työ- ja asuntomarkkinoiden toimivuuteen. VATT valmisteluraportit.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 8.4.2005/202

Marcotullio P. & Schulz N. 2008. Urbanization, Increasing Wealth and Energy Transitions: Comparing Experiences between the USA, Japan and Rapidly Developing Asia-Pacific Economics. Urban Energy Transition: From Fossil Fuels to Renewable Power. 55-89.

Rantala M. 2007. Ylälapinmetsiin perustuvien elinkeinojen kestävyys kriteerit ja indikaattorit. Pro gradu -tutkielma. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta.

Reap J.; Roman F.; Duncan S. & Bras B. 2008a. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: goal and scope and inventory analysis. International journal of life cycle assessment 2008 13:290-300

Reap J.; Roman F.; Duncan S. & Bras B. 2008b. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 2: impact assessment and interpretation. International journal of life cycle assessment 2008. 13:374-388

Rosenström, U. & Palosaari, M. 2000. Kestävyysmitta. Suomen kestävän kehityksen indikaattorit 2000. Ympäristöministeriö. Suomen ympäristö 404.

Rosenström U. 2003. Sosiaalis-kulttuuriset indikaattorit Kymenlaaksoon: kehittämistyön lähtökohdat. Taustapaperi. Viitattu 4.6.2013. <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=8646&lan=fi>

Smitha, J.; Schneiderb ,S; Oppenheimerd ,M; jne 2009. Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) “reasons for concern”. PNAS 2009.

Suomen arkkitehtiliitto 2012 . Energiatohokas ja ekologisesti kestävä rakennus. Viitattu 22.4.2013. http://www.safa.fi/fin/safa/kestavan_suunnittelun_sivusto_-_eko-box/energiatohokas_ja_ekologisesti_kestava_rakennus/

Säynäjoki A.; Heinonen J. & Junnila S. 2011. Asuinalueen rakentamisessa syntyvien hiilipäästöjen hybridi-LCA-mallinnus. Aaltoyliopiston julkaisusarjat 1/2011. Maanmittaustieteiden laitos. Helsinki: Aalto Print.

Säynäjoki E. 2012. Yhdyskuntarakentamisen ekotehokkuuden arviointityökalut kunnille, yrityksille ja muille toimijoille. Aalto yliopiston wikiverkkosivu. Viitattu 4.6.2013 <https://wiki.aalto.fi/pages/viewpage.action?pageId=58096444>

Tilastokeskus 2008a. Kotitalouksien kulutusmenot kotitaloutta kohti tuloviidenneksittäin 1985-2006. Taulukkotietokanta. viitattu 4.6.2013
http://193.166.171.75/Dialog/varval.asp?ma=180_ktutk_tau_108_fi&ti=Kotitalouksien+kulutusmenot+kotitaloutta+kohti+tuloviidenneksitt%E4in+1985%2D2006&path=../Database/StatFin/tul/ktutk/&lang=3&multilang=fi

Tilastokeskus 2008b. Kotitalouksien kulutusmenot kotitaloutta kohti taajama-asteen mukaan 1985-2006. Taulukkotietokanta.
http://193.166.171.75/Dialog/varval.asp?ma=150_ktutk_tau_105_fi&ti=Kotitalouksien+kulutusmenot+kotitaloutta+kohti+taajama%2Dasteen+mukaan+1985%2D2006&path=../Database/StatFin/tul/ktutk/&lang=3&multilang=fi

Turun kaupunki 2009. Ilmasto- ja ympäristöohjelma 2009 – 2013. Kaupunginvaltuusto 2009 § 239. Verkkójulkaisu. Viitattu 6.6.2013.
<http://www.turku.fi/Public/download.aspx?ID=129304&GUID={E3E9A57B-D25E-4CB9-9568-C09515C0A0D1}>

Wahgren I. 2012. EcoBalance model for assessing sustainability of urban development. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development 2012 Vol 3. No. 4. 306-315.

Valtiovarainministeriö 2005. Indikaattorit ohjauksen ja seurannan välineinä. Valtiovarainministeriön Indikaattorityöryhmän raportti 2005. Keskustelualoite 73.

Ympäristöministeriö 2006. Vaikutusten arviointi kaavoituksessa. Ympäristöhallinnon ohjeita 10 ! 2006 Ympäristöministeriö. viitattu 11.8.2010
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=91&lan=fi>

Valtion ympäristöhallinto 2010. Maankäyttö ja rakentaminen. Viitattu 11.8.2010.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=91&lan=fi>

Liitteet

Taulukko 2. Kysymyspatteristo. Taulukossa on jaoteltuna luvuissa 2.3 ja 2.4 esitetyt kriteerit indikaattoreille järjestettyinä teemoittain.

Poliittinen	käytännön toimivuus	Yleisiä
<p>yhteys politiikkatavoitteeseen</p> <p>- facilitate the preparation and monitoring of plans;</p> <p>eteenpäin katsominen</p> <p>•Tavoitetason asettaminen mahdollista” DIA 5</p> <p>Mahdollistaako tavoitteen asettamisen</p>	<p>vertailtavuus kansainvälisten mittareiden kanssa</p> <p>Vertailtavuus kynnyсарvoihin ja tavoitteisiin.</p> <p>Vertailtavuus muiden järjestelmien indikaattoreihin.</p> <p>• Voidaan hyödyntää eri maantieteellisillä alueilla</p> <p>Onko vertailtavissa muihin mittareihin</p>	<p>• Heijastaa yhtä tai useampaa monimuotoisuuden aspektia</p> <p>Yhdistää kestävyuden kolme ulottuvuutta.</p> <p>Liittää yhteen paikallisen ja maailmanlaajuisen.</p> <p>- state the concept of sustainable development in practical terms; and</p> <p>Heijastaa yhteiskunnallisia tavoitteita.</p>
<p>Kyky ohjata suunnittelua ja päätöksentekoa.</p> <p>mahdollisuus vaikuttaa välineindikaattoriin selkeällä poliittisella mekanismilla</p> <p>- help to assess the fulfillment of governmental goals and targets, and in the revision of these goals and targets;</p> <p>Kyetäänkö käyttämään suunnittelun ja päätöksenteon ohjaamiseen</p>	<p>Tiedon hankinnan helppous.</p> <p>• Yksinkertaisesti päivitettävissä mittausten avulla</p> <p>Onko helppo käyttää</p>	
<p>- help to assess the performance of both policies and actions when implementing the plans;</p> <p>Mahdollistaako tavoitteiden toteutumisen seurannan</p>	<p>Liitettävyyys taloudellisiin malleihin ja tietojärjestelmiin.</p>	
<p>Kannustaa muutokseen.</p> <p>- focus the national and sectoral programmes and state budgets towards sustainability.”</p> <p>Kannustaako (ekologiseen) muutokseen</p>		

Tieteellisyys, pätevyys		Julkisuus, uusi tieto	
• Vastaa paineisiin odotetulla tavalla	• Vastaa paineisiin odotetulla tavalla	- help to identify main trends in priority sectors;	
• Määritetään tieteellisistä lähtökohdista tavoitetaso ja/tai referenssitaso	• Määritetään tieteellisistä lähtökohdista tavoitetaso ja/tai referenssitaso	Kiinnostavuus eri tahojen kannalta.	
päällekkäisyyden välttäminen	päällekkäisyyden välttäminen	- promote national dialogue on sustainable development;	Tuoko uutta tietoa julkiseen keskusteluun
Relevanssi ((aiheenmukaisuus, sopivuus, hyödyllisyys)	Relevanssi ((aiheenmukaisuus, sopivuus, hyödyllisyys)	- facilitate reporting on the state of sustainable development to decision-makers and the general public, both domestic and international;	
validiteetti (mitataanko oikeaa asiaa)	validiteetti (mitataanko oikeaa asiaa)	- bring important issues to the political agenda;	
reliabiliteetti (luotettavuus, uskottavuus, paikkansapitävyys)	reliabiliteetti (luotettavuus, uskottavuus, paikkansapitävyys)		

Taulukko 3. Yhdyskuntarakenteen ulkopuolisten sektorien suhteelliset osuudet kokonaishiilijalanjäljestä. Laskettu Heinosen väitöskirjan (2012) sivun 18 taulukon tietojen perusteella.

Sarake1	Hyvinkää	Vantaa	Kerava	Porvoo	Helsinki	Espoo	Nurmijärvi
Yksityinen kulutus	13 300	16000	17200	15900	17 400	18800	20400
Hiilijalanjälki (tCO ₂)	12,1	13,8	14,6	15,1	15,3	17,3	18,4
Sektoreiden osuudet kokonaishiilijalanjäljestä							
Ulkomaanmatkat	4,0 %	3,6 %	6,1 %	4,5 %	5,8 %	8,4 %	5,9 %
Kulutushyödykkeet	10,2 %	9,6 %	8,6 %	9,2 %	10,5 %	9,0 %	8,1 %
Vapaa-ajan hyödykkeet	2,6 %	3,3 %	2,6 %	2,7 %	2,2 %	2,6 %	4,2 %
Vapaa-ajan palvelut	5,5 %	5,8 %	4,9 %	4,6 %	6,5 %	6,2 %	5,5 %
Terveys-, hyvinvointi- ja koulutuspalvelut	2,1 %	1,9 %	3,2 %	1,1 %	1,9 %	1,8 %	1,5 %
Sektorien yhteenlaskettu osuus kokonaishiilijalanjäljestä	24,4 %	24,2 %	25,4 %	22,2 %	26,9 %	28,0 %	25,3 %