

Hiilikulutus ja hiilijohtamisen mahdollisuudet Tampereen alueella

Jukka Heinonen, Seppo Junnila



Hiilikulutus ja hiilijohtamisen mahdollisuudet Tampereen alueella

Jukka Heinonen, Seppo Junnila

Aalto-yliopiston julkaisusarja
TIEDE + TEKNOLOGIA 21/2011

© Authors

ISBN 978-952-60-4393-7 (pdf)

ISSN-L 1799-487X

ISSN 1799-4888 (pdf)

Unigrafia Oy
Helsinki 2011

Alkusanat

Tässä vuonna 2010 toteutetussa tutkimuksessa tarkasteltiin Tampereen ja sen ympäryskuntien hiilikulutusta eli hiilidioksidipäästöjä kulutus pohjaisella laskentatavalla. Tämä poikkeaa vahvasti perinteisestä alueen tuotannon päästöihin keskittyvästä lähestymistavasta ja tarjoaa uuden näkökulman kaupungin hiilijohtamisen mahdollisuuksiin. Kulutus pohjainen tarkastelu huomioi alueen kuluttajien kulutuksellaan aiheuttamat päästöt ilman aluerajauksia päästöjen syntypaikan suhteen. Hyödyt ovat merkittäviä ja täydentävät oleellisesti tuotantopohjaisia laskentamalleja. Tuotannon kautta voidaan selvittää merkittävimpiä päästöjen aiheuttajia kaupungin alueella ja pyrkiä johtamaan päästöjen hillitsemistä näissä. Eri alueita ei kuitenkaan poikkeavien rakenteiden takia voida vertailla keskenään kestävästi. Merkittävä ongelma on myös hiilivuoto alueen ulkopuolelle. Esim. merkittävän tehtaan sijoittuminen kaupungin alueen ulkopuolelle saattaisi johtaa kaupungin päästöjen vähenemiseen tuotantopohjaisessa laskennassa, vaikka vaikutus voisi olla jopa päinvastainen globaalissa mittakaavassa.

Kulutukseen perustuva mittaaminen täydentää kuvaa ja mahdollistaa kestäväen hiilijohtamisen, koska saavutetut päästöjen vähennykset tarkoittavat aina todellisia vähennyksiä globaalissa mittakaavassa. Kaupungit ovat kulutuskeskuksia, joissa suuri osa kulutetuista hyödykkeistä tuodaan alueen ulkopuolelta. Näin myös suuri osa päästöistä syntyy kaupungin ulkopuolella, vaikka kysyntä kaupungissa toimii ajurina. Hiilikulutuksen kautta päästään tarkastelemaan myös näitä kaupungin ulkopuolella syntyviä, kaupungin asukkaiden aiheuttamia päästöjä. Koko päästörakenteen tunnistamisen kautta myös erilaiset päästövähennystavoitteet ja eri toimenpiteiden todelliset seuraukset voidaan asettaa kontekstiinsa.

Tutkimuksen toteuttajat haluavat kiittää Tampereen kaupunkia rohkeasta ja ennakkoluulottomasta asenteesta lähteä mukaan tähän merkittävää uutuusarvoa sisältäneeseen hankkeeseen. Tulokset olivat kiinnostavia ja auttavat toivottavasti kaupunkia kohti tehokasta hiilijohtamista. Ainakin tulokset huomattiin myös lehdistössä ja keskustelu aiheen ympärillä on ollut vilkasta. Aamulehti noteerasi tutkimuksen etusivullaan syksyllä 2010, ja vielä loppukesästä 2011 Tampereella järjestetyssä Ekokaupunki-keskustelutilaisuudessa aihe oli esillä, kun keskustelijaksi kutsuttiin professori Seppo Junnila tutkimuksen toteuttajista.

Espoossa 8.11.2011

Jukka Heinonen ja Seppo Junnila

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Tutkimusmetodologia ja tietolähteet	7
2.1	Elinkaarimallinnus ympäristövaikutusten arvioinnissa	7
2.1.1	Prosessi-LCA	7
2.1.2	Panos-tuotos-LCA	8
2.1.3	Hybridi-LCA	9
2.2	Tietolähteet	9
2.3	Tutkimusalueet	10
3	Tutkimuksen eteneminen	11
3.1	Panos-tuotos-mallinnus	11
3.2	Hybridi-LCA-mallin rakentaminen	12
3.2.1	Asumisen energia	12
3.2.2	Asuinrakennus ja tontti	13
3.2.3	Kiinteistön hoito ja ylläpito	13
3.2.4	Yksityisautoilu	13
3.2.5	Joukkoliikenne	14
3.3	Hiilijohtamisen mahdollisuuksien skenaariotarkastelu	14
4	Tulokset	15
4.1	Hiilikulutus Tampereella ja lähialueilla	15
4.1.1	Keskimääräiset hiilijalanjäljet kulutuskategorioittain	15
4.1.2	Alueellisten lämpölaitosten päästöprofiilit	17
4.2	Kulutuksen alueelliset hiili-intensiteetit	17
5	Hiilijohtamisen mahdollisuudet	19
5.1	Yksityisautoilun vähentäminen ja joukkoliikenteen käyttöasteen nostaminen	20
5.1.1	Lähtötilanne	20
5.1.2	Tulevaisuus	20
5.1.3	Yhteenveto	23
5.2	Uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen	24

5.2.1	Lähtötilanne	24
5.2.2	Tulevaisuus	24
5.3	Kaupunkirakenteen tiivistäminen	26
5.3.1	Lähtötilanne	26
5.3.2	Tulevaisuus	26
5.4	Matalaenergiarakentaminen	27
5.4.1	Lähtötilanne	27
5.4.2	Tulevaisuus	28
6	Tulosten arviointi	30
6.1	Tulosten yleistettävyys ja vertailukelpoisuus	30
6.1.1	Aiheuttaja- ja kohdentumisperiaatteet	30
6.1.2	Tulosten asemointi suhteessa aiempiin tutkimuksiin	31
6.2	Tuloksiin liittyvät epävarmuudet	31
6.2.1	Panostiedot	32
6.2.2	Laskentamallit	32
7	Yhteenveto	34
8	Lähteet	37

1 Johdanto

Ilmastonmuutosta voidaan pitää tämän hetken suurimpana globaalina ympäristöongelmana [1]. Nykyisen elintason säilyttäminen ja kasvattaminen vaativat jo lähitulevaisuudessa voimakkaita toimenpiteitä ilmastonmuutosta aiheuttavien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi sekä mukautumista ilmastonmuutoksen seurauksiin [2, 3, 4]. Päästöjen lähteiden tunnistaminen ja tehokkaiden vähentämistoimenpiteiden toteuttaminen, eli hiilijohtaminen, tulee olemaan yksi suurimmista haasteistamme läpi yhteiskuntarakenteiden.

Kaupungit ja kaupunkirakenteet nousevat avainasemaan, kun tarkastellaan hiilijohtamisen vaikutusmahdollisuuksia aluetasolla, sillä kaupunkien on arvioitu aiheuttavan jopa 80 % kasvihuonekaasupäästöistä globaalilla tasolla [39]. Nopeasti kasvava joukko kaupunkeja onkin ryhtynyt toimiin päästöjensä vähentämiseksi radikaalisti jo lähitulevaisuudessa [40, 41, 42, 43]. Miten tavoitteet saavutetaan, on kysymys, johon ei usein ole vielä selkeitä vastauksia.

Asumiseen vaikuttaminen tarjoaa yhden suurimmista ja kannattavimmista mahdollisuuksista hiilidioksidipäästöjen alentamiseen [5]. Pelkästään kiinteistöjen aiheuttamien suorien hiilidioksidipäästöjen on arvioitu olevan n. 30-40 % Suomen kokonaispäästöistä vuositason tasolla [esim. 6]. Asumisen kokonaisvaikutus esimerkiksi liikkuminen ja kulutustottumukset huomioiden on kuitenkin vielä huomattavasti suurempi. Matalahiiliratkaisuista puhuttaessa on siten oleellista tarkastella kulutuksen vaikutuksia laajasti, eikä keskittyä mihinkään yksittäiseen toimintoon.

Vaikka alueellisiin kasvihuonekaasupäästöihin keskittyviä tutkimuksia on toteutettu paljon eri puolilla maailmaa, on näissä muutamia harvoja lukuun ottamatta keskitytty tietyn alueen tuotannon päästöjen mittaamiseen. Tällöin saadaan yhdenlainen, tärkeä, mutta vajavainen kuva päästöistä. Esimerkiksi tuotannon sijoittaminen tutkittavan alueen rajojen ulkopuolelle vähentää alueen päästöjä, mutta ilmastonmuutoksen kannalta ratkaisu on hyödytön. Tässä tutkimuksessa kasvihuonekaasupäästöjä tutkitaan kulutuksen kautta panos-tuotos-pohjaisella

hybridielinkaarimallilla (hybridi-LCA). Kulutuksen aiheuttaman hiilijalanjäljen, hiilikulutuksen, mallintaminen mahdollistaa tehokkaan hiilijohtamisen ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Kulutuksen kautta tapahtuvan mallinnuksen avulla on lisäksi mahdollista tarkastella alueellisia eroja aiheuttavia tekijöitä esimerkiksi asuntotyyppien, liikenneinfrastrukturiratkaisuiden ja elintason vaihdellessa.

Tutkimuksen tulokset esitetään kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa lasketaan keskimääräisen kuluttajan aiheuttama hiilijalanjälki Tampereella ja sen lähialueilla, ja vertaillaan näitä toisiinsa sekä Suomen keskiarvoon. Toisessa vaiheessa tutkitaan hiilijohtamisen mahdollisuuksia kaupunkirakenteiden ja liikenneinfrastruktuurin kehittämiseen liittyvien skenaarioiden kautta. Ennen tulosten esittämistä kuvataan raportissa itse mallia ja mallinnusprosessia tarkemmin.

2 Tutkimusmetodologia ja tietolähteet

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kuluttajan hiilijalanjäljen muodostumista vuositason yksittäisen kulutuksen kautta, eli hänen hiilikulutustaan. Tutkimus toteutettiin elinkaarimallinnuksen keinoin. Mallinnuksessa käytettiin panos-tuotos-pohjaista elinkaarimallia (IO-LCA), josta kehitettiin alueelliset erityistekijät huomioiva hybridi-elinkaarimalli (hybridi-LCA). Seuraavassa esitellään elinkaariarvioinnin periaatteet, sekä eri elinkaariarviointimenetelmät, minkä jälkeen kuvataan tarkemmin tätä tutkimusta varten rakennettua mallia.

2.1 Elinkaarimallinnus ympäristövaikutusten arvioinnissa

Elinkaaripohjainen ajattelu on vakiintunut yleisesti hyväksytyksi tavaksi arvioida valitun kohteen tai toiminnon aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Elinkaaren huomioidulla tarkoitetaan sitä, että tarkasteltavan kohteen välilliset ympäristövaikutukset raaka-aineiden hankinnasta aina jakeluun ja loppusijoitukseen saakka huomioidaan suorien vaikutusten lisäksi. Näin saadaan selville kohteen aiheuttamat todelliset ympäristövaikutukset, eikä sorruta tarkastelemaan ainoastaan tuotantovaihetta, jolloin esim. palveluiden aiheuttamaa ympäristökuormaa saatetaan aliarvioida vahvasti [27].

2.1.1 Prosessi-LCA

Elinkaariarviointit (LCA) jakautuvat kolmeen lähestymistapaan. Perinteinen, ja käytetyin, on prosessiperustainen LCA. Prosessiarvioinnissa tarkasteltavan kohteen ympäristövaikutukset mitataan ja lasketaan prosesseittain energia- ja materiaalivirtojen pohjalta ja summataan kohteen ympäristökuormaksi [32].

Prosessi-LCA antaa tarkkaa tietoa ympäristövaikutuksista, koska mittaaminen kohdentuu aina juuri tarkasteltavan kohteen vaikutuksiin. Menetelmä on kuitenkin erittäin työläs ja aikaa vievä, koska jokainen prosessi raaka-aineiden tuotannosta valmistusvaiheeseen, jakeluun ja loppusijoitukseen on laskettava erikseen. Alihankintaketjut ovat myös aina erittäin pitkiä ja jatkuvat läpi talouden yli maan rajojen. Tästä johtuen

prosessi-LCA:n toteuttaja joutuu aina subjektiivisesti valitsemaan rajat tarkasteltavien alihankinta- ja toimitusketjujen huomioinnille [27, 32].

2.1.2 Panos-tuotos-LCA

Vaihtoehtoinen tapa tarkastella valitun kohteen aiheuttamia elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia on panos-tuotos-pohjainen mallintaminen (IO-LCA). Menetelmän, joka arvioi kohteen aiheuttamat ympäristövaikutukset käytettyjen rahallisten panosten pohjalta, on kehittänyt Wassily Leontief, Nobel-palkinnon saajaksi arvostettu ekonomisti [32].

Panos-tuotos-mallinnus pohjautuu tuotostaulukoihin, jotka kertovat tiettyyn kohteeseen käytetyn rahallisen panoksen aiheuttamat ympäristövaikutukset koko kansantaloudessa. Menetelmä on muuten identtinen kansantalouden tilinpidon panos-tuotos-kirjanpidon kanssa, mutta tässä tapauksessa tuotostaulukot sisältävät taloudellisen aktiviteetin lisäksi tiedot kutakin panosta kohti aiheutuvista ympäristökuormista kansantaloudessa.

Tuotostaulukoissa talous on jaettu sektoreihin toimialoittain siten, että koko kansantalous tulee huomioitua. Panos-tuotos-malliin on lisäksi määritelty yhteydet kaikkien talouden sektoreiden välillä. Näiden avulla malli laskee tietylle sektorille kohdentuvan panoksen aiheuttamat ympäristövaikutukset koko taloudessa kaikki talouden sektorit huomioiden.

Panos-tuotos mallinnus on tehokas ja prosessi-LCA:han verrattuna erittäin nopea tapa elinkaaristen ympäristövaikutusten arviointiin. Menetelmä on nopea siksi, että taloudellista tietoa on usein olemassa runsaasti, jolloin rahasummiin pohjautuva mallintaminen on suhteellisen helppoa. Tulos on lisäksi aina sikäli täydellinen, että alihankinta- ja toimitusketjut huomioidaan tuotostaulukoissa täydellisinä.

Panos-tuotos-mallinnukseen sisältyy nopeuden ja helppouden vastapainona aina myös epävarmuuksia, koska taulukoissa käytetään toimialakohtaisia keskiarvoja [34]. Menetelmä sopii hyvin laajojen kokonaisuuksien mallintamiseen sekä antamaan nopeaa karkean tason tietoa päätöksenteon tueksi. Tarkkuus on kuitenkin aina prosessipohjaista mallinnusta heikompi, ja satunnaiset poikkeamat keskiarvoista jäävät mallinuksissa huomiotta.

Näistä ominaisuuksistaan johtuen panos-tuotos-mallinnus sopii erityisen hyvin vaihtoehtojen vertailuun. Tulosten suora vertaaminen muilla menetelmillä tehtyihin tutkimuksiin antaa vain suuntaa antavaa tietoa mallin käyttäjälle, mutta vaihtoehtojen vertailussa saadaan nopeasti luotettavaa tietoa päätöksentekotilanteisiin.

2.1.3 Hybridi-LCA

Hybridi-LCA:lla tarkoitetaan edellä esitettyjen, prosessiperustaisen sekä panos-tuotos-perustaisen, mallien yhdistämistä. Yhdistämisen avulla pyritään hyödyntämään molempien lähestymistapojen parhaita puolia, ratkaisemaan lähtötietoihin liittyviä puutteita tai epävarmuuksia sekä parantamaan tulosten luotettavuutta.

IO-LCA huomioi koko toimitusketjun ilman rajauksia, kun taas prosessi-LCA:ssa tarkasteltavan kohteen päästöistä saadaan hyvinkin tarkkaa tietoa. Tältä pohjalta menetelmät voidaan yhdistää hybridi-LCA-malliksi, jossa tärkeimmät ympäristövaikutuksia aiheuttavat prosessit mallinnetaan prosessipohjaisesti, ja vähemmän merkittävät prosessit sekä alihankintaketjut tärkeimpien prosessien jälkeen mallinnetaan panos-tuotos-pohjaisesti. Tällaisella hybridi-LCA-mallilla saadaan tarkennettua suoraa keskiarvoihin perustuvaa panos-tuotos-mallinnusta, ja vastaavasti huomioitua prosessi-LCA:n ulkopuolelle jäävät alihankintaketjujen osuudet.

Hybridi-LCA-lähestymistä voidaan käyttää myös, jos lähtötiedoissa on puutteita tai niihin liittyy merkittäviä epävarmuuksia. Tällöin käytetään prosessipohjaista tietoa ja panos-tuotos-tietoa hyväksi tarjolla olevien tietolähteiden mukaisesti. Mallintamalla samoja kohteita molempia tietolähteitä hyväksikäyttäen voidaan vähentää epävarmuuksia laskentatulosten suhteen.

2.2 Tietolähteet

Tutkimuksen toteutuksessa käytettiin useita panostietolähteitä. Pää tietolähteenä käytettiin Tilastokeskuksen tuottamaa kulutustutkimustietoa vuodelta 2006 [7], joka on tuorein toteutettu kulutustutkimus. Yksityisautoilua käsiteltiin tarkemmin Liikenne- ja viestintäministeriön Henkilöliikennetutkimuksen [8] tietojen avulla. Hybridi-LCA-mallissa käytettyä prosessidataa hankittiin useista eri lähteistä. Hybridi-LCA-mallin rakentamista on kuvattu tarkemmin luvussa kolme.

Tutkimuksen päätietolähde, Kulutustutkimus 2006, on hyvin yksityiskohtaisesti kotitalouksien kulutusta mittaava tilasto. Kokonaisuudessaan tutkimuksessa on mukana lähes 10.000 kuluttajaa, joiden kuluttajakäyttäytymistä on seurattu sekä kulutuspäiväkirjojen että haastatteluiden kautta. Näiden avulla suomalaisen kuluttajan kulutus on jaettu noin tuhanteen yksityiskohtaiseen kategoriaan. Tutkimuksesta voidaan poimia halutun mukaisia otoksia kuvaamaan esimerkiksi tietyn maantieteellisen alueen tai aluetyypin keskimääräisiä kulutustottumuksia.

2.3 Tutkimusalueet

Tutkimuksessa mallinnettiin keskimääräisen kuluttajan aiheuttama hiilijalanjälki Tampereen ja sen ympäryskuntien asukkaille. Vertailua varten laskettiin myös keskimääräisen suomalaisen kuluttajan hiilijalanjälki. Ympäryskuntina tutkimukseen otettiin mukaan Kangasala, Lempäälä, Nokia, Orivesi, Pirkkala, Vesilahti ja Ylöjärvi. Päätietolähteenä käytettyyn kulutustutkimukseen liittyvistä pienistä havaintomääristä johtuen ympäryskunnista muodostettiin kaksi laajempaa kokonaisuutta tilastollisen merkittävyyden parantamiseksi perustuen erityisesti kuntien rakenteiden kaupunkimaisuuteen. Tällä jakoperusteella kaupunkimaisen ryhmän muodostivat Lempäälä, Nokia ja Pirkkala, ja maalaismaisen Kangasala, Orivesi, Vesilahti sekä Ylöjärvi.

Valitulla jaolla pyrittiin saamaan esille toisaalta kaupunkirakenteeseen ja liikenneinfrastruktuuriin liittyviä eroja hiilijalanjäljissä ja toisaalta havainnollistamaan erityyppisillä alueilla asuvien kuluttajien elämäntapojen aiheuttamia eroja. Taulukko 1:een on koottu tutkimusalueiden rakenteisiin liittyviä oleellisia lukuja. Liikkumisen kilometrisuoritteet on laskettu Liikenne- ja viestintäministeriön Henkilöliikennetutkimuksen aineistosta [8]. Erityisesti pienimpien paikkakuntien luvuissa yksittäiset poikkeavan suuret ajosuoritteet vaikuttavat merkittävästi lukuihin.

	Väkiluku	Työskentely [14]		Asuminen [14]		Liikkuminen [8]		
	<i>Asukasta (as.)</i>	<i>Maa-talous</i>	<i>Muu</i>	<i>Kerros-talo</i>	<i>Muu</i>	<i>Pinta-ala (m²/as.)</i>	<i>Yksityis-autoilu (km/as.)</i>	<i>Julkinen liik. (km/as.)</i>
Kangasala	27.733	3 %	97 %	31 %	69 %	39,64	12.439	3.089
Lempäälä	19.271	2 %	98 %	23 %	77 %	39,14	10.010	5.970
Nokia	30.485	1 %	99 %	38 %	62 %	37,40	11.696	2.044
Orivesi	9.555	9 %	91 %	21 %	79 %	X	23.866	4.235
Pirkkala	15.788	0 %	100 %	32 %	68 %	38,02	15.457	1.335
Tampere	207.866	0 %	100 %	71 %	29 %	36,36	12.562	2.888
Vesilahti	4.086	9 %	91 %	1 %	99 %	X	17.755	4.901
Ylöjärvi	29.148	2 %	98 %	15 %	85 %	39,07	19.478	1.664

Taulukko 1: Tutkimusalueiden rakenteita kuvaavia lukuja

3 Tutkimuksen eteneminen

3.1 Panos-tuotos-mallinnus

Tutkimusta varten hankittiin Tilastokeskuksesta viimeisimmän, vuoden 2006, Kulutustutkimuksen tulokset ryhmiteltyinä edellä esiteltyjen aluejakojen mukaisesti. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kulutustutkimuksen tarjoamista lähes 2.000 kulutuskategoriasta yhdistettiin 36 asumista, liikkumista ja kulutushyödykkeisiin ja palveluihin kohdistuvaa kysyntää kuvaavaa yhdistettyä summakategoriaa. Näille kategorioille etsittiin niihin kohdistuvaa kysyntää parhaiten kuvaavat talouden sektorit panos-tuotos-mallista. Tältä pohjalta laskettiin ensimmäiset hiilijalanjäljet keskimääräisille kuluttajille.

Tulokset yhdistettiin edelleen kymmeneksi hiilikulutusta kuvaavaksi yläkategoriaksi seuraavan jaon mukaisesti:

1. Asuinrakennus ja tontti
2. Kiinteistön hoito ja ylläpito
3. Asumisen energia (sähkö ja lämpö)
4. Yksityisautoilu
5. Julkinen liikenne
6. Päivittäistavaroiden kulutus
7. Vapaa-ajan kulutushyödykkeet
8. Vapaa-ajan palvelut
9. Terveys-, hyvinvointi-, hoiva- ja koulutuspalvelut
10. Ulkomaanmatkat.

Tässä tutkimuksessa alustava panos tuotosmalli tuotettiin hyödyntämällä Carnegie Mellon yliopiston Green Design instituutin ilmaiseksi Internetissä tarjoamaa taloudellista panos-tuotos-mallinnustyökalua (Economic Input-Output Life Cycle Assessment Model, EIO-LCA) [9]. Kyseessä on edellä esitelty IO-LCA, joka pohjautuu Yhdysvaltain talouden toimintaan ja sen talous- ja materiaalivirtoihin. Tutkimuksessa käytettiin tuoreinta, vuoden 2002 Yhdysvaltain talouteen perustuvaa EIO-LCA-mallia.

Yhdysvaltain talouteen pohjautuva malli valittiin karkeaan tarkasteluun, koska se tarjoaa käytettävissä olevista malleista kattavimman toimialajaottelun 428 talussektorillaan, ja sen on aiemmissa tutkimuksissa todettu soveltuvan myös Suomen talouden

ympäristövaikutusten arvioimiseen [10]. Suomen ja Yhdysvaltojen välisten hintataso- ja valuuttakurssierojen aiheuttamien vääristymien poistamiseksi käytettiin ostovoimapariteetteihin perustuvaa korjauskerrointa Weberin ja Matthews'n Yhdysvalloissa toteuttamaa, menetelmältään vastaavaa, tutkimusta seuraten [11, 12]. Esimerkiksi tuore Suomen taloutta kuvaava panos-tuotos-malli ENVIMAT jakaa talouden vain 151 sektoriin [13], mikä ei ollut riittävää tutkimuksemme tavoitteisiin nähden.

Yhdysvaltain talouteen pohjautuvan mallin voidaan olettaa kuvaavan Suomen tilannetta suhteellisen luotettavasti aiempiin tutkimuksiin perustuen. Aiemmissä tutkimuksissa Suomen ja USA:n tuotannon hiiliprofiilien on osoitettu olevan samankaltaisia, vaikkakin absoluuttisella tasolla USA:n prosessit tuottavat enemmän päästöjä kuin vastaavat suomalaiset [10]. Toisaalta USA:n tuotanto näyttäisi olevan sen omia merkittävimpiä kauppakumppaneita puhtaampaa [12]. Lisäksi suuri osa suomalaisten asukkaiden kulutuksesta on tuontiperäistä kulutusta, n. 55 % kokonaiskulutuksesta (julkinen ja yksityinen kulutus) [14], jolloin maailman suurimman yksittäisen markkinan USA voidaan perustellusti olettaa tuottavan jopa tarkempaa tietoa kuin pelkän kotimaisen mallin käyttäminen.

3.2 Hybridi-LCA-mallin rakentaminen

Tutkimuksen toisessa vaiheessa panos-tuotos-mallin alustavia tuloksia hyödyntäen kehitettiin tutkimusalueiden tärkeät ominaispiirteet huomioiva hybridilaskentamalli. Suoran panos-tuotos-mallinnuksen tulokset osoittivat asumisen energiankulutuksen, asumisen muiden toimintojen sekä yksityisautoilun hallitsevan kuluttajan hiilijalanjälkeä. Tältä pohjalta panos-tuotos-mallista lähdettiin kehittämään hybridimallia vaihtamalla näiden merkittävimpien kategorioiden osalta tarkemmin todellisia alueellisia olosuhteita vastaavia prosessi- ja teknologiapohjaisia päästötietoja tuotostaulukoiden keskiarvotietojen tilalle. Seuraavassa esitellään hybridi-LCA-mallin rakentamista kategoriakohtaisesti.

3.2.1 Asumisen energia

Asumisen energiankulutuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt hallitsevat päästöjä kaikilla tutkimusalueilla suorassa panos-tuotomallissa, jossa kaikkien oletetaan käyttävän samaan ”keskimääräiseen” teknologiaan perustuvaa energiaa. Yhdysvaltain tuotantoprofiiliin perustuva tuotostaulukko kuitenkin ylikorostaa energian merkitystä, koska maan tuotannon hiili-intensiteetti on selvästi Suomen vastaavaa korkeampi. U.S. Energy Information Administrationin tarjoamien tietojen mukaan ero oli viitevuonna 2006 n. 40 %, joskin koko elinkaariketjun huomioivat päästöt poikkeavat hiukan vähemmän toisistaan [19, 13].

Hybridimallia varten energiaprosessi jaettiin tuotanto- ja jakeluvaiheeseen sekä muun elinkaaren sisältävään vaiheeseen ENVIMAT-tutkimuksen tulosten mukaisesti [13]. Näistä tuotanto- ja jakeluvaiheen osalta malliin vaihdettiin todelliset alueelliset prosessipohjaiset päästöarvot käyttäen ensimmäisessä mallinnuksessa kaikille tutkimusalueille Tampereen Sähkölaitoksen vuoden 2007 ominaispäästöjä 266 g CO₂-ekv. / kWh sekä sähkölle että lämmölle [14, 36, 37], kun taas muu elinkaari jätettiin vastaamaan suoraa panos-tuotos-mallia. Tämän lisäksi energia jaettiin tässä vaiheessa sähköön ja lämpöön kulutustilastojen mukaisesti, ja taloyhtiön kuluttama energia siirrettiin vuokra- ja yhtiövastikemaksuista mukaan sähkön ja lämmön asukaskohtaiseen kulutukseen (ks. tarkemmin kohta 3.2.2). Toisessa vaiheessa mallinnukseen lisättiin alueellisten lämpölaitosten hiili-intensiteetit ympäryskuntien osalta. Prosessipohjaisina ominaispäästöarvoina käytettiin energiamenetelmällä määriteltyjä lukuja sähkölle ja lämmölle. Energiamenetelmää käytettiin, koska se on kansainvälisesti käytetyin menetelmä esittää ominaispäästöjä.

3.2.2 Asuinrakennus ja tontti

Asumisen muut toiminnot, esimerkiksi rakentaminen ja kiinteistöjen hoito aiheuttavat merkittävän ympäristökuorman kasvihuonekaasujen näkökulmasta. Tämän kuorman tehokasta kuvaamista varten kulutustutkimuksen tarjoamista tiedoista erotettiin rakentamisen ja tontin kustannukset sekä vuokra- että omistusasujien osalta. Rakentamisen ja tontin osuuksien erottaminen tapahtui ARA:n julkaisemien hintatilastojen pohjalta [21]. Tontin ja rakentamisen osuuksien erottelulla saatiin toisaalta tarkennettua mallia huomattavasti, koska näihin liittyvät hiilidioksidivaikutukset poikkeavat vahvasti toisistaan, ja toisaalta poistettua merkittävä osa alueellisten hintatasoerojen vaikutuksesta mallin sisällä tontin arvon alueellisen vaihtelun kautta.

3.2.3 Kiinteistön hoito ja ylläpito

Koska huomattava osa asumisen energia-, jätehuolto-, vesi- ja huolto- sekä hoitokustannuksista maksetaan osana yhtiövastikkeita tai vuokria, jaettiin nämä kustannukset vuokriin ja yhtiövastikkeisiin sisältyvien todellisten kustannusrakenteiden mukaan omiin todellisiin kulukategorioihinsa. Energian osuudet (sähkö ja lämpö) siirrettiin kategoriaan Asumisen energia. Jakoperusteena käytettiin aiempaa Kiiras et al. tutkimusta [44], joka varmennettiin tämän tutkimuksen yhteydessä toteutetulla kustannusanalyysillä kymmenen taloyhtiön yhtiövastikemaksuista.

3.2.4 Yksityisautoilu

Aiempien tutkimusten mukaan yksityisautoiluun liittyvät päästöt näyttäisivät riippuvan voimakkaasti toisaalta asuinalueesta, ja toisaalta

tarjolla olevista julkisen liikenteen vaihtoehdoista. Tältä pohjalta yksityisautoilua tarkasteltiin sekä liikennesuoritteiden kautta että tarkennettiin päästöjen mittausta osana hybridimallia.

Päästömittauksen tarkentamiseksi hybridimalliin polttoaineiden ostoon käytetty raha jaettiin tuottaja- ja kuluttajahintoihin [26, 14, 35]. Tuottajahinnan kautta saatiin panos-tuotos-taulukoista tarkempi elinkaarivaikutus mukaan malliin. Kuluttajahinnan avulla puolestaan laskettiin tuotannon ja jakelun päästöjen päälle todelliset yksityisautoilun suorat päästöt VTT:ssä toteutetun Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä LIPASTO:n tietojen avulla [22]. Tämän lisäksi liikennesuoritteita tarkasteltiin Liikenne- ja viestintäministeriön toteuttaman henkilöliikennetutkimuksen tulosten kautta [8], joista tässä vaiheessa karsittiin yleisen käytännön mukaisesti pois yli 100 kilometrin päivittäissuoritteet.

3.2.5 Joukkoliikenne

Joukkoliikenteen päästöillä ei ole suurta vaikutusta kuluttajan hiilijalanjälkeen hyvän hiilitehokkuutensa ja toisaalta kuitenkin suhteellisen pienen matkasuoritteensa johdosta. Suorassa panos-tuotos-mallinnuksessa näiden päästöjen merkitys kuitenkin ylikorostuu johtuen USA:n talouteen pohjautuvasta mallista, jossa joukkoliikenteen päästöt ylittävät voimakkaasti Suomen ENVIMAT-tutkimuksen mukaiset joukkoliikenteen päästöt [9, 13]. Lisäksi kategoriolla on oleellista merkitystä tarkasteltaessa yksityisautoilun päästöjä ja niiden vähentämistä.

Hybridimallissa joukkoliikenteen päästöt on laskettu käyttäen Liikenne- ja viestintäministeriön Henkilöliikennetutkimuksen 2004-2005 pohjalta laskettua jakoa eri joukkoliikennevälineisiin, ja käyttämällä näille ENVIMAT-tutkimuksen antamia päästökertoimia [8, 13]. Myös joukkoliikennevälineiden osalta aineistosta karsittiin yleisen käytännön mukaisesti pois yli 100 km päivittäissuoritteet.

3.3 Hiilijohtamisen mahdollisuuksien skenaariotarkastelu

Tutkimuksen viimeisessä vaiheessa rakennettiin neljän laajemman teeman ympärille kymmenen hiilijohtamisen mahdollisuuksia tarkastelevaa skenaariota. Skenaariot auttavat sekä kohdentamaan toimenpiteitä aiempaa tehokkaammin että tukevat päästöjen vähentämiseen tähtävien tavoitteiden asettamista. Hiilijohtamisen skenaariot rakennettiin seuraavien teemojen ympärille:

1. Yksityisautoilun vähentäminen ja joukkoliikenteen käyttöasteen nostaminen
2. Uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen
3. Tiiviimpi rakentaminen, kasvu tiivistämällä
4. Matalaenergiarakentaminen.

4 Tulokset

Tutkimuksessa toteutetun mallinnuksen mukaan erot keskimääräisten asukkaiden hiilikulutuksessa eri alueilla ovat suhteellisen pieniä. Hiilijalanjälkien rakenteet kuitenkin poikkeavat merkittävämmiin toisistaan. Osa poikkeamasta liittyy elintasoeroihin, mutta suuren osan selittävät alueiden kulutusrakenteisiin liittyvät tekijät. Seuraavassa keskitytään erityisesti analysoimaan hiilikulutuksen rakenteita ja aluerakenteista johtuvia eroja. Luvussa 4.2 tarkastellaan elintasoeroja kulutuksen hiili-intensiteettien kautta.

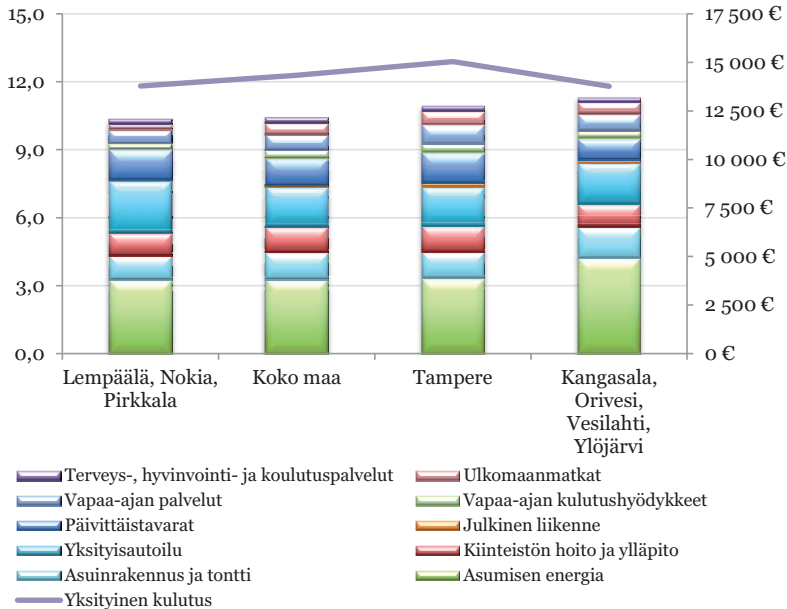
4.1 Hiilikulutus Tampereella ja lähialueilla

4.1.1 Keskimääräiset hiilijalanjäljet kulutuskategorioittain

Kolmesta tutkitusta aluekokonaisuudesta maaseutumaisimman, Kangasalan, Oriveden, Vesilahden ja Ylöjärven muodostaman nelikon keskimääräinen asukas näyttäisi aiheuttavan hieman Tampereen kaupunkia ja kaupunkimaisia ympäryskuntia, Lempäälää, Nokiaa ja Pirkkalaa suuremman hiilijalanjäljen. Kaupunkimaisia ympäryskuntia lukuun ottamatta tutkimusalueiden asukkaiden keskimääräiset hiilijalanjäljet ovat lisäksi hiukan suuremmat kuin vertailukohteeksi otetun Suomen keskimääräisen kuluttajan. Erot ovat kuitenkin suhteellisen pieniä, ja saattavat selittyä käytössä olevan lähtöaineiston satunnaisvaihteluiden kautta. Laskentamallin mukaan maaseutumaisten ympäryskuntien keskimääräisen kuluttajan vuotuinen hiilijalanjälki on 11,3 tonnia CO₂-ekvivalenttia (t CO₂-ekv.), kaupunkimaisten ympäryskuntien 10,4 ja Tampereen 10,9 t CO₂-ekv. Suomen keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjäljen ollessa 10,4 t CO₂-ekv..

Tulosta tarkasteltaessa kannattaa kuitenkin huomioida, että myös kulutusvolyymit poikkeavat jossain määrin toisistaan. Huolimatta Tampereella asuvan kuluttajan 10 % korkeammasta yksityisen kulutuksen tasosta hiilijalanjälki asettuu samaan tasoon kaupunkimaisten ympäryskuntien kanssa ja on jonkin verran pienempi kuin maaseutumaisten ympäryskuntien asukkaan hiilijalanjälki. Kuvio 1 näyttää sekä aluekohtaiset hiilijalanjäljet että yksityisen kulutuksen volyymin.

Kuviota vastaavat yksityisen kulutuksen luvut ovat vuositasolla per capita Tampereella n. 15.000 €, sekä kaupunkimaisissa että maaseutumaisissa ympäryskunnissa 13.800 € ja Suomessa keskimäärin 14.300 €.



Kuvio 1: Alueelliset hiilijalanjäljet (t CO₂-ekv.) kulutuskategorioidittain sekä yksityinen kulutus (€)

Kuviosta nähdään, miten asumisen energiaan (sähkö ja lämpö, sisältäen taloyhtiöiden käyttämän energian), muuhun asumiseen ja rakennukseen sekä yksityisautoiluun liittyvät päästöt hallitsevat hiilijalanjälkiä (neljä ensimmäistä kategoriata). Nämä ovat myös vahvasti aluerakenteisiin ja aluekehityksestä vastaavien tahojen toimenpiteisiin liittyviä tekijöitä. Päivittäisen kulutuksen, johon kuuluvat sekä päivittäistavarat että asumisen ulkopuoliset palvelut, osuus on mallin mukaan maksimissaan kolmannes hiilijalanjäljestä.

Energiankulutus riippuu useiden tutkimusten mukaan merkittävästi rakennuskannasta sekä asumisen tiivyydestä [15, 16]. Toteutetussa mallinnuksessa kaupunkialueiden kerrostalovaltainen ja tiiviimpi rakennuskanta [14] näkyy tuloksissa pienempinä päästöinä. Voimakkaimmin asumismuotoon liittyvät erot näkyvät Tampereen ja maaseutumaisien ympäryskuntien luvuissa. Kun Tampereella asumisen energiankulutukseen liittyvä hiilijalanjälki on 3,3 t CO₂-ekv., maaseutumaisissa ympäryskunnissa vastaava luku on 4,2 t CO₂-ekv. johtuen erityisesti väljemmästä omakotitalovaltaisesta asumisesta. Lempäälä, Nokia ja Pirkkala sijoittuvat Tampereen tasolle tiiviimpinä ja kerrostalovaltaisempina ympäryskuntina.

Myös liikenteen osalta aluetyyppi vaikuttaa merkittävästi päästöihin. Lyhyemmät matkat ja tehokkaammat julkisen liikenteen järjestelmät näkyvät erityisesti Tampereella merkittävästi pienempinä päästöinä. Sen sijaan Lempäälän, Nokian ja Pirkkalan muodostaman kokonaisuuden keskimääräisen kuluttajan osalta junayhteyden olemassaolo ei näy yksityisautoilun pienempinä päästöinä, vaan alueen päästöt autoilusta per capita -tasolla ovat tutkituista alueista suurimmat. Yksityisautoiluun liittyvä hiilikulutus on mallin mukaan Tampereella 1,7 t CO₂-ekv., maaseutumaisissa ympäryskunnissa 1,8 t CO₂-ekv. ja kaupunkimaisissa kehyskunnissa 2,3 t CO₂-ekv..

Joukkoliikenteen merkitys on absoluuttisten päästöjen määrässä mitattuna melko pieni kaikilla tutkimusalueilla. Joukkoliikenne tarjoaa kuitenkin vaihtoehdon yksityisautoilulle, ja siksi näiden kahden alueen päästöjä on syytä tarkastella myös yhdessä. Tämän tutkimuksen alueista Tampereen ja maaseutumaisten ympäryskuntien keskimääräisen kuluttajan julkisen liikenteen käytöstä aiheutuvat hiilipäästöt ovat hiukan vajaat 0,2 t CO₂-ekv., kun taas kaupunkimaisemmissa ympäryskunnissa joukkoliikennettä käytetään ainoastaan vajaan 0,1 hiilitonnin edestä. Tulos siis vastaa hyvin edellä käsiteltyä yksityisautoilun tilannetta tutkimusalueilla.

4.1.2 Alueellisten lämpölaitosten päästöprofiilit

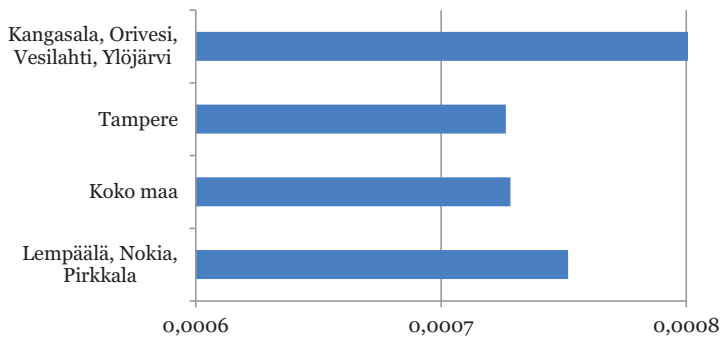
Edellisessä tarkastelussa kaikille tutkimusalueille oli käytetty energian osalta Tampereen Sähkölaitoksen päästöprofileja sähkön ja lämmön osalta. Ympäryskunnissa toimii kuitenkin alueellisia lämpölaitoksia siten, että Kangasalan kunnan kaukolämmön tuottaa Kangasalan Lämpö Oy, Lempäälässä Lempäälän Lämpö Oy, Nokialla Nokian Lämpövoima Oy sekä Fortum Oyj ja Orivedellä hyvin pienessä mittakaavassa Oriveden Lämpö Oy. Näiden päästöt ovat Nokian Lämpövoima Oy:n laitosta lukuun ottamatta vain noin 200 g/kWh [14, 36, 37], eli neljänneksen alhaisemmat kuin Tampereen Sähkölaitoksen. Nokian Lämpövoima tuottaa sekä sähköä että lämpöä siten, että ominaispäästöt ovat noin 250 g/kWh [14, 36, 37], ja siten vain hieman alle Tampereen Sähkölaitoksen päästöjen.

Kun mallia muutettiin siten, että ympäryskunnille käytettiin alueellisten lämpölaitosten päästöprofileja, laski keskimääräinen hiilikulutus maaseutumaisissa ympäryskunnissa lähes 0,5 tonnilla 10,8 tonniin hiilidioksidiekvivalenttia. Tässä tarkastelussa kaupunkimaisten ympäryskuntien keskimääräisen asukkaan hiilikulutus putoaa jo jonkin verran Suomen keskiarvon alapuolelle, 10,2 tonniin.

4.2 Kulutuksen alueelliset hiili-intensiteetit

Hiukan uutta näkökulmaa hiilikulutukseen saadaan, kun hiilijalanjäljet suhteutetaan yksityisen kulutuksen volyymiin. Nämä intensiteetit kertovat,

että hiilikulutus korreloi suhteellisen vahvasti kulutusvolyymin kanssa, mutta alueelliset ja kulutusrakenteelliset tekijät vaikuttavat myös merkittävästi. Tämä antaa ymmärtää, ettei elintason nousu välttämättä tarkoita automaattisesti hiilijalanjäljen kasvua. Tässä tutkimuksessa mukana olleiden alueiden tapauksessa keskimääräisen tamperelaisen kuluttajan käyttämä euro aiheuttaa runsaat 10 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin maaseutumaisten ympäryskuntien asukkaan käyttämä euro. Lisäksi intensiteeteistä nähdään, että kaikkien ympäryskuntien asukkaiden kulutuksen hiili-intensiteetti on korkeampi kuin Suomessa keskimäärin, vaikka hiilijalanjäljet ovatkin samaa luokkaa. Kuvio 2 havainnollistaa eroja alueellisissa kulutuksen hiili-intensiteeteissä.



Kuvio 2: Aluekohtaiset kulutuksen suhteelliset hiili-intensiteetit.

Erot hiili-intensiteeteissä syntyvät valtaosaltaan suuremman osuuden kulutuksesta kohdentuessa elintason nousun myötä pienempien intensiteettien kohteisiin. Korkeimmat hiili-intensiteetit löytyvät välttämättömyshyödykkeistä, kuten asumisesta ja liikkumisesta. Elintason noustessa suurempi osuus kulutuksesta kohdentuu vapaa-ajan hyödykkeisiin ja palveluihin sekä ylellisyshyödykkeisiin, jolloin keskimääräinen hiili-intensiteetti laskee.

5 Hiilijohtamisen mahdollisuudet

Kaupunkien merkitys ilmastonmuutoksen hillinnässä on huomattava. Lukuisa joukko kaupunkeja onkin jo asettanut tavoitteita päästöjen kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamisesta tulevaisuudessa, jotkut jopa hyvinkin kunnianhimoisiin leikkauksiin pyrkien. Esimerkiksi Lontoossa on asetettu tavoitteeksi kaupungin hiilijalanjäljen leikkaaminen 60 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2025 mennessä [31]. Aluekohtaisia tavoitteita matalahiilyhteisöille tai jopa hiilettömille yhteisöille on asetettu Suomessakin esimerkiksi Helsingin Jätkäsaaren ja Porvoon Skaftskärren aluekehityskohteissa [33]. Tampereella tavoitteeksi on asetettu kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 30 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä [50].

Koko EU:n tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä [24]. Myös huomattavasti korkeampia vähennysvaatimuksia on esitetty tälläkin tasolla, ja sopimusneuvottelut laajasta kansainvälisestä sopimuksesta Kioton sopimuksen jatkoksi ovat käynnissä.

Tavoitteiden toteutusmahdollisuuksista ja erityisesti tehokkaimmista toteutustavoista on toistaiseksi kuitenkin suhteellisen vähän luotettavaa tutkimustietoa. Tässä raportissa esitetyn mallin avulla voidaan tarkastella hiilijohtamisen potentiaalia ja saada tietoa eri toimenpitein saavutettavissa olevista päästöjen leikkauksista. Seuraavassa mallin avulla tarkastellaan hiilijohtamisen mahdollisuuksia Tampereen alueella neljän laajemman skenaariokokonaisuuden kautta. Skenaariokokonaisuudet ovat

1. Yksityisautoilun vähentäminen ja joukkoliikenteen käyttöasteen nostaminen
2. Uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen
3. Kaupunkirakenteen tiivistäminen
4. Matalaenergiarakentaminen.

Näiden skenaarioiden pohjalta arvioidaan lopuksi Tampereen alueen lähitulevaisuuden kehitysmahdollisuuksia hiilijohtamisen näkökulmasta.

5.1 Yksityisautoilun vähentäminen ja joukkoliikenteen käyttöasteen nostaminen

5.1.1 Lähtötilanne

Valinta yksityisautoilun ja joukkoliikenteen käytön välillä vaikuttaa merkittävästi kuluttajan hiilijalanjälkeen. Se, kuinka houkuttevalta joukkoliikenteen käyttö vaikuttaa kuluttajalle, riippuu vahvasti tarjolla olevasta julkisen liikenteen infrastruktuurista. Tutkimalla näiden infrastruktuuriratkaisuiden merkitystä kuluttajan liikkumismuotovalinnoissa voidaan tarkastella liikenteen päästöihin kohdistuvia vaikutusmahdollisuuksia. Seuraavassa keskitytään ensin nimenomaan yksityisautoilun ja joukkoliikenteen tarkasteluun. Kevyt liikenne huomioidaan ainoastaan, kun sitä tarkastellaan omissa osioissaan.

Tampereella käytetään henkilöautoa noin 80 %:iin kaikista matkoista, kun mittarina käytetään osuutta yksityisautoilun ja joukkoliikenteen yhteenlasketusta matkasuoritteesta. Maaseutumaisissa ympäryskunnissa luku on hiukan suurempi, noin 84 %, ja kaupunkimaisissa ympäryskunnissa korkein, noin 87 % [8]. Tamperelaisen kuluttajan päivittäinen matkasuorite (km/päivä) on kuitenkin alhaisempi kuin ympäryskunnissa asuvan kuluttajan keskimäärin. Sama nähdään myös edellä tuloksissa esitetyistä yksityisautoilun hiilidioksidipäästöistä. Näissä erot vielä tasoittuvat, koska Yksityisautoilu-kategorian päästöihin kuuluvat myös mm. ajoneuvojen hankinnat (tuotannon ja jakelun päästöt), joihin Tampereella on käytetty ympäryskuntia enemmän rahaa tutkimusvuonna.

Joukkoliikenteen kulkumuoto-osuus kaikesta liikkumisesta (kevyt liikenne huomioiden) on Tampereella vajaat 15 %. Joukkoliikennettä hallitsee linja-autoilu [8]. Ainoastaan Tampereella junaliikenteellä on huomattava osuus joukkoliikenteen muotona (24 % joukkoliikennesuoritteesta). Merkittävä huomio on se, ettei hiilikulutuksen suhteen tehokkaimmalla joukkoliikennemuodolla, junailulla, ole merkittävää osuutta esimerkiksi Lempäälän ja Nokian kuluttajien liikkumisessa.

Lisäksi voidaan tarkastella vielä hiilikulutuksen kannalta tehokkainta kulkuvaihtoehtoa, eli polkupyöräilyä kulkumuotona. TASE 2025 Nykytilaraportin mukaan Tampereella päivittäisistä matkoista 4 % tapahtuu polkupyörällä ja ympäryskunnissa 3 % [45].

5.1.2 Tulevaisuus

Liikkumisen näkökulmasta merkittävin hiilikulutukseen vaikuttava yksittäinen tekijä on yksityisautoilun määrä. Yksityisautoilulle puolestaan vaihtoehtoina ovat tarjolla olevat joukkoliikennemuodot sekä liikkuminen pyöräillen tai jalan. Näin liikenneinfrastruktuurin kehittämiseen hiilijohtamisen näkökulmasta saadaan kolme eri näkökulmaa.

Ensimmäinen näistä on tarkastella joukkoliikennetarjonnan kehittämällä saavutettavaa liikkumisen siirtymistä yksityisautoilusta joukkoliikenteeseen. Toisaalta voidaan tarkastella joukkoliikenteen kuormitusasteen nostamisen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Kolmas näkökulma löytyy kevyen liikenteen, erityisesti polkupyöräilyn ja kävelyn, määrän nostamisen tarkastelusta hiilikulutuksen näkökulmasta.

Joukkoliikennejärjestelmän kehittäminen

Aloitetaan tarkastelu Tampereen sisäisen joukkoliikennejärjestelmän kehittämisen potentiaalisista hiilivaikutuksista. Tampereen kaupunkistrategiassa on asetettu tavoitteeksi joukkoliikenteen kulkumuoto-osuuden nostaminen vähintään 18 % tasolle vuoteen 2020 mennessä [51]. Tämä tarkoittaisi noin 3 % muutosta suhteessa nykytilanteeseen.

Mikäli liikkumista joukkoliikennevälineillä saadaan lisättyä, on suhteellisen realistista olettaa, että kilometrit joukkoliikennevälineillä ovat pois yksityisautoilusta. Tämä vaikuttaa erityisesti polttoaineen kulutukseen yksityisautoilussa, jonkin verran ajoneuvojen huoltotarpeeseen, mutta todennäköisesti suhteellisen vähän ajoneuvojen hankintaan. Oletetaan tässä tarkastelussa, että ajoneuvoja joudutaan joka tapauksessa hankkimaan aiempaa vastaava määrä joukkoliikenteen käytön lisääntymisestä huolimatta. Siirtymä joukkoliikenteen käyttöön aiheuttaa vastaavasti lisää kustannuksia ja siten lisää hiilidioksidipäästöjä. Mikäli oletetaan kuluttajalla yksityisautoilusta säästyvän rahamäärän siirtyvän joukkoliikenteen käyttöön kustannuksiin, saadaan yksityisautoilun 1-3 prosentin vähenemiselle taulukon 2 hiilivaikutukset:

	hiilikulutus		
	lähtötilanteessa	1 % muutos	3 % muutos
Yksityisautoilu	1,74	-0,01	-0,03
Joukkoliikenne	0,17	+0,005	+0,015
Liikkuminen yhteensä	1,93	-0,005	-0,015

Taulukko 2: Yksityisautoilun vähenemisen elinkaariset hiilivaikutukset, t CO₂-ekv/a.

Taulukosta voidaan lukea, että yksityisautoilun väheneminen yhdellä prosenttiyksiköllä ja vastaavan liikkumisen siirtyminen joukkoliikenteen puolelle vähentää keskimääräisen asukkaan hiilikulutusta 0,01 tonnilla hiilidioksidiekvivalenttia. Edes kaupunkistrategian mukaisella 3 % kulkumuoto-osuuden kohottamisella ei saavuteta kuin 0,015 tonnin hiilikulutuksen väheneminen per capita -tasolla. Voidaan siis todeta, ettei pelkästään joukkoliikenteen tarjonnan parantamisella ja sitä kautta saavutettavalla yksityisautoilun vähenemisellä ole saavutettavissa kovin

merkittäviä muutoksia kuluttajan hiilijalanjäljen tasolla, kun oletetaan kuormitusasteiden pysyvän muuttumattomina.

Kuormitusasteen kohottaminen ilman infrastruktuuri-investointeja

Toinen näkökulma hiilijohtamisen mahdollisuuksiin saadaan, kun tarkastellaan kuormitusasteiden nostamisen vaikutusta olemassa olevalla infrastruktuurilla. Tässä osiossa tällaista tilannetta tarkastellaan liikkumisen suorien eri kulkumuotoihin liittyvien päästöjen kautta. Oletuksena on, ettei liikkumisjakauman muuttuminen vaikuta ajoneuvojen hankintoihin tai muihin liikkumisen elinkaaripäästöihin. Vaikka tarkastelu on hieman epärealistinen, koska jonkinlainen elinkaarivaikutus on aina olemassa, antaa se hyvän kuvan kuormitusasteiden merkityksestä.

Keskimääräinen tamperelainen kuluttaja liikkuu henkilöautolla päivässä runsaat 30 km, linja-autolla vajaan kuusi ja junalla vajaan kaksi kilometriä [8]. Mikäli jakaumaa saadaan muutettua vahvemmin joukkoliikennepainotteiseksi, näkyy vaikutus erityisesti kaupungin sisäisessä liikenteessä. Tällöin kilometrikohtaiset päästöt nykyisillä keskimääräisillä kuormitusasteilla ovat

	henkilöauto	linja-auto	juna
g/hkm	152	62	22

Luvut ovat keskimääräisillä täyttöasteilla keskimääräiselle henkilöautolle, dieselkäyttöiselle linja-autolle sekä sähkökäyttöiselle lähijunalle [22]. Luvuissa ovat mukana vain liikkumisesta syntyvät päästöt tuotanto- ja toimitusketjujen jäädessä ulkopuolelle.

Tältä pohjalta voidaan puolestaan laskea hiilivaikutukset edellistä tarkastelua vastaavalle yhden prosentin yksityisautoilun siirtymiselle joukkoliikenteen käyttöön siten, että ainoastaan kuormitusaste kohoaa. Taulukkoon 3 on laskettu vaikutukset vuositasolla, kun päivittäisestä liikkumisesta yksi prosentti yksityisautoilusta siirtyy julkiseen liikenteeseen.

	hiilikulutus	1 % muutos
	lähtötilanteessa	
Yksityisautoilu	1,74	-0,019
Linja-auto	0,13	+0,0013
Lähijuna	0,04	+0,00013

Taulukko 3: Päivittäisen liikkumisen 1 % muutos yksityisautoilusta julkiseen liikenteeseen, t CO₂-ekv/a.

Taulukosta nähdään, että julkinen liikenne on huomattavasti yksityisautoilua hiilitehokkaampaa, kun julkisen liikenteen lisäys tapahtuu kuormitusasteen nousun kautta kapasiteettia lisäämättä tai ilman

investointeja infrastruktuurin kehittämiseen. Erityisesti lähijunaliikenteen lisääminen vähentäisi merkittävästi liikkumiseen liittyvää hiilikulutusta.

Kevyen liikenteen kehittäminen

Kevyen liikenteen vaihtoehtoista erityisesti pyöräilyn määrän lisääminen on kaupunkirakenteita kehittämällä mahdollista, joten seuraavassa keskitytään nimenomaan pyöräilyn tarkasteluun liikkumisvaihtoehtona. Tarkasteluissa jätetään huomiotta polkupyörien valmistukseen, toimitusketjuihin ja huoltoon liittyvät hiilidioksidipäästöt, koska nämä pysyvät pyöräilyn määrän lisääntymisestä huolimatta hyvin vähäpätöisessä osassa kuluttajan hiilijalanjäljessä.

Edellä kerrotuilla oletuksilla saadaan aiemmissa tarkasteluissa käytetylle yhden prosentin päivittäisen yksityisautoilun vähenemiselle taulukossa 4 esitetyt vaikutukset.

	hiilikulutus	
	lähtötilanteessa	1 % muutos
Yksityisautoilu	1,74	-0,01
Pyöräily	0,00	0,00
Yhteensä	1,74	-0,01

Taulukko 4: Hiilivaikutus (t CO₂-ekv.), kun päivittäinen yksityisautoilu vähenee 1 %:lla pyöräilyn vastaavasti lisääntyessä.

5.1.3 Yhteenveto

Edellä esitetyt tarkastelut kertovat, että julkista liikennettä kehittämällä voidaan vaikuttaa vai rajallisesti kohdealueen hiilikulutukseen. Julkinen liikenne on kaikki elinkaaren päästöt huomioiden yksityisautoilua hiilitehokkaampaa, mutta erityisesti kuormitusasteiden nostamisella saavutetaan merkittävämpiä hiilivaikutuksia. Lisäksi voidaan todeta, että raideyhteyksiin perustuvalla julkisen liikenteen järjestelmällä päästään vielä huomattavasti linja-autopohjaista joukkoliikennettä alhaisempaan hiilikulutukseen.

Joukkoliikenteen kehittämisen avulla saavutettavissa olevia kokonaisvaikutuksia voidaan arvioida vertaamalla Tampereen nykytilannetta pääkaupunkiseudun tilanteeseen. Esimerkiksi Helsingissä, jossa on tarjolla sekä metro- ja lähijunayhteyksiä että raitiovaunuyhteyksiä joukkoliikennemuotoina, kaikesta liikkumisesta noin 40 % tapahtuu julkisilla kulkuneuvoilla [17], ja tästä 56 % junalla tai metrolla [8]. Tampereella ainoastaan alle 15 % liikkumisesta tapahtuu joukkoliikennettä käyttäen. Tästä puolestaan noin kolme neljäsosaa tapahtuu linja-autolla.

Pääkaupunkiseutuun verraten voidaan vielä mainita, että lähijunayhteydellä näyttäisi olevan merkittävä vaikutus joukkoliikenteen houkuttelevuuteen liikkumismuotona. Pääkaupunkiseudun

ympäryskunnista niissä, joihin on lähijunayhteys, joukkoliikenteen käyttöaste on merkittävästi muita korkeammalla tasolla [8].

5.2 Uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen

5.2.1 Lähtötilanne

Energiantuotannon aiheuttamat päästöt dominoivat kuluttajan hiilijalanjälkeä. Kuten edellä esitettiin, asumisen energia yksinään muodostaa noin kolmanneksen kuluttajan hiilijalanjäljestä. Lisäksi energiantuotantoon liittyvät päästöt vaikuttavat merkittävästi kaikkien hyödykkeiden kulutuksen aiheuttamiin päästöihin hyödykkeiden tuotantoprosessien kautta. Puhtaampi energiantuotanto vaikuttaa siten hiilikulutukseen merkittävästi sekä suoraan että välillisesti kyseisellä energialla tuotettujen hyödykkeiden kautta.

Tampereen Sähkölaitoksen tuotanto perustuu vahvasti uusiutumattomiin energialähteisiin. Merkittävin raaka-aine on maakaasu, jonka osuus on noin 80 %. Puun osuus vuonna 2008 oli vajaat 4 % [46]. Energiantuotannon ominaispäästöt vuonna 2007 olivat 266 g CO₂-ekv./kWh sekä sähkölle että lämmölle, mikä on lähellä Suomen keskiarvoa [20]. Päästöissä ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia 2000-luvun aikana. Tavoitteena on kuitenkin nostaa uusiutuvien, hiilitehokkaiden, polttoaineiden osuutta merkittävästi tulevaisuudessa.

5.2.2 Tulevaisuus

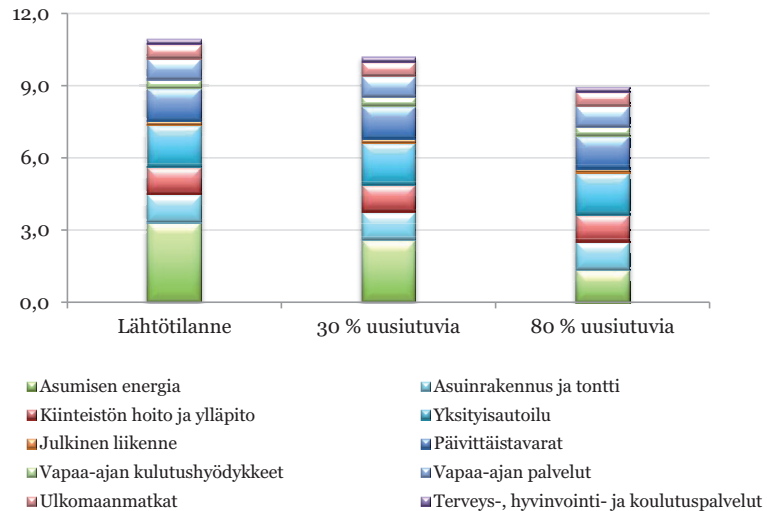
Uusiutuvien energialähteiden osuuden nostamisen vaikutus kuluttajan hiilijalanjälkeen on merkittävä. Mikään energia ei kuitenkaan ole nollapäästöistä, kun huomioidaan elinkaarinäkökulma, eli erityisesti tuotanto- ja jakeluinfrastruktuurin rakentaminen. Siksi seuraavissa tarkasteluissa mahdollisimman realistisen kuvan saamiseksi oletetaan infrastruktuurin rakentamiseen ja ylläpitoon liittyvien päästöjen vastaavan keskimääräisen energiantuotannon tuotantovaihetta edeltävien elinkaarivaiheiden päästöjä.

Taulukossa 5 on tarkasteltu kahta vaihtoehtoa, joista ensimmäisessä uusiutuvien energialähteiden osuus on nostettu 30 %:iin tuotannosta, ja toisessa 80 %:iin. Vaikutuksena kuluttajan hiilijalanjälkeen on huomioitu ainoastaan asumiseen liittyvän sähkö- ja lämpöenergian kulutuksen kautta syntyvät päästöt. Puhtaampaan hyödykkeiden tuotantoon liittyvät vaikutukset on jätetty huomiotta, koska on vaikeaa määritellä, mikä osa tuotannosta liittyy alueelliseen energiantuotantoon.

	hiilikulutus		
	lähtötilanteessa	30 % uusiutuvia	80 % uusiutuvia
Asumisen energia, CO ₂	3,32	-0,74	-1,98
Hiilijalanjälki yhteensä	10,9	10,2	9,0

Taulukko 5: Uusiutuvien energialähteiden osuuden lisäämisen vaikutus tamperelaisen kuluttajan hiilijalanjälkeen, t CO₂-ekv.

Uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 30 %:n tasolle leikkaisi vajaat 10 % pois keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjäljestä. Osuuden kasvattaminen 80 %:n tasolle nostaisi vaikutuksen lähes 20 %:iin. Kuvio 3 havainnollistaa tilannetta.



Kuvio 3: Keskimääräisen asukkaan hiilikulutuksen kehitys, kun uusiutuvien energiamuotojen osuus nostetaan ensin 30 % tasolle ja sitten 80 % tasolle, t CO₂-ekv./a.

Energiantuotannon päästöjen merkitys on oleellinen matalampaan hiilikulutukseen pyrittäessä. Erityisesti, kun muistetaan, että puhtaammalla tuotannolla saadaan suoran vaikutuksen lisäksi kerrannaisvaikutuksia, kun kulutuksen kautta syntyvät päästöt vähenevät kaikkialla tuotanto- ja jakeluketjuissa. Vaikka merkittävä osa tuotanto- ja jakeluvaiheiden energiankäytöstä kohdentuu ulkomaankaupan kautta eri puolille maailmaa, on tuotantoteknologian kehittäminen merkittävin vaikutuskeino tavoiteltaessa hiilikulutuksen tehokasta hillitsemistä. Energiantuotantoon liittyviä ratkaisuja voidaan pitää myös sikäli merkittävimpinä, että puhtaan energian tilanteessa kulutuksella ei ole enää ilmaston kannalta oleellista merkitystä, vaan voidaan siirtyä tarkastelemaan muita kulutukseen liittyviä ympäristönäkökohtia.

Oleellista on myös huomioida, että kuluttajan omat vaikutusmahdollisuudet energiankulutuksesta syntyviin hiilidioksidipäästöihin ovat hyvin rajalliset. Vaikka kuluttaja voi itse valita käyttöönsä tuotantovaiheessa päästötöntä uusiutuvaa sähköä, ei hän voi vaikuttaa kuin oman kotitaloussähkönsä osuuteen kaikista energiankulutukseen liittyvistä päästöistä. Näin esimerkiksi keskimääräinen kaukolämpiteisessä kerrostalossa asuva kuluttaja voi

todellisuudessa omilla valinnoillaan leikata vain noin 15 % asumisen energiankulutukseen liittyvistä päästöistä.

5.3 Kaupunkirakenteen tiivistäminen

5.3.1 Lähtötilanne

Liikenteen nykytila Tampereen seudulla -raportin mukaan Tampereen kaupunkiseutu on yksi Suomen suurimmista kasvukeskuksista. Alueen asukkaiden määrä on kasvanut vajaasta 250.000 asukkaasta 1980 noin 316.000 asukkaaseen vuonna 2005. Asukasmäärän on ennakoitu kasvavan noin 380 000 asukkaaseen vuoteen 2030 mennessä. [45]

Kasvun seurauksena kaupunkialue laajenee ilman muunlaisen kehityksen pyrkivää toimintaa. Kontrollioimaton kasvu vaikuttaa erityisesti liikkumisen aiheuttamiin hiilipäästöihin, kun välimatkat kasvavat ja julkisen liikenteen yhteydet heikkenevät. Muun asumiseen liittyvän hiilikulutuksen osalta paikka ei suoranaisesti vaikuta päästöihin. Paikallakin saattaa kuitenkin olla sikäli merkitystä, että kauemmas keskustoista rakennetaan suurempia taloja, jolloin hiilikulutus pyrkii kasvamaan asumisväljyyden mukana.

Kaupunkirakenteen tiivistämisen vaikutusta hiilikulutukseen voidaan näin tarkastella kahdesta näkökulmasta. Seuraavassa keskitytään ensin näistä liikkumiseen liittyvään vaikutukseen, ja tämän jälkeen asumisväljyyteen, eli asuineliöiden määrään, liittyvää vaikutusta.

5.3.2 Tulevaisuus

Kaupunkialueen laajeneminen merkitsee väistämättä liikkumisen lisääntymistä. Laajeneminen lisää myös helposti erityisesti yksityisautoilun määrää, koska julkisen liikenteen vaihtoehdot saattavat olla heikkoja. Tarkastellaan näin ensin tilannetta, jossa keskimääräisen tamperelaisen kuluttajan yksityisautolla tapahtuva päivittäinen liikkuminen kasvaa asuinpaikan vaikutuksesta 10 % lähtötilanteen noin 30 kilometrin päivittäissuoritteesta.

Alkutilanteessa hänen hiilikulutuksensa on 10,9 t CO₂-ekv., josta 1,74 t syntyy yksityisautoilusta. Mikäli ajamisen lisääntymisen oletetaan vaikuttavan vain polttoaineen kulutuksesta ja ajoneuvon huollosta aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin, nousee vuotuinen hiilikulutus yksityisautoilun osalta 1,84 tonniin ja kokonaisuudessaan siten 11,0 tonniin. Muutos on siis suhteellisen pieni suhteessa kuluttajan koko hiilijalanjälkeen.

Ajokilometriä kasvulla on todennäköisesti kuitenkin myös muita hiilivaikutuksia. Mikäli oletetaan ajokilometriä kasvun vaikuttavan samassa suhteessa myös ajoneuvojen hankintoihin sekä ajoneuvoihin

liittyviin tarvikehankintoihin, nousee kokonaisvaikutus 0,2 tonniin hiilidioksidiekvivalenttia ja hiilikulutus 11,1 tonniin vuositasolla.

Toinen kaupunkirakenteen tiiviyteen liittyvä näkökulma on asumisväljyys. Kuten edellä todettiin, asumisväljyys pyrkii kasvamaan siirryttäessä kauemmas keskusta-alueilta. Tämä kehitys näkyy myös taulukossa 1, joka kuvaa tutkimusalueiden rakenteita.

Mikäli edellä mainittuun asuinpaikan vaihtumisesta johtuvaan yksityisautoilun lisääntymiseen lisätään asumisväljyyden kasvu vastaavasti 10 %:lla, kasvaa laajentumisen vaikutus hiilikulutukseen entisestään. 10 % kasvu asumisväljyydessä vastaa karkeasti Tampereen ja maaseutumaisten kehyskuntien välillä vallitsevaa eroa keskimääräisen kuluttajan asuinneliöissä. Neliömäärä vaikuttaa käytännössä lähes kaikkiin asumisen hiilidioksidipäästöjä aiheuttaviin toimintoihin: energiaan, veden kulutukseen, jätteisiin, huoltotarpeeseen, kalusteisiin jne.. Mikäli oletetaan, että vaikutus on lineaarinen suhteessa asuinneliöihin, saadaan 10 % asumisväljyyden kasvulle kokonaisvaikutukseksi 0,58 t CO₂-ekv., ja hiilikulutukseksi 11,7 tonnia, kun lisätään tämä edellä tarkasteltuun kasvaneen yksityisautoilun tilanteeseen. Taulukko 6 esittää yhteenvedon edellisistä rakenteiden tiiviyteen liittyvistä tarkasteluista.

	hiilikulutus		
	lähtötilanteessa	10 % kasvu	yhteensä
Yksityisautoilu	1,74	+0,18	1,92
Asuminen	5,69	+0,58	6,38
Hiilijalanjälki yhteensä	10,9	+0,76	11,7

Taulukko 6: Kaupunkirakenteen väljyyden kasvun vaikutus hiilikulutukseen, t CO₂-ekv.

5.4 Matalaenergiarakentaminen

5.4.1 Lähtötilanne

Tampereen asuntokannasta hiukan alle 50 % on rakennettu vuosina 1950-1980 [47]. Helsinkiä koskevan selvityksen mukaan juuri tämän ikäiset rakennukset (kaukolämmitetyt kerrostalot) kuluttavat merkittävästi enemmän lämmitysenergiaa kuin muut 1900-luvulla rakennetut rakennukset [48]. Vastaavan tilanteen voidaan olettaa koskevan myös Tampereen rakennuskantaa.

Rakennusmääräykset ovat kiristyneet energian osalta 1980-luvulta nykypäivään merkittävästi. Kun vuoden 1985 normien mukainen keskimääräinen asuintalo kulutti energiaa lähes 200 kWh hyötyneliötä kohti, vuonna 2010 vastaava luku on enää 100 kWh/hyötym² [18]. Vuonna 2010 rakentamismääräykset kiristyivät edelleen 30 % lämmitysenergiankulutuksen osalta, ja vuonna 2012 tullaan leikkaamaan vielä 20 % kokonaisenergiankulutuksen osalta [49].

Normien mukaisten kulutustasojen alapuolelle pääsevät matalaenergia-, minimienergia-, passiivi- ja nollaenergiatalot. Näiden kokonaisenergian kulutustasot ovat 75, 40, 25 ja 0 kWh/hyötym². Nähdään siis, että 2012 voimaan astuvin määräyksin uudisrakennusten energiankulutuksen tulisi olla jo hyvin lähellä matalaenergiatasoa.

5.4.2 Tulevaisuus

Tarkastellaan seuraavaksi energiataloudellisempien rakennusten vaikutusta asukkaan hiilikulutukseen vuoden 2012 määräysten mukaisen rakennuksen ja passiivitalon tasoisen rakennuksen kautta. Vuoden 2012 määräysten mukainen rakennus kuluttaa energiaa noin 60 % vähemmän kuin tämän hetken keskimääräinen asuintalo [18, 48], ja passiivitalo vielä lähes 70 % tätä vähemmän [18]. Taulukko 7 esittää näiden tasojen vaikutuksen kyseisten talojen asukkaan hiilikulutukseen.

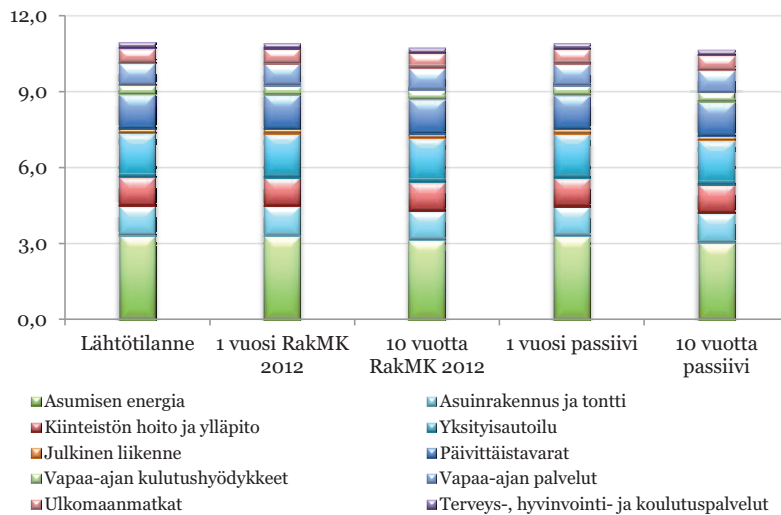
	hiilikulutus	2012 RakMK	passiivitalo
Sähkö	1,05	-0,63	-0,92
Lämpö	2,33	-1,40	-2,05
Hiilijalanjälki yhteensä	10,9	8,9	8,0

Taulukko 7: 2012 rakennusmääräysten mukaisen sekä passiivitalon energiankulutusten vaikutus hiilikulutukseen, t CO₂-ekv.

Taulukosta 7 nähdään, että asumisen energiankulutusta leikkaavilla toimenpiteillä on mahdollista vaikuttaa merkittävästi kuluttajan hiilijalanjälkeen. Passiivitalossa asuminen leikkaisi suoraan yli 25 % hiilikulutuksesta, minkä myötä Ilmastostrategian 2030 mukaisen 30 % päästövähennystavoitteen saavuttaminen näyttäisi todennäköiseltä.

Rakennuskanta uusiutuu kuitenkin hitaasti, joten lyhyellä aikavälillä vaikutukset jäävät merkittävästi pienemmiksi. Jos oletetaan asuntokannan uusiutuvan yhden prosentin vuosivauhtia, putoaa keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjälki 10 vuodessa vain noin 0,2 tonnia 2012 rakennusmääräysten mukaisella rakentamisella ja 0,3 tonnia passiivirakentamisella. Kuvio 4 havainnollistaa rakentamisen hyvin pitkän tähtäimen vaikutusta koko yhteiskunnan tasolla.

Korjausrakentamisen avulla voidaan myös vaikuttaa rakennusten energiatehokkuuteen suhteellisen merkittävästi, joskaan edellä esitetyille energiankulutustasoille ei päästä. Korjausrakentamisen potentiaalinen energiankulutuksen ja siten kasvihuonekaasujen vähentämisessä on arvioitu olevan noin puolet edellä esitetystä vuoden 2012 rakennusmääräysten mukaisesta tasosta [18].



Kuvio 4: Skenaarioissa tarkasteltujen hiilitehokkaampien rakennusten rakentamisen vaikutus kaupungin keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjälkeen, t CO₂-ekv./a.

6 Tulosten arviointi

6.1 Tulosten yleistettävyys ja vertailukelpoisuus

6.1.1 Aiheuttaja- ja kohdentumisperiaatteet

Lähtötietoihin, taustaoletuksiin sekä käytettävään malliin liittyy aina epävarmuuksia, jotka saattavat saada samaa aihepiiriä käsittelevien tutkimusten tulokset eroamaan merkittävästi toisistaan. Hiilijalanjätkilaskelmissä näin voi käyda kahdesta syystä. Mikäli tutkimus toteutetaan tästä tutkimuksesta poikkeavasti ilman elinkaarinäkökulmaa, on ero sekä tulosten että johtopäätösten kannalta merkittävä. Kuten tämäkin tutkimus on osoittanut, aivan valtaosa kuluttajan hiilijalanjäljestä syntyy tuotantoketjuissa välillisenä vaikutuksena. Kuluttajan hiilijalanjäljen tarkastelu on siten mielekäästä ainoastaan elinkaarinäkökulmasta, mikä tosin onkin vakiintunut nykytutkimuksen näkökulmaksi.

Toinen mahdollinen merkittävienkin poikkeamien lähde on tarkastelunäkökulma. Tämä tutkimus on toteutettu aiheuttajaperiaatteen mukaan (hiilikulutuksen näkökulma) jolloin kuluttajan hiilijalanjälkeen lasketaan mukaan kaikki hänen kulutuksensa suoraan tai välillisesti aiheuttamat hiilivaikutukset riippumatta siitä, missä päin maailmaa vaikutus syntyy. Toinen vaihtoehto, jota useissa tutkimuksissa on noudatettu, on kohdentumisperiaate. Tämän periaatteen mukaisesti hiilivaikutukset allokoidaan alueelle, jossa päästöt syntyvät. Tyypillisenä esimerkkinä kohdentumisperiaatteella toimivasta mekanismista voidaan mainita Kioton pöytäkirjan maakohtaiset päästötavoitteet ja edelleen EU:n päästökauppa-mekanismi.

Tämän tutkimuksen kannalta mielekkäitä vertailukohteita ovat siis pääsääntöisesti aiheuttajaperiaatteella lasketut tulokset. Näkökulma on rakennetussa ympäristössä tapahtuvalle hiilitutkimukselle merkittävästi toimivampi lähtökohta kuin kohdentumisperiaate, koska sektori itsessään aiheuttaa hyvin vähän hiilipäästöjä ja laajemmin tarkasteltuna ilmastonmuutos on globaali ongelma, jonka suhteen hiilipäästöjen syntypaikalla ei ole suurta merkitystä. Ilmastonmuutosta vastaan ei voi

myöskään kestävästi taistella siirtämällä saastuttavaa tuotantoa muualle, mihin kohdentumisperiaate antaa mahdollisuuden.

6.1.2 Tulosten asemointi suhteessa aiempiin tutkimuksiin

Vastaavia alueellisia hiilijalanjälkitutkimuksia on toteutettu vähän. Useimmissa tapauksissa hiilijalanjälkiä on laskettu käyttäen kohdentumisperiaatetta, jolloin teollisuuskaupunki (esim. Rauma) tai vilkas kauttakulukaupunki (esim. Mäntsälä) saa väistämättä heikon tuloksen kulutuksen volyymin ja kohdentumisesta riippumatta. Vastaavasti tuotannon siirtäminen muualle näkyy hiilijalanjäljen alenemisena, vaikka toimenpiteellä ei välttämättä ole ilmastonmuutoksen kannalta mitään positiivisia vaikutuksia.

Tämän tutkimuksen tuloksina esitetyt kuluttajan hiilijalanjäljet kuitenkin korreloivat suhteellisen hyvin tarjolla olevien relevanttien tutkimusten tulosten kanssa. Käyttämällämme hybridimallilla laskettuna keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjäljeksi Suomessa saadaan 10,4 t CO₂-ekv.. ENVIMAT-tutkimuksen tulosten pohjalta laskettu vastaava keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjälki vuoden 2005 kulutuksella olisi keskimääräisellä suomalaisella 10,1 t CO₂-ekv. [13]. Huomionarvoista on myös, että molemmissa tutkimuksissa löydettiin samat merkittävimmät tekijät kuluttajan hiilijalanjäljen selittäjiksi.

Tuloksia voidaan validoida myös toista kautta. Tilastokeskuksen kasvihuone-kaasuinventario allokoina per capita -tasolle antaa kuluttajan hiilijalanjäljeksi 15,1 t CO₂-ekv. [14]. Tämä on kuitenkin kohdentumisperiaatteen perusteella syntyvä luku, joten tuonti ja vienti saattavat vaikuttaa lukuun merkittävästi.

6.2 Tuloksiin liittyvät epävarmuudet

Vaikka vertailu aiempien tutkimusten tuloksiin sekä tämän tutkimusten tulosten arviointi antavat ymmärtää käytettyjen laskentamallien tuottavan suhteellisen luotettavaa tietoa, liittyy tuloksiin myös epävarmuuksia, jotka on syytä huomioida. Oleellista on myös aina arvioida tuloksiin liittyviä epävarmuuksia suhteessa tilanteeseen, jossa tuloksia aiotaan hyödyntää. Tässä tutkimuksessa käytetyn menetelmän tuottamien tulosten luotettavuus paranee tarkastelutason laajentuessa. Alueellisten ja kaupunkikohtaisten hiilijalanjälkien, aluerakenteiden sekä kulutuskäyttäytymisen tasoilla luotettavuus on siten merkittävästi parempi kuin tarkempien yksityiskohtien, esimerkiksi yksittäisen rakennuksen tai yksittäisen kuluttajan hiilijalanjälkien tasoilla, mikäli näitä haluttaisiin laskea tämän tutkimuksen laskentamallilla. Seuraavassa analysoidaan merkittävimpiä epävarmuuksia ja niiden mahdollisia vaikutuksia tuloksiin.

6.2.1 Panostiedot

Ensisijaisina panostietoina käytettiin Tilastokeskuksen kulutustutkimusdataa [7]. Kansantalouden tasolla ja vielä laajojen alueiden ja suurimpien kaupunkien tasoilla tätä voidaan pitää erittäin luotettavana tietolähteenä suuresta otoskoota johtuen (9.858 kuluttajaa vuoden 2006 tutkimuksessa ja 14.056 kuluttajaa vuoden 2001 tutkimuksessa). Pienempien kaupunkien kohdalla otoskoot jäävät kuitenkin jo suhteellisen pieniksi, mikä mahdollistaa poikkeavien havaintojen aiheuttaman vääristymän tuloksissa. Tämä koskee sekä merkittäviä poikkeamia otokseen kuuluvien kuluttajien tulotasossa ja siten kulutuksen volyymissa että erityisesti kestokulutushyödykkeisiin kohdistuvaa kulutusta. Tähän ongelmaan liittyvää epävarmuutta saatiin kuitenkin merkittävästi alennettua ympäryskuntien tarkastelemisella kahtena laajempana kokonaisuutena kuntakohtaisen tarkastelun sijaan.

Hiilijalanjäljen näkökulmasta kulutustutkimusdataan liittyy Suomessa merkittävä puute julkisten palveluiden näkökulmasta. Julkiset palvelut muodostavat erityisesti terveydenhuollon ja koulutuksen alueilla merkittävän tekijän, joka ei näy juurikaan yksityistä kulutusta koskevissa selvityksissä. Tässä tutkimuksessa korjaavia toimenpiteitä julkisten palveluiden osalta ei tehty, koska niiden nähtiin vaikuttavan erityisesti tämän tutkimuksen tulosten ja johtopäätösten kannalta vähämerkityksellisiin kategorioihin. ENVIMAT-tutkimus tarjoaa tarkempaa tietoa näiden vaikutuksista kulutuksen hiilidioksidipäästöihin sekä todellisen kulutuksen volyyymiin [13].

Prosessidatan osalta tiedot ovat periaatteessa tarkkoja päästö-, määrä- tai hintatietoja kustakin prosessista. Tässä tutkimuksessa toteutetun kaltaisessa hybridimallinnuksessa epävarmuudet liittyvät erityisesti mahdollisiin vuosikohtaisiin vaihteluihin näissä tiedoissa.

6.2.2 Laskentamallit

Toinen mahdollinen virheiden lähde on tutkimuksessa käytetty laskentamalli. Yhdysvaltain talouteen pohjautuva malli valittiin parhaana mahdollisena kattavuutensa takia, kuten alussa kerrottiin. Vaikka aiemmat tutkimukset tukevat oletusta mallin käyttökelpoisuudesta, muutamia epävarmuuksia on syytä huomioida.

Merkittävimmät epävarmuudet liittyvät inflaatio- ja valuuttakurssivaihteluihin Suomen ja USA:n välillä. Laskentamalli (EIO-LCA) perustuu USA:n vuoden 2002 talouden tietoihin, kun taas tämän tutkimuksen viitevuosi on 2006, ja erityisesti prosessidatan osalta myös muita lähtötietojen vuosia käytettiin. Täysin varmaa tapaa näiden epävarmuuksien poistamiseen ei ole johtuen puutteellisista tilastotiedoista esimerkiksi tuotekohtaisissa hintavaihteluissa. Tässä tutkimuksessa

virhemahdollisuutta pyrittiin minimoimaan käyttämällä Suomen ja USA:n välistä ostovoimapariteettitekijää korjauskertoimena [11]. Vastaavaa menetelmää on käytetty esimerkiksi Weberin ja Matthews'n tuoreessa tutkimuksessa [12].

IO-LCA-mallin yleinen, jo aiemminkin esillä ollut, ongelma on keskiarvoihin pohjautuva laskenta. Malli ei huomioi siten mitenkään poikkeavan tyyppistä rakentamista tai toisaalta vähemmän päästöjä aiheuttavalla autolla liikkumista. Tätä ongelmaa pyrittiin välttämään hybridimallia rakennettaessa valitsemalla prosessitiedoilla tarkennettaviksi sektoreiksi merkittävimmin hiilijalanjälkeen vaikuttavat sektorit.

Panos-tuotos-laskentaan perustuvien sektoreiden osalta käytettyjen rahasummien pohjalta tapahtuva laskenta saattaa lisäksi vääristää ekologisten valintojen merkitystä. Mikäli jonkin tuotteen ekologisempi vaihtoehto maksaa heikompaa vaihtoehtoa enemmän, saattaa malli näyttää ekologisen valinnan lisäävän kuluttajan aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Laajoissa tarkasteluissa näiden virheiden merkitys kuitenkin pienenee.

7 Yhteenveto

Etsittäessä keinoja merkittäviin hiilikulutuksen leikkauksiin huomio tulee kiinnittää laajasti koko kulutukseen, ei vain johonkin tiettyyn yksittäiseen toimintoon. Näin päästään tarkastelemaan niin erilaisten kehitystoimenpiteiden todellisia vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin keskimääräisen kuluttajan vuotuista hiilikulutusta panos-tuotos-pohjaisen hybridi-LCA-mallin avulla. Menetelmän avulla saadaan suhteellisen nopeasti rakennettua kattava kuva kulutuksen hiilivaikutuksista hiukan uudesta näkökulmasta. Hybridimallin avulla kyetään myös nostamaan tarkkuutta suoraan panos-tuotos-laskentaan verrattuna alueellisten erityispiirteiden huomioidussa. Näin mallien avulla on mahdollista tehokkaasti osoittaa merkittävimpiä vaikutusmahdollisuuksia sekä simuloida kehitystoimenpiteiden vaikutuksia. Hybridimalli rakennettiin siten, että panos-tuotos-mallin vahvuus, sen kattavuus, säilytettiin ennallaan, mutta aluekohtaisella prosessidatalla korvattiin merkittävimpiä tai mallinnuksen kannalta oleellisimpia hiilipäästöjen lähteitä. Hybridimallinnuksella tarkennettiin asumisen energiankulutukseen, rakennukseen, kiinteistön hoitoon ja ylläpitoon, yksityisautoiluun sekä julkiseen liikenteeseen liittyviä panos-tuotos-mallin päästötaulukkoita.

Tämän hybridi-elinkaarimallin avulla saatiin luotua teoriassa täydellinen, kaikki toimitus- ja alihankintaketjut huomioiva kuva kulutuksen kasvihuonekaasuvaikutuksista alueelliset erityispiirteet huomioiden. Malli on kuitenkin vain teoriassa täydellinen siksi, että panos-tuotos-mallinnus hyödyntää keskimääräisiä tuotoksia kutakin panosta kohden, ja antaa siten vain karkean kuvan todellisesta tilanteesta.

Tutkimuksessa laskettiin keskimääräiset hiilikulutukset Tampereen sekä Tampereen ympäryskuntien asukkaille. Ympäryskunnista muodostettiin mallinnusta varten kaksi laajempaa kokonaisuutta niiden kaupunkimaisuuden perusteella. Kaupunkimaisemman ympäryskuntien kokonaisuuden muodostivat Lempäälä, Nokia ja Pirkkala. Maaseutumaisemman kokonaisuuden puolestaan muodostivat

tutkimuksessa Kangasala, Orivesi, Vesilahti sekä Ylöjärvi. Kokonaisuudet rakennettiin riittävien otoskokojen saavuttamiseksi tutkimuksessa panostietolähteenä käytetyn Tilastokeskuksen kulutustutkimuksen osalta. Vertailukohteena tutkimuksessa laskettiin myös Suomen keskimääräisen kuluttajan hiilikulutus.

Hiilikulutuksen mallintamisen tavoitteena oli löytää kaupunki- ja alueellisiin kulutusrakenteisiin liittyviä eroja hiilikulutuksessa. Tuloksia analysoitaessa havaittiin, että hiilikulutuksen rakenteet alueiden välillä poikkeavat jossain määrin toisistaan. Syyt voidaan jakaa aluerakenteellisiin ja elintasopohjaisiin, mutta aluerakenteilla näyttäisi olevan oleellista merkitystä kuluttajan hiilijalanjäljen määräytymisessä. Huomattavaa on, että rakenteelliset erot nousevat jopa elintasoeroja merkittävämmiksi. Korkeampi elintaso ei siis välttämättä merkitse suurempaa hiilijalanjälkeä.

Mallinnuksen perusteella Tampereella asuvan kuluttajan hiilijalanjäljeksi saatiin 10,9 t CO₂-ekv. noin 15.000 euron yksityisen kulutuksen volyymilla. Kaupunkimaisissa ympäryskunnissa hiilikulutus on mallin perusteella 10,4 tonnia 13.800 euron kulutuksella ja maaseutumaisissa ympäryskunnissa 11,3 tonnia samalla 13.800 euron kulutusvolyymilla.

Kaikilla tutkituilla alueilla asumisen energiankulutus ja liikkuminen muodostavat merkittävimmät päästöjä aiheuttavat kategoriat. Yhdessä muiden suoraan asumiseen liittyvien päästöjen kanssa näiden osuus on yli kaksi kolmasosaa kaikesta hiilikulutuksesta. Tulos vastaa hyvin aiempia hiilijalanjälkilaskelmia, ja hälventää osaltaan vääriä näkemyksiä päivittäiskulutuksen hiilivaikutuksista ja siten matalahiiliratkaisuiden lähtökohdista.

Hallitsevista kategorioista löytyvät myös merkittävimmät alueiden väliset erot. Yksityisautoilun osuus päästöistä on pienin Tampereella. Kuljetuissa kilometreissä ero on vielä merkittävämpi kuin koko yksityisautoilun päästöissä, koska yksityisautoilun päästöihin lasketaan mallissa mukaan myös ajoneuvojen hankinnat, mikä tasoitti alueiden välisiä eroja. Nämä tulokset vastaavat ennako-oletuksia, koska Tampereen kaupunkirakenne on tiiviimpi, julkinen liikenne on tehokkaampaa, ja työpaikkaomavaraisuus on korkeampaa kuin ympäryskunnissa.

Asumisen energiankulutuksessa kerrostalovaltaisemmat alueet, Tampere ja kaupunkimaiset ympäryskunnat, aiheuttavat vähemmän hiilipäästöjä kuin maaseutumaisemmat ympäryskunnat. Mielenkiintoista on kuitenkin se, että erot alueiden välillä eivät ole kovin suuria. Tämä antaa ymmärtää, että kaupunkirakenteen väljyyden kasvu ja tähän usein liittyvä asumisväljyyden kasvu eivät välttämättä tarkoita hiilikulutuksen kasvua, vaan näiden vaikutus on kompensoitavissa rakentamalla hiilitehokkaita asuntoja.

Tutkimuksen skenaario-osiossa tarkasteltiin hiilijohtamisen mahdollisuuksia Tampereella neljän laajemman skenaariokokonaisuuden kautta. Kokonaisuudet ovat Yksityisautoilun vähentäminen ja joukkoliikenteen käyttöasteen nostaminen, Uusiutuvien energiamuotojen käytön lisääminen, Kaupunkirakenteen tiivistäminen sekä Matalaenergiarakentaminen.

Skenaarioiden kautta voitiin näyttää, että ylivoimaisesti merkittävin hiilivaikutus on energian tuotantotavalla. Uusiutuvien energiamuotojen osuuden nostaminen 30 % tasolle leikkaisi asumisen energiankulutuksen päästöjen kautta keskimääräisen asukkaan hiilikulutuksesta suoraan runsaat 5 %, ja nosto 80 % tasolle jo lähes 20 % hiilikulutuksesta. Uusiutuvien energiamuotojen käytön lisäämisellä olisi lisäksi kerrannaisvaikutuksia puhtaammalla energialla tuotettujen hyödykkeiden hiilipäästöjen vähenemisen kautta. Nämä vaikutukset saattavat olla merkittäviäkin, mutta niiden tarkempi selvittäminen jäi tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Myös hiilitehokkaiden asuntojen rakentamisella voidaan vaikuttaa hiilikulutukseen. Skenaarioissa tarkasteltu vuonna 2012 voimaan astuvien rakennusmääräysten mukainen asunto, jonka energiankulutus vastaa lähes nykyistä matalaenergiatasoa, saisi aikaan lähes 20 % pudotuksen keskimääräiseen hiilikulutukseen. Toinen tarkastelun kohde, passiivitalo, leikkaisi hiilikulutuksesta jo lähes 30 %. Rakentamisen aluetason vaikuttavuutta laskee kuitenkin radikaalisti rakennuskannan hidas uudistuminen. Parhaimmillaankin rakennuskanta uusiutuu vain muutaman prosentin vuosivauhtia, mikä muuttaa rakentamisen vaikutuksen suhteellisen pitkän tähtäimen vaikutukseksi.

Liikkumisen osalta vaikutukset jäävät pienemmiksi, mutta erityisesti raideliikenteen määrän lisäämisellä sekä kuormitusasteiden kohottamisella olisi mahdollista vaikuttaa hiilikulutukseen. Toisaalta tilannetta voidaan ajatella myös niin, että hiilitehokkaiden asuinalueiden rakentamisella voidaan suhteellisen helposti kompensoida asuinalueen sijaintiin liittyvä mahdollinen liikkumisen lisääntyminen.

8 Lähteet

1. The Sixth Environment Action Programme of the European Community 2002-2012, http://ec.europa.eu/environment/climat/home_en.htm (30.9.2009).
2. About Social Dimensions of Climate Change (SDCC), <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTSOCI/ALDEVELOPMENT/0,,contentMDK:22114643~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:244363,00.html>, The World Bank (30.9.2009).
3. A more secure world: Our shared responsibility, Report of the High-level Panel on Threats, Challenges and Change, United Nations (2004).
4. Heltberg, R., Siegel, P., B., Jorgensen, S., L. (2009): Addressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no regrets' approach, *Global Environmental Change*, 19, 89–99.
5. Pathways to a Low Carbon Economy, Version 2 of the Global Green House Gas Abatement Cost Curve, McKinsey&Company (2009).
6. Heljo, J., Nippala, E., Nuutila, H.: Rakennusten energiankulutus ja CO₂-ekv päästöt Suomessa Tampereen Teknillinen Yliopisto, Rakentamistalouden laitos, 2005, Tampere.
7. Tilastokeskus, tiedot vain osittain julkisesti saatavissa, <http://www.stat.fi> (1.10.2009).
8. Liikenne- ja viestintäministeriö, Henkilöliikennetutkimus 2004-2005, tiedot saatavissa pyynnöstä tutkimuskäyttöön, <http://www.hlt.fi/english/index.htm>, (6.10.2009).
9. Carnegie Mellon University Green Design Institute (2008): Economic Input-Output Life Cycle Assessment (EIO-LCA), US 1997 Industry Benchmark model [Internet], <http://www.eiolca.net> (1.10.2009).
10. Junnila, S., Horvath, A., Guggemos, A., A. (2006): Life-Cycle Assessment of Office Buildings in Europe and the United States, *Journal of Infrastructure Systems*, 12:1 (10), 10-17.
11. ICP Global Results: Global Purchasing Power Parities and Real Expenditures, <http://siteresources.worldbank.org/ICPINT/Resources/icp-final-tables.pdf> (20.12.2009).
12. Weber, C., L., Matthews, S., H. (2008): Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint, *Ecological Economics*, 66, 379-391.
13. Seppälä, J., Mäenpää, I., Koskela, S., Mattila, T., Nissinen, A., Katajajuuri, J-M., Härmä, T., Korhonen, M-R., Saarinen, M.,

- Virtanen, Y. (2009): Suomen kansantalouden materiaalivirtojen ympäristö-vaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla, Suomen ympäristö 20.
14. Tilastokeskus, www.stat.fi (15.9.2009).
 15. Dodman, D. (2009): Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories, *Environment and Urbanization*, 21 (1), 185-201.
 16. Norman, J., MacLean, H., L., Kennedy, C., A. (2006), Comparing High and Low Residential Density: Life-Cycle Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, *Journal of Urban Planning and Development* 132 (1), 10-21.
 17. YTV Liikkimistutkimus, sähköposti Raimo Valtanen – Jukka Heinonen 30.12.2009.
 18. Sarja, A.: Rakennusten energiatalous, esitys RIL:n Elinkaarijaoston, Talonrakennusjaoston ja LIVI:n yhteisseminaarissa 2008.
 19. U.S. Energy Information Administration / Emissions of Greenhouse Gases in the United States 2007, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/1605aold.html> (18.12.2009).
 20. Kurnitski, J., Keto, M. (julkaistaan myöhemmin): Rakennusten energiankäytön aiheuttamat päästöt ja primäärienergiankäyttö.
 21. Valtion asuntorahasto, Rakentamisen hinta, Raporttisarja A 12/2006, <http://www.ara.fi/download.asp?contentid=21121&lan=FI> (23.12.2009).
 22. LIPASTO -laskentajärjestelmä, VTT, http://lipasto.vtt.fi/yksikko-paastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkilo_tie.htm (20.10.2009).
 23. Helsingin Energia, sähköposti 6.11.2009 Anna-Maria Asell–Jukka Heinonen.
 24. Suomen ilmastopolitiikka, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=305218&lan=fi&clan=fi> (30.12.2009).
 25. YTV Liikkimistutkimus, sähköposti 21.12.2009 Raimo Valtanen–Jukka Heinonen.
 26. Wikipedia, <http://fi.wikipedia.org/> (21.12.2009).
 27. Junnila, S. (2006): Empirical Comparison of Process and Economic Input-Output Life Cycle Assessment in Service Industries. *Environmental Science and Technology*, 40 (22), 7070-7076.
 28. U.S. Energy Information Administration, Independent Statistics and Analysis, <http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=91&pid=47&aid=31&cid=&syid=2004&eyid=2008&unit=MTCDPUSD&products=47> (11.1.2010).
 29. Japan Statistics Bureau, Director-General for Policy Planning (Statistical Standards) and Statistical Research and Training Institute, <http://www.stat.go.jp/english/data/nenkan/backdata/1431-18.htm> (13.1.2010).
 30. Porvoon Energia, <http://www.porvoonenergia.fi/fi/konserni/ymparisto> (10.1.2010).

31. Mayor of London,
<http://www.london.gov.uk/mayor/priorities/environment.jsp>
(15.1.2010).
32. Hendrickson, C. T., Lave, L. B., Matthews, H. S. (2006):
Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services: An
Input-Output Approach. Resources for the Future Press.
33. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto SITRA,
<http://www.sitra.fi/fi/Ohjelmat/energia/energia.htm> (15.1.2010).
34. Junnila, S. (2008): Life cycle management of energy-consuming
products in companies using IO-LCA. International Journal of LCA,
2008, Vol. 13, nro 5, 432-439.
35. Suomen Rahatieto, <http://www.rahatieto.fi> (20.12.2009).
36. Energiateollisuus ry, <http://www.energia.fi/FI> (20.1.2010).
37. Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus hiilidioksidipäästöjen
tarkkailusta ja päästöistä laadittavasta selvityksestä,
http://www.emvi.fi/files/KTMa_647-2007.pdf (26.1.2010).
38. Junnila, S. (2006): Alternative Scenarios for Managing the
Environmental Performance of a Service Sector Company. Journal of
industrial ecology, 10 (4), 113-131.
39. United Nations (2007): City planning will determine pace of global
warming,
<http://www.un.org/News/Press/docs/2007/gaef3190.doc.htm>
(18.2.2010).
40. Mayor of London,
<http://www.london.gov.uk/mayor/priorities/environment.jsp>
(15.1.2010).
41. European Union, Committee of the Regions, The EU's Assembly of
Regional and Local Representatives, Press Release, COR/09/92,
Brussels, 7 October 2009: Green partnership: EU and US mayors
pledge to work together on climate change,
<http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=COR/09/92&format=HTML&aged=0&language=EN&guiLanguage=en>
(19.2.2010).
42. Association of Finnish Local and Regional Authorities, Anu
Kerkkänen (2009): Climate Change Control in Municipal Decision
Making (Kuntaliiton esiselvitys: Kokonaisuuden hallinta ja
ilmastonmuutos kunnan päätöksenteossa).
43. Mayor of the City of Helsinki Jussi Pajunen's speech commenting the
report on energy policy 23.1.2008, (Jussi Pajunen puhe
energiapoliittisen selonteon yhteydessä),
http://www.hel.fi/wps/portal/Helsinki/Artikkeli?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/Helsinki/fi/P__t_ksenteko+ja+hallinto/Kaupunginjohtaja/Kaupunginjohtaja+Jussi+Pajunen/Puheet/energiapoliitikka
(19.2.2010).
44. Kiiras, J., Hyartt, J., Saari, A., Kammonen, J. (1993): Property
maintenance expenses in Finland 1992, Helsinki University of
Technology (Kiinteistöjen ylläpidon kustannustieto 1992. Teknillinen
korkeakoulu).

45. Liikenteen nykytila Tampereen seudulla, TASE 2025, Tampereen seudun liikenne (2005), raportin on koonnut Hanna Kalenoja, Tampereen teknillinen yliopisto.
46. Vuosiraportti 2008, Tampereen kaupungin energialiiketoiminnat, Tampereen Sähkölaitos Oy (2009), <http://www.tampereensahkolaitos.fi/NR/rdonlyres/A587C2EC-3248-4CF0-9BFE-F1E47A24B23D/0/Vuosiraportti2008.pdf> (31.7.2010).
47. Tampereen kaupunki: Asuminen ja rakentaminen, Tampereen kaupunkiseutu, Tilastoaineisto 2009, http://www.tampere.fi/material/attachments/5iHTLSId5/Asuminen_ja_rakentaminen_Tampereen_kaupunkiseutu_Tilastoaineisto_2009.pdf (10.8.2010).
48. Helsingin kaupunki, Ympäristökeskus: Helsingin ympäristön tila: teemakatsaus 1/2008, http://www.hel2.fi/ymk/julkaisut/raportit/teemakatsaus_01_08.pdf (10.8.2010).
49. Ympäristöministeriö, <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=358602&lan=fi&clan=fi> (10.8.2010).
50. Tampereen kaupunkiseudun kuntayhtymä, Ilmastostrategia 2030, http://www.tampereenseutu.fi/seutuhankkeet/yhdyskuntasuunnittelun_ohjelma/ilmastostrategia_2030/ (30.7.2010).
51. Tampereen kaupunki, Tampere virtaa, Tampereen kaupunkistrategia 2020, http://www.tampere.fi/material/attachments/5kC1W6Z6K/Tampereen_kaupunkistrategia.pdf (18.8.2010).

Tutkimuksessa tarkasteltiin asukkaan vuotuista hiilikulutusta Tampereen seudulla. Hybridi-elinkaarimallin avulla luotiin kuva kulutuksen kasvihuonekaasuvaikutuksista. Tulokset kertovat, että hiilikulutus aluetyyppien välillä vaihtelee sekä aluerakenteellisista että elintasopohjaisista syistä. Tampereella asuvan kuluttajan hiilijalanjäljeksi saatiin 10,9 t CO₂-ekv., kaupunkimaisissa ympäryskunnissa 10,4 t ja maaseutumaisissa ympäryskunnissa 11,3 t. Kaikilla alueilla asumisen energiankulutus ja liikkuminen ovat merkittävimmät päästöjen lähteet. Kaikkien suoraan asumiseen liittyvien päästöjen osuus on yli kaksi kolmasosaa koko hiilikulutuksesta. Skenaarioiden kautta näytettiin, että merkittävin hiilivaikutus on energian tuotantotavalla. Hiilitehokkaiden asuntojen rakentamisella voidaan vaikuttaa paikallisesti. Liikkumisen vaikutukset jäävät pienemmiksi tarkoittaen sitä, että hiilitehokkaiden asuinalueiden rakentamisella voidaan kompensoida sijaintiin liittyvä liikkumisen lisääntyminen.

ISBN 978-952-60-4393-7 (pdf)
ISSN-L 1799-487X
ISSN 1799-4888 (pdf)

Aalto-yliopisto
Insinööritieteiden korkeakoulu
Maanmittaustieteiden laitos
www.aalto.fi

**KAUPPA +
TALOUS**

**TAIDE +
MUOTOILU +
ARKKITEHTUURI**

**TIEDE +
TEKNOLOGIA**

CROSSOVER

VÄITÖSKIRJAT