Sitran selvityksiä 20

Matalahiiliasumisen lähtökohdat

Jukka Heinonen
Seppo Junnila

3.2.2010

SITRA

Tiivistelmä

Ilmastonmuutos on yksi tulevaisuuden suurimmista yhteiskunnallisista ja taloudellisista haasteista. Pelkästään taloudellisesti ilmastonmuutoksen hillintään arvioidaan investoitavan satoja miljardeja euroja lähivuosien aikana. Rakennetun ympäristön on todettu useissa yhteyksissä olevan keskeisessä roolissa ilmastonmuutoksen torjumisessa.

Perinteisesti ilmastonmuutoksen hillintää on pyritty lähestymään päästöjen tuottamisen näkökulmasta, kuten esimerkiksi Kioton maakohtaisina päästötavoitteina ja edelleen EU:n päästökaupassa. Tuotantolähtöisessä lähestymistavassa on kuitenkin rakennetun ympäristön näkökulmasta keskeisiä puutteita, merkittävimpänä hiilipäästöjen ulkoistamisen ongelma, eli hiilivuoto. Erityisen merkittäväksi kyseinen ongelma ilmenee, kun käsitellään asumista, koska lähes kaikki asumisen hiilipäästöistä tuotetaan muualla kuin itse asunnoissa.

Tässä raportissa lähestytään asumisen ja erilaisten aluerakenteiden ilmastonmuutoksen hillintää kulutuksen näkökulmasta. Työssä esitetään uusi käsite asumisen ”hiilikulutus”. Ajatuksena on tarkastella sitä mihin konkreettisiin asumisen kulutuskohteisiin (=tuotteisiin ja palveluihin) elinkeinoelämän eri vaiheissa tuotetut hiilipäästöt kohdistuvat. Analogia on lainattu suoraan yleisestä kansantalouden tilinpidossa käytetystä panos-tuotos-ajattelusta. Sama näkökulmaero taloudellisten systeemien tarkastelussa löytyy myös yritystaloudessa ns. push- vs. pull-systeemien tarkasteluna.

Raportin tärkeimpinä löydöksinä voidaan pitää seuraavia tuloksia:

- Ei alueilla asuvien kuluttajien hiilijalanjäljet poikkeavat merkittävästi toisistaan sekä määränsä että koostumuksensa suhteen.
- Aluerakenteilla on tärkeä rooli erojen selittäjänä.
- Noin kaksi kolmasosaa kuluttajan hiilijalanjäljestä liittyy voimakkaasti aluerakenteellisiin tekijöihin, kuten asumisen energiaan, rakentamiseen sekä liikkumiseen liittyvään infrastruktuuriin ja sijoittumiskysymyksiin.
- Elintason nousu ei välttämättä merkitse hiilijalanjäljen kasvua.
- Kuluttaja voi puhtaasti henkilökohtaisilla valinnoillaan alentaa hiilijalanjälkeään 25–40 %. Suurimmat vaikutukset ovat yksityisautoilun vähentämisellä, ylimääräisistä asuinneliöistä luopumisella, puhtailla energiavalinnoilla ja ulkomaanmatkojen vähentämisellä.
- Siirtyminen hiilettömän sähkö- ja lämpöenergian käyttöön leikkaisi merkittävimmin kuluttajan hiilijalanjälkeä. Kuluttaja voi kuitenkin vaikuttaa näistä vain oman sähköenergiansa osuuteen, kun loppuosa on muiden yhteiskunnan toimijoiden vaikutuspiirissä.
- Hiilijalanjäljen alentaminen ei automaattisesti merkitse hyvinvoinnin laskua, vaan kuluttajan hyvinvointi saattaa päätösten seurauksena myös kohota.

Sitran selvityksiä 20
Helsinki 2010
© Sitra
ISBN 978-951-563-701-7
(URL:http://www.sitra.fi)
ISSN 1796-7112

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto

Tutkimuksen tuloksena saatiin lista alueellisista ominaisuuksista (indikaattoreista), joilla yhteiskunta pystyy arvioimaan asumisen alueellista hiilijalanjälkeä. Käytännössä yksittäiset hiili-indikaattorit näyttävät kuitenkin usein eri suuntiin eri alueilla. Jatkossa olisikin hyvin tärkeä ymmärtää kuinka voimakas ristiinkytkentä erilaisilla yhdyskuntarakenteen ominaisuuksilla on keskenään. Hyvää tutkittua tietoa löytyy jo esimerkiksi siitä, että tiiviimpi asuminen puoltaa parempia joukkoliikenneyhteyksiä. Jatkossa pitäisi myös tutkia muiden matalahiiliasumisen keskeisten indikaattorien keskinäiset suhteet. Voidaan esimerkiksi kysyä, suosiiko väljempi yhdyskuntarakenne hajautettujen uusiutuvien energialähteiden käyttöä, ja onko hiiletön kaukolämpöratkaisu mahdollinen nykyisissä suurissa kaupungeissa.

Raportin tulosten perusteella voidaan ennakoida, että suurten kaupunkialueiden lähitulevaisuuden merkittävin haaste on hiilitehokkuuden lisääminen olemassa olevissa suurissa ja jäykissä rakenteissa. Vastaavasti väljemmässä yhdyskuntarakenteessa suureksi haasteeksi nousee todennäköisesti kustannustehokkaiden ja ylipäätänsä taloudellistesti toteutettavien toimenpiteiden tunnistaminen.

Espoossa 3.2.2010

Seppo Junnila
Professori
Aalto-yliopisto, Kiinteistöliiketoiminta

Jukka Heinonen
Tutkija
Aalto-yliopisto, Kiinteistöliiketoiminta

Abstract

Climate change is one of the largest social and financial challenges of the future. It is estimated that hundreds of millions of euros will be invested in the next few years to mitigate climate change. In many contexts, built environments have been found to have a key role in preventing climate change.

Traditionally, the aim has been to approach climate change mitigation from the perspective of emission production, such as the country-specific Kyoto emission objectives, and further in emissions trade by the EU. However, the production-based approach has essential deficiencies from the perspective of built environments, the problem of carbon emission outsourcing (carbon leak) being the most important one. The problem is particularly significant when dealing with housing, since almost all of the carbon emissions from housing originate from elsewhere than the actual residences.

This report approaches the mitigating of climate change related to housing and various area structures from the perspective of consumption. The work introduces a new concept, the carbon consumption of housing. The idea is to review what concrete housing consumption objects (i.e., products and services) are related to the carbon emissions produced at different business cycles. The analogue has been directly borrowed from the general input/output thinking used in the general accounting used for the economy. The same perspective difference in reviewing financial systems is also found in the use of so-called push vs. pull systems of review in corporate finance.

The key findings of the report are the following:

- The carbon footprints of consumers living in different areas significantly deviate from each other both by quantity and consistency.
- Area structures play an important role in explaining the differences.
- About two-thirds of a consumer's carbon footprint is heavily related to area structure factors, such as housing energy, construction, and to the infrastructure related to moving from place to place, and to occupancy questions.
- Improved living standards do not necessarily mean an increased carbon footprint.
- Through individual choice, consumers can cut their carbon footprint by 25 to 40 percent. The biggest effects are caused by reducing the use of private cars, discontinuing the use of excessive residential space, clean energy selections, and reducing trips abroad.
- Adopting carbon-free electrical and heating energy would cut consumers' carbon footprint the most. However, of these, consumers can only affect the share of their electrical energy, whereas the rest is under the influence of other actors in the society.
- Decreasing one's carbon footprint does not automatically result in decreased well-being; in fact consumers' well-being may very well increase as a result of these decisions.

The study produced a list of area characteristics (indicators) with which the society is able to assess the regional carbon footprint in housing. In practice, individual carbon indicators often vary by area. From now on, it would be very important to understand how powerfully interconnected various characteristics of the societal structure are. Well-researched information is already available on denser housing solutions that promote better public transport connections. In future, the relationships between other essential low-carbon housing should also be investigated. For example, it can be asked whether a looser societal structure favours the use of scattered renewable sources of energy, and whether a carbon-free district heating solution is possible in the existing big cities.

Based on the report findings, it can be forecasted that the major near-future challenge for large urban areas is to increase carbon efficiency in the existing large and inflexible structures. Correspondingly, the challenge for a looser societal structure will probably be to identify cost-effective measures which are on the whole financially feasible.

Espoo, 3 February 2010

Seppo Junnila
Professor
Aalto University, Real Estate Business

Jukka Heinonen
Researcher
Aalto University, Real Estate Business

Sisältö

Tiivistelmä **2**

Abstract **4**

Esipuhe **8**

Johdanto **9**

Tutkimuksen toteutus ja metodologia **10**
Elinkaarimallinnus ympäristövaikutusten arvioinnissa 10
Prosessi-LCA 10
Panos-tuotos-LCA 10
Hybridi-LCA 11
Tutkimuksen panos-tuotos-malli 12
Tietolähteet 12
Tutkimusalueet 13
Tutkimuksen eteneminen 13

Tulokset **15**
Alueelliset hiilijalanjäljet kulutuskategorioittain 15
Kaupunkikohtaiset hiilijalanjäljet kulutuskategorioittain 18

Helsingin ja Porvoon hybridi-LCA-mallinnus **21**
Hybridi-LCA-mallin rakentaminen 21
Asumisen energia 21
Asuminen (ilman energiaa) 22
Yksityisautoilu 23
Joukkoliikenne 23
Hiilijalanjälkien laskenta hybridimallilla 23

Matalahiiliasumisen skenaariot **25**
Ekologinen kuluttaja: Case Ruoholahti 25
Ruoholahden keskimääräinen asukas 25
Ei yksityisautoilua 26
Ei ulkomaanmatkoja 26
Uusiutuvat energiamuodot 26
Asumiseen liittyvät valinnat 27
Palveluiden kulutus 28
Ekologinen kuluttaja: Case Porvoo 28
Porvoon keskimääräinen asukas 28

Ei yksityisautoilua 28
Ei ulkomaanmatkoja 29
Uusiutuvat energiamuodot 29
Asumiseen liittyvät valinnat 30
Palveluiden kulutus 30
Yhteenveto ekologisen kuluttajan skenaariosta 30
Ekologisen kuluttajan skenaario ja hyvinvointi 32
Yhteiskunta ja yhteisöt ekologisten valintojen tekijöinä 32
Energiavalinnat ja energiantuotanto 33
Aluesuunnittelu 33
Joukkoliikennepalvelut 34
Yhteenveto yhteiskunnan ja yhteisöjen vaikutusmahdollisuuksista 35

Tulosten arviointi 37
Tulosten yleistettävyys ja vertailukelpoisuus 37
Aiheuttaja- ja kohdentumisperiaatteet 37
Tulosten asemointi suhteessa aiempiin tutkimuksiin 37
Tuloksiin liittyvät epävarmuudet 38
Panostiedot 38
Laskentamallit 39

Yhteenveto 40

Johtopäätökset 43

Lähteet 44

Esipuhe

Yhdyskuntien energian käytön ja päästöjen kääntäminen laskuun ja asteittainen siirtyminen lähes hiilettömään yhteiskuntaan edellyttävät mittavia systeemisiä muutoksia. Näiden lähtökohtien ymmärtämiseksi tarvitaan uutta tietoa ja uusia lähestymistapoja.

Matalahiiliasumisen mahdollisuudet -tutkimushankkeessa pyritään selvittämään asumiseen liittyviä mahdollisuuksia ilmastovaikutusten pienentämiseksi. Asumisen ilmastovaikutusten hallinnan haasteena on, että näitä vaikutuksia ei tunneta kokonaisvaltaisesti eikä niistä ole vielä riittävästi analyyttistä näkemystä. Päätöksiä joudutaan tekemään helposti osaoptimoiden tai pahimmillaan puhtaaseen intuitioon perustuen. Uudenlaisen hiilijohtamisen synnyttämiseksi tarvitaan laaja-alaista tietoa ja työkaluja.

Matalahiiliasumisen mahdollisuudet -tutkimus liittyy laajempaan asumisen ilmastonmuutosvaikutusten mallintamiseen ja hallintaan keskittyvään tutkimukseen Aalto-yliopiston teknillisessä korkeakoulussa. Tutkimuskokonaisuudessa mallinnetaan asumisen vaikutusta ilmastonmuutokseen ensimmäistä kertaa kansalaisten kulutuksen näkökulmasta. Kehitetyssä tarkastelumallissa pyritään huomioimaan kattavasti kaikki kulutuksen ilmastovaikutukset. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkien alihankinta- ja toimitusketjujen päästöt liitetään raaka-aineiden tuottamisesta aina hyödykkeiden kulutukseen, hävittämiseen tai kierrättämiseen saakka. Mallinnus on toteutettu panos-tuotos-laskennan avulla.

Eri talouden sektoreiden päästövaikutusten kautta laskentamalli tuottaa kuluttajan hiilijalanjäljen, jota analysoimalla päästään uudella tavalla tarkastelemaan erilaisten toimenpiteiden ilmastovaikutuksia koko yhteiskunnassa. Tutkimus sisältää esimerkkinä kaupunkikohtaisen ja alueellisen hiilijalanjälkimallinnuksen sekä matalahiiliasumisen skenaariotarkastelun sovellettuna Helsingin Ruoholahteen ja Porvooseen. Haluan kiittää Sitran Energiaohjelman puolesta professori Seppo Junnilaa ja tutkija Jukka Heinosta ajatuksia herättävästä tutkimuksesta, joka avaa uuden mallipohjaisen näkökulman hiilijalanjäljen määrittämiseen ja ymmärtämiseen kulutuksen ja kuluttajan näkökulmasta.

Helsingissä helmikuussa 2010

Jukka Noponen
Ohjelmajohtaja, Energiaohjelma
Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra

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 sopeutumista ilmastonmuutoksen seurauksiin [2, 3, 4]. Päästölähteiden tunnistaminen ja tehokkaiden vähentämistoimenpiteiden toteuttaminen, eli ”hiilijohtaminen”, tulee olemaan yksi suurimmista haasteistamme läpi yhteiskuntarakenteiden.

Asumiseen vaikuttaminen tarjoaa yhden suurimmista ja kannattavimmista mahdollisuuksista hiilidioksidipäästöjen alentamiseen [5]. Pelkästään kiinteistöjen aiheuttamien suorien hiilidioksidipäästöjen on arvioitu olevan n. 30–40 % Suomen kokonaispäästöistä vuositasolla [esim. 6]. Asumisen kokonaisvaikutus, esimerkiksi liikkuminen ja kulutustottumukset huomioiden, on kuitenkin vielä huomattavasti suurempi. Matalahiiliasumisesta puhuttaessa ei siten voida kiinnittää huomiota ainoastaan rakennuksiin, vaan tarkastelun on katettava koko kulutuksen aiheuttama hiilijalanjälki.

Toistaiseksi vain harvoissa tutkimuksissa on kartoitettu asumisen hiilidioksidivaikutuksia kulutuksen näkökulmasta johtuen pääasiassa puutteellisista tutkimusmetodeista monimutkaisissa elinkaarimallinnustilanteissa. Tässä tutkimuksessa tuotetaan kulutustietoa hyödyntämällä koko elinkaaren huomioiva kuluttajan suoraan ja välillisesti aiheuttama hiilijalanjälki, ”hiilikulutus”, panos-tuotos-pohjaisella elinkaarimallinnuksella. Kattavan hiilijalanjäljen lisäksi mallinnuksen kautta on mahdollista tarkastella alueellisten erojen syitä esimerkiksi asuntotyyppien, liikenneinfrastruktuuriratkaisuiden ja elintason vaihdellessa, sekä pohtia tehokkaan hiilijohtamisen mahdollisuuksia.

Tutkimuksen tulokset esitetään kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa lasketaan kolmen toisistaan oleellisesti poikkeavan aluekokonaisuuden, pääkaupunkiseudun, Itä-Suomen ja maaseutumaisten kuntien, hiilijalanjäljet alueellisten ääripäiden tarkastelemiseksi. Toisessa vaiheessa verrataan pääkaupunkiseudun ja sen lähialueiden hiilijalanjälkiä. Nämä molemmat mallinnukset toteutetaan teoreettisessa tilanteessa, jossa hiilikulutus on laskettu kulutusmenoihin pohjautuen keskimääräisellä tuotantoteknologialla ilman, että alueellisia ja teknologisia ominaispiirteitä, kuten energiaratkaisut ja asumisen hintatasoerot, on otettu huomioon. Kolmannessa vaiheessa siirrytään tarkastelemaan Helsingin ja Porvoon kohdealueita keskeiset alueelliset ominaispiirteet huomioivan ns. hybridimallinnuksen kautta. Lopuksi näiden mallinnusten pohjalta arvioidaan sekä kuluttajan mahdollisuuksia matalahiiliasumiseen että yhteiskunnan toimien potentiaalia matalahiiliasumisen edistämisessä skenaariotarkastelujen kautta. Ennen tulosten esittämistä kuvataan raportissa itse mallia ja mallinnusprosessia tarkemmin.

Tutkimuksen toteutus ja metodologia

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kuluttajan hiilijalanjäljen muodostumista vuositasolla yksityisen kulutuksen kautta, eli hänen hiilikulutustaan. Hiilikulutuksen kautta etsittiin tehokkaan hiilijohtamisen vaikutusmahdollisuuksia, sekä simuloitiin kuluttajan omien ekologisten valintojen vaikutuksia.

Tutkimus toteutettiin elinkaarimallinnuksen keinoin. Ensimmäisessä vaiheessa käytettiin panos-tuotos-elinkaarimallia (IO-LCA) ja toisessa vaiheessa hybridi-elinkaarimallia (hybridi-LCA). Seuraavassa esitellään ensin elinkaariarvioinnin periaatteet sekä eri elinkaariarviointimenetelmät, minkä jälkeen kuvataan tarkemmin tämän tutkimuksen eri vaiheissa käytetyt mallit.

Elinkaarimallinnus ympäristövaikutusten arvioinnissa

Elinkaaripohjainen ajattelu (LCA) on vakiintunut yleisesti hyväksytyksi tavaksi arvioida valitun kohteen tai toiminnon aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Elinkaaren huomioinnilla 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 vahvastikin [27].

Prosessi-LCA

Elinkaariarvioinnit (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].

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 mallinnuksissa 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.

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.

Tutkimuksen panos-tuotos-malli

Tässä tutkimuksessa keskeisenä tarkastelukohteena oleva vuositason yksityisen kulutuksen hiilijalanjälki 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. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tuotetut alue- ja kaupunkitason mallinnukset toteutettiin hyödyntämällä vuoden 2002 Yhdysvaltain talouteen perustuvaa EIO-LCA-mallia. Helsingin ja Porvoon alueiden tarkempia mallinnuksia varten perusmallista kehitettiin osittain prosessipohjainen hybridimalli, jota kuvataan myöhemmin tarkemmin.

Yhdysvaltain talouteen pohjautuva malli valittiin, koska se tarjoaa käytettävissä olevista malleista tarkimman toimialajaottelun 428 taloussektorillaan, 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 Matthewsin 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. Aiemmissa 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, noin 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.

Tietolähteet

Tutkimuksen toteutuksessa käytettiin useita panostietolähteitä. Päätietolähteenä käytettiin Tilastokeskuksen tuottamaa kulutustutkimustietoa vuodelta 2006 [7]. Tämän avulla toteutetun mallinnuksen tulosten varmentamiseksi vastaava mallinnus toteutettiin Tilastokeskuksen edellisen, vuonna 2001 toteutetun, tutkimuksen tiedoin. Yksityisautoilua käsiteltiin tarkemmin Liikenne- ja viestintäministeriön Henkilöliikennetutkimuksen [8] tietojen avulla kaupunkitason tarkastelussa sekä YTV:n Liikkumistutkimuksen tiedoin tarkemmassa aluetason analysoinnissa. Hybridi-LCA-mallin osalta prosessidataa hankittiin useista eri lähteistä. Hybridimallin rakentamista on kuvattu tarkemmin luvussa 4.

Tutkimusalueet

Tutkimuksessa mallinnettiin hiilijalanjäljet kolmelle aluetyypille alueellisista rakenne-eroista aiheutuvien ääriarvojen havainnollistamiseksi. Näiksi alueiksi valittiin pääkaupunkiseutu, Itä-Suomi sekä maaseutumaiset kunnat. Pääkaupunkiseutu edustaa korkeimman elintason aluetta, jossa etäisyydet ovat suhteellisen lyhyitä ja kerrostaloasuminen hallitsee. Itä-Suomi puolestaan edustaa matalamman elintason aluetta [14]. Maaseutumaiset kunnat koostuvat kunnista, joiden asukkaista alle 60 % asuu alle 15.000 asukkaan keskuksissa sekä kunnista, joiden asukkaista 60–90 % asuu keskuksissa, joiden koko on alle 4.000 asukasta. Vertailua varten laskettiin myös keskimääräisen suomalaisen kuluttajan hiilijalanjälki.

Kaupunkirakenteiden ja liikenneinfrastruktuurin merkityksen tarkastelemiseksi mallinnettiin seitsemän pääkaupunkiseudun ja sen lähialueiden kaupungin asukkaan hiilijalanjälki. Kaupungeiksi valittiin Helsinki, Espoo, Vantaa, Kerava, Hyvinkää, Nurmijärvi ja Porvoo. Näistä pääkaupunkiseutu edustaa hyvien julkisen liikenteen yhteyksien aluetta, mutta kaupunkirakenteissa on merkittäviä eroja. Kerava, Hyvinkää, Nurmijärvi ja Porvoo sijaitsevat 30–50 kilometrin päässä Helsingistä, mutta kuuluvat vahvasti pääkaupunkiseudun vaikutuspiiriin. Keravalle ja Hyvinkäälle on lähijunayhteys, kun taas Nurmijärven ja Porvoon julkisen liikenteen vaihtoehdot nojautuvat vahvasti linja-autoihin. Kaikkiin kaupunkeihin on lisäksi yksityiseen autoiluun kannustava moottoritieyhteys.

Tutkimuksen eteneminen

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kulutustutkimuksen tarjoamista 1.199 kulutuskategoriasta yhdistettiin 35 asumista, liikkumista ja kulutushyödykkeisiin ja palveluihin kohdistuvaa kysyntää kuvaavaa yhdistettyä summakategoriaa. Näille kategorioille poimittiin niihin kohdistuvaa kysyntää parhaiten kuvaavat talouden sektorit panos-tuotos-mallista. Tältä pohjalta laskettiin ensimmäinen hiilijalanjälki keskimääräiselle suomalaiselle kuluttajalle.

Tulokset yhdistettiin edelleen yhdeksäksi asumisen kulutusta kuvaavaksi yläkategoriaksi seuraavan jaon mukaisesti:

- Päivittäistavaroiden kulutus
- Asuminen (ilman energiaa)
- Asumisen energia (sähkö ja lämpö)
- Terveys-, hyvinvointi-, hoiva- ja koulutuspalvelut
- Yksityisautoilu
- Julkinen liikenne
- Vapaa-ajan palvelut
- Vapaa-ajan kulutushyödykkeet
- Ulkomaanmatkat.

Näitä kulutusalueita hyödyntäen mallinnettiin kolmen laajan alueen, pääkaupunkiseudun, Itä-Suomen sekä maaseutumaisten kuntien keskimääräisten kuluttajien hiilijalanjäljet. Tämän jälkeen samalla mallilla laskettiin kaupunkikohtaiset jalanjäljet.

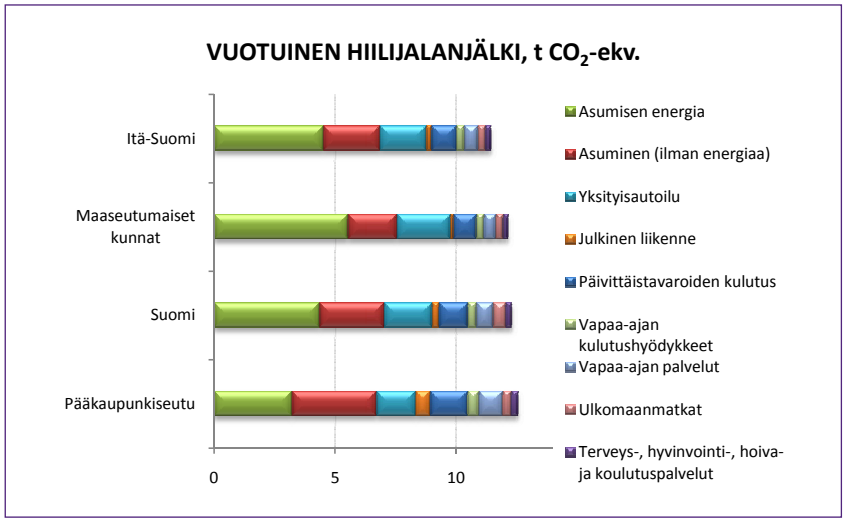
Tähän saakka mallinnuksessa jätettiin huomiotta alueiden väliset teknologiset erot (esimerkiksi energian tuotantotavat) erityisesti aluerakenteisiin, kuten asumiseen ja liikkumiseen, sekä kulutuskäyttäytymiseen liittyvien erojen löytämiseksi. Tutkimuksen viimeisessä vaiheessa rakennettiin alueelliset teknologiset erot huomioiva hybridimalli kuvaamaan Helsingin ja Porvoon tilanteita mahdollisimman tarkasti. Helsingissä keskimääräistä asukasta verrattiin Ruoholahden asukkaaseen sekä tältä pohjalta rakennettuihin matalahiiliskenaarioihin. Porvoon osalta keskustan välittömässä yhteydessä sijaitseva alue (esim. tulevan Skaftkärrin sijainti) valittiin vastaavaksi vertailualueeksi.

Tulokset

Alueelliset hiilijalanjäljet kulutuskategorioittain

Panos-tuotos-mallinnuksen mukaan eri aluetyypeillä (kaupunki, maaseutu, alhaisemman elintason osittain kaupunkimainen Itä-Suomi) asuvien ihmisten aiheuttaman ilmastovaikutuksen rakenne poikkeaa merkittävästi toisistaan. Osa poikkeamasta liittyy elintasoeroihin, mutta suuren osan selittävät alueiden kulutusrakenteisiin liittyvät tekijät.

Kolmesta tutkitusta aluetyypistä pääkaupunkiseutu aiheutti hieman maaseutumaisia kuntia ja Itä-Suomea suuremman hiilijalanjäljen. Tulosta tarkasteltaessa kannattaa kuitenkin huomioida, että pääkaupunkiseudun kuluttajan 40 % korkeammasta yksityisen kulutuksen tasosta huolimatta hiilijalanjälki asettuu lähes samaan tasoon Itä-Suomen ja maaseutumaisten kuntien asukkaiden hiilijalanjälkien kanssa, kuten Kuvio 1 osoittaa. Kuviota vastaavat yksityisen kulutuksen luvut ovat vuositasolla per capita pääkaupunkiseudulla 17.613 €, Itä-Suomessa 12.600 € ja maaseutumaisissa kunnissa 12.203 €. Tarkat hiilijalanjäljet ovat vastaavasti 12,5 t CO_2-ekv., 12,1 t CO_2-ekv. ja 11,4 t CO_2-ekv. Suomen keskiarvon ollessa 12,2 t CO_2-ekv. (14.336 €).

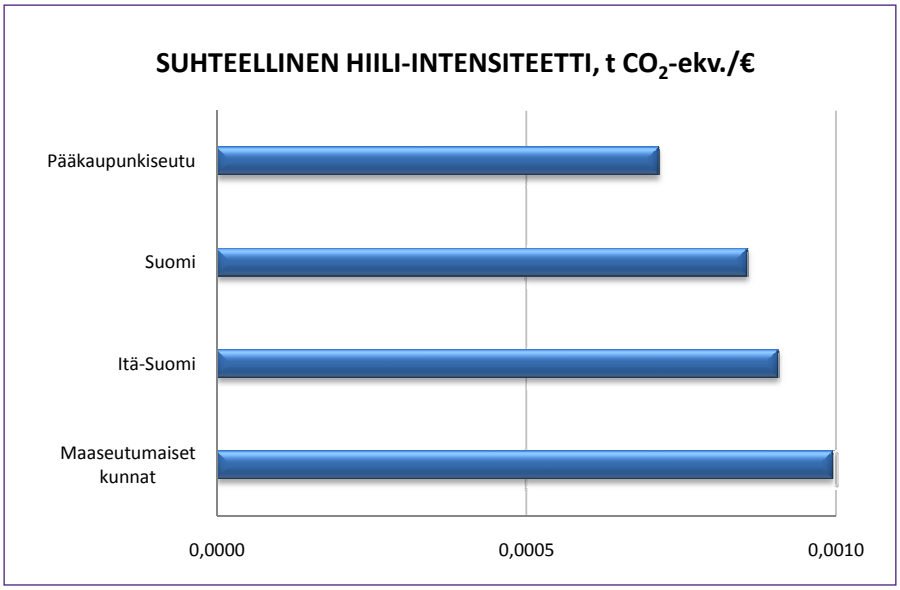


Kuvio 1: Alueelliset hiilijalanjäljet (hiilidioksidiekvivalenttitonneina) kulutuskategorioittain.

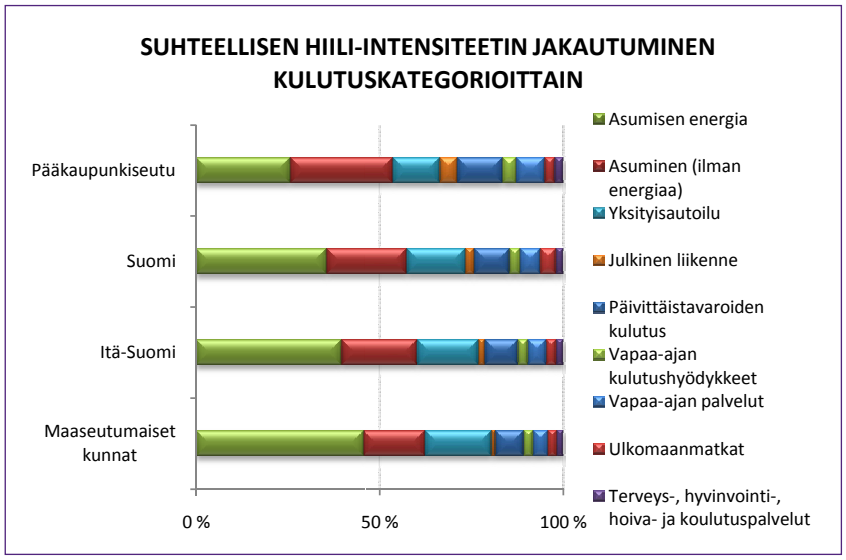
Kuviosta nähdään myös, miten asumisen energiaan (tässä vaiheessa erityisesti kotitaloussähkö ja sähkölämmitys), muuhun asumiseen sekä yksityisautoiluun liittyvät päästöt hallitsevat hiilijalanjälkiä (kolme ensimmäistä kategoriaa). Nämä ovat myös vahvasti alueelliseen kulutukseen sekä aluerakenteisiin ja aluekehityksestä vastaavien tahojen toimenpiteisiin liittyviä tekijöitä. Päivittäisen kulutuksen osuus on mallin mukaan noin 20–30 % hiilijalanjäljestä.

Energiankulutus riippuu useiden tutkimusten mukaan merkittävästi rakennuskannasta sekä asumisen tiiviydestä [15, 16]. Pääkaupunkiseudun tiiviimpi rakennuskanta [17, 18] näkyy tuloksissa pienempinä päästöinä. Myös liikenteen osalta aluetyyppi vaikuttaa merkittävästi päästöihin. Lyhyemmät matkat ja tehokkaat julkisen liikenteen järjestelmät näkyvät pääkaupunkiseudun pienempinä päästöinä.

Hiilijalanjäljet suhteutettuna yksityisen kulutuksen volyymeihin osoittavat lisäksi, että kulutuksen hiili-intensiteetit poikkeavat merkittävästi toisistaan. Tämä antaa ymmärtää, ettei elintason nousu välttämättä tarkoita automaattisesti hiilijalanjäljen kasvua. Tutkittujen alueiden tapauksessa keskimääräisen pääkaupunkiseudun kuluttajan käyttämä euro aiheuttaa noin 30 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin maaseutumaisten kuntien asukkaan käyttämä euro. Kuviot 2 ja 3 havainnollistavat eroja alueellisissa kulutuksen hiili-intensiteeteissä.



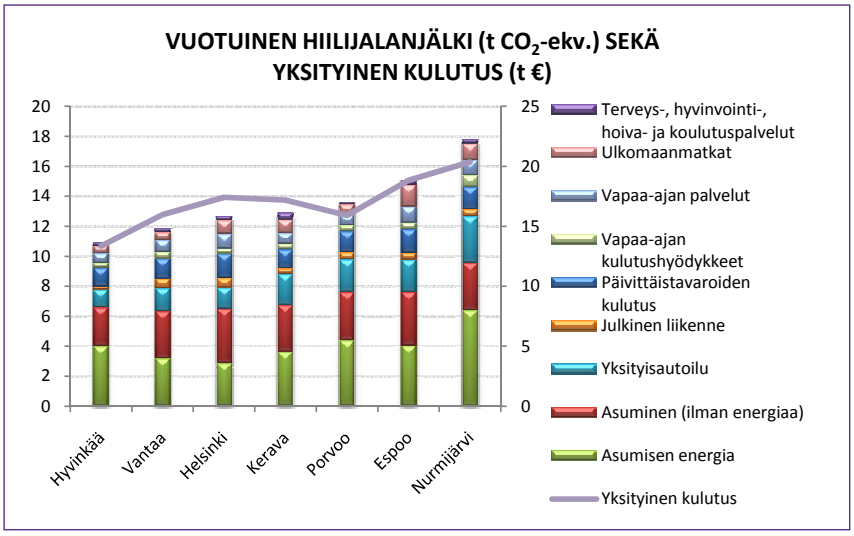
Kuvio 2: Aluekohtaiset kulutuksen suhteelliset hiili-intensiteetit.



Kuvio 3: Suhteellisen hiili-intensiteetin jakautuminen kulukategorioihin aluetasolla.

Kaupunkikohtaiset hiilijalanjäljet kulutuskategorioittain

Kaupunkikohtaisen mallinnuksen mukaan kaupunkien välillä on merkittäviä elintasosta ja päivittäisestä kulutuksesta riippumattomia eroja. Kuten aluetyyppien mallinnuksessa edellä, vallitsevat asumismuodot ja yksityisautoilun määrä nostavat erityisesti Nurmijärven, Porvoon ja Espoon hiilijalanjäljet muita korkeammiksi. Kuvio 4 havainnollistaa kaupunkikohtaisen mallinnuksen tuloksia. Yksityistä kulutusta kuvaava käyrä osoittaa, että elintason nousu selittää vain osittain eroja hiilijalanjäljissä.



Kuvio 4: Kaupunkikohtaiset hiilijalanjäljet sekä yksityinen kulutus tutkimuskaupungeissa

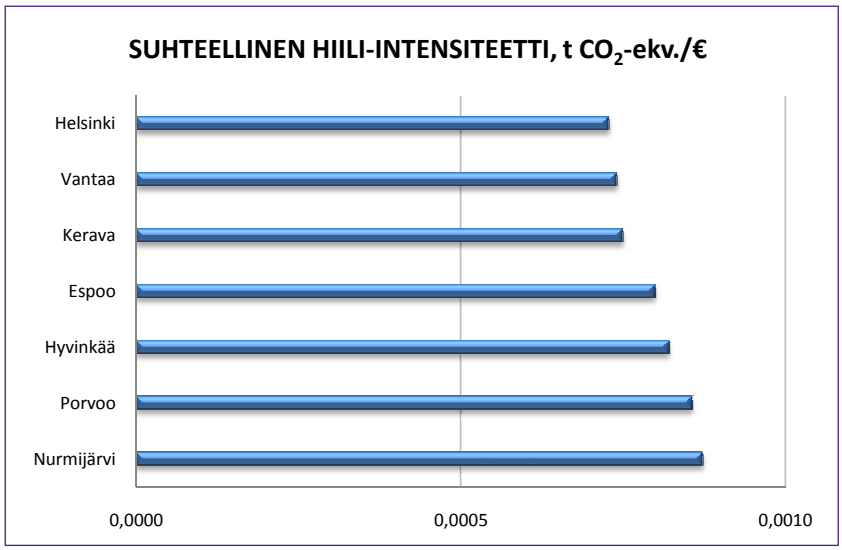
Tulokset näyttävät alueellisen kulutusrakenteeseen liittyvien tekijöiden yhä hallitsevan hiilijalanjälkiä. Kaikissa tutkimuskaupungeissa kategoriat Asumisen energia, Asuminen (ilman energiaa) ja Yksityisautoilu muodostavat yli 60 % hiilijalanjäljestä yksityisen kulutuksen volyymin merkittävistä vaihteluista huolimatta. Hiilijalanjälki on kuitenkin mallin antamien tulosten mukaan merkittävästi suurempi alueilla, joilla kaikki tai jotkin seuraavista asumisen ominaispiirteistä toteutuvat:

- asuminen on harvempaa
- ei ole lähijunayhteyttä Helsinkiin, ja
- palveluiden tavoitettavuus on heikko.

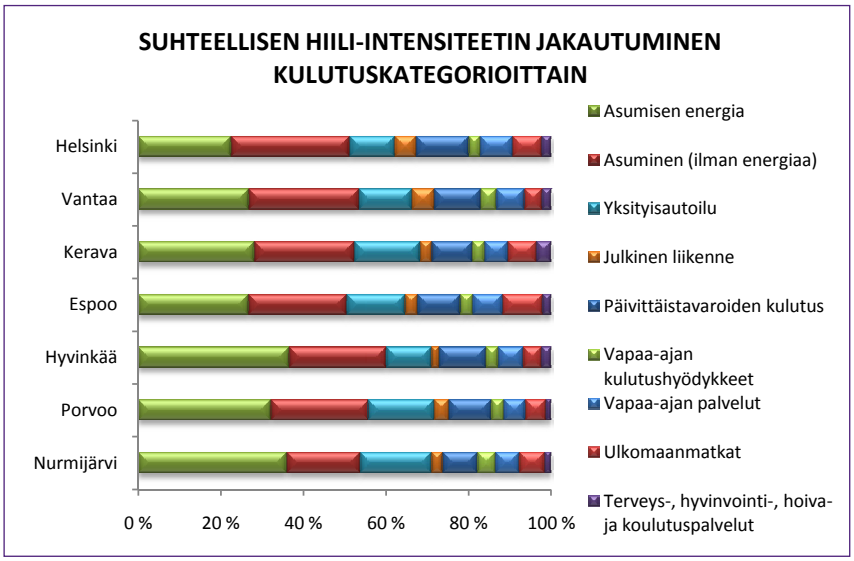
Toisaalta merkittävässä määrin kerrostaloasumisen hallitsemissa kaupungeissa, erityisesti Helsingissä ja Vantaalla, asumisen energiankulutuksen päästöt näyttävät todellista pienemmiltä johtuen taloyhtiön käyttämän energian näkymisestä osana Asuminen (ilman energiaa) -kategoriaa. Vastaavasti kuitenkin asumisen merkittävät hintatasoerot kaupunkien välillä ylikorostavat panos-tuotos-mallinnuksessa kalliiden alueiden hiilijalanjälkiä (erityisesti pääkaupunkiseutu suhteessa muihin tutkimuskaupunkeihin) [14].

Julkinen liikenne näkyy hyvin pienenä kategoriana kaikissa tutkimuskaupungeissa. Julkinen liikenne on kuitenkin huomattavasti hiilitehokkaampi tapa liikkua kuin yksityisautoilu, joten sen merkitys on kuitenkin huomattava yksityisautoilua potentiaalisesti vähentävänä vaihtoehtona.

Hiili-intensiteetit korostavat kulutuksen rakenteisiin liittyviä eroja, ja osoittavat hiilijalanjäljen seuraavan vain heikosti yksityisen kulutuksen volyymia. Kuvio 5 esittää kaupunkikohtaiset kulutuksen hiili-intensiteetit, joista nähdään edellä listattuihin syihin perustuen Porvoon ja Nurmijärven saavan heikoimmat sijoitukset. Kuviossa 6 puolestaan on esitetty kuvion 5 keskimääräisen euron aiheuttaman hiilivaikutuksen jakautuminen eri kulukategorioihin. Kuvio selittää osaltaan, miksi helsinkiläisen hiili-intensiteetti on muita alueita matalampi. Mitä pienempi osuus kulutuksesta kohdistuu korkeiden hiili-intensiteettien kategorioihin, kuten asumiseen ja liikkumiseen, sitä korkeampi on intensiteetti.



Kuvio 5: Kaupunkikohtaiset kulutuksen suhteelliset hiili-intensiteetit, t CO_2-ekv. / €.



Kuvio 6: Suhteellisen hiili-intensiteetin jakautuminen kulukategorioihin kaupungeittain.

Helsingin ja Porvoon hybridi-LCA-mallinnus

Hybridi-LCA-mallin rakentaminen

Kolmen suomalaisen aluetyypin sekä kaupunkikohtainen mallinnus 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. Samalla päästiin tarkastelemaan tilannetta, jossa esimerkiksi tutkimusalueen todellinen energiantuotantotapa (eikä ainoastaan energiankulutuksen määrä) vaikuttaa alueen hiilitaseeseen, toisin kuin siis aiemmissa keskiarvomallinnuksissa.

Asumisen energia

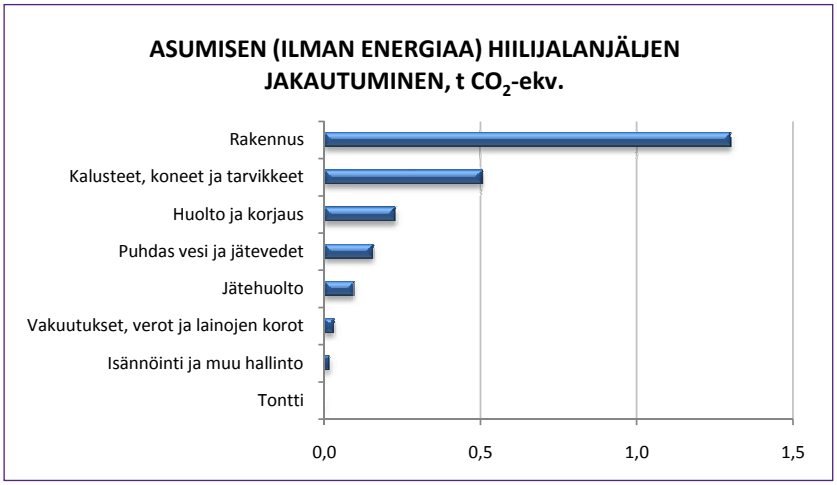
Asumisen energiankulutuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt hallitsevat päästöjä kaikilla tutkimusalueilla mallissa, jossa kaikkien oletetaan käyttävän samaan ”keskimääräiseen” teknologiaan perustuvaa energiaa. Yhdysvaltain tuotantoprofiiliin perustuva tuotostaulukko kuitenkin jossain määrin ylikorostaa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

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, kun taas muu elinkaari jätettiin vastaamaan aiempaa panos-tuotos-mallia. Tämän lisäksi energia jaettiin tässä vaiheessa sähköön ja lämpöön kulutustilastojen mukaisesti, ja taloyhtiön kuluttama energia siirrettiin sähkönä ja lämpönä asumisen energian kategoriaan (ks. kohta 4.1.2). Prosessipohjaisina ominaispäästöarvoina käytettiin energiamenetelmällä määriteltyjä lukuja sähkölle ja lämmölle [14, 36, 37]. Energiamenetelmää käytettiin, koska se on kansainvälisesti käytetyin menetelmä esittää ominaispäästöjä. Vaikka hyödynjakomenetelmä saattaisi antaa jossain mielessä todellisemman kuvan energiantuotannon päästöjen kohdentumisesta kulutukseen, ei valinnalla tämän tutkimuksen tulosten kannalta tehdyn koelaskennan perusteella näyttänyt olevan merkittävää tulosvaikutusta.

Asuminen (ilman energiaa)

Asumisen muut toiminnot, esimerkiksi rakentaminen ja kiinteistöjen hoito aiheuttavat merkittävän ympäristökuorman, mutta kuten edellä jo todettiin, suorassa panos-tuotos -mallinnuksessa kategorian tulokset sisältävät merkittäviä epävarmuuksia. Epävarmuuksien vähentämiseksi ja alueellisten erityispiirteiden huomioonottamiseksi tehtiin useita korjaavia toimenpiteitä hybridimallia rakennettaessa.

Koska merkittävä osa asumisen energia-, jätehuolto-, vesi- ja huolto- sekä hoitokustannuksista maksetaan osana yhtiövastikkeita tai vuokria, jaettiin nämä kustannukset vuokriin ja yhtiövastikkeisiin sisältyvien todellisten kustannusrakenteiden mukaan, jonka jälkeen energian osuus siirrettiin kategoriaan Asumisen energia. Vastaavasti asumisen hinnoista erotettiin tontin ja rakentamisen osuudet [21], niihin liittyvien hiilidioksidivaikutusten poiketessa toisistaan hyvin oleellisesti. Tontin ja rakentamisen osuuksien erottelulla saatiin myös poistettua osa alueellisten hintatasoerojen vaikutuksesta mallin sisällä tontin arvon kautta. Suoraan asunnon arvostukseen liittyvä ero jää kuitenkin yhä asumisen kustannuksiin, joten rakentamisen merkitys erityisesti Helsingin osalta saattaa olla hieman ylikorostunut. Kuvio 7 esittää pelkän Asuminen (ilman energiaa) -kategorian päästöjen jakautumisen päästöjen aiheuttajien kesken.



Kuvio 7: Asuminen (ilman energiaa) -kategorian päästöjen jakautuminen

Yksityisautoilu

Yksityisautoiluun liittyvät päästöt näyttäisivät riippuvan voimakkaasti toisaalta asuinalueesta, erityisesti alueen etäisyydestä Helsingistä, ja toisaalta tarjolla olevista julkisen liikenteen vaihtoehdoista, erityisesti lähijunayhteydestä. Tältä pohjalta yksityisautoilua tarkasteltiin sekä omana kokonaisuutenaan 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].

Joukkoliikenne

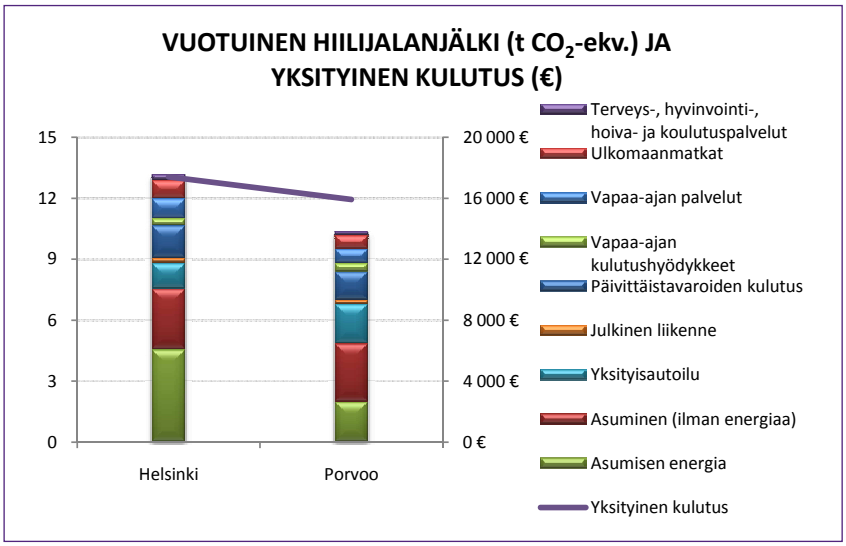
Joukkoliikenteen päästöillä ei ole suurta vaikutusta kuluttajan hiilijalanjälkeen. Suoran panos-tuotos -mallinnuksen mukaan näiden päästöjen merkitys kuitenkin ylikorostuu johtuen USA:n talouteen pohjautuvasta mallista, jossa joukkoliikenteen päästöt ylittävät voimakkaasti Suomen ENVIMAT-tutkimuksen mukaiset joukkoliikenteen päästöt [9, 13].

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].

Hiilijalanjälkien laskenta hybridimallilla

Edellä kuvattujen muutosten jälkeen Porvoo ja Helsinki mallinnettiin uudelleen. Kuvio 8 näyttää, että muutosten myötä Helsingin energiakulutuksen hiilijalanjälki on merkittävästi aiempaa korkeampi ja heikentää Helsingin suoritusta suhteessa Porvooseen. Asuntokannan ollessa Helsingissä vahvemmin kerrostalopohjaista, vuokra- ja yhtiövastikemaksuihin sisältyvän energiankulutuksen siirtyminen näkymään osana asumisen energian päästöjä heikentää helsinkiläisen hiilijalanjälkeä suhteessa kuluttajaan Porvoossa. Vielä oleellisempi vaikutus on Helsingin Energian suhteellisen suurilla sähkön ja lämmön ominaispäästöluvuilla, 284 ja 286 g/kWh vuonna 2007 [14, 23, 36, 37], suhteessa Porvoon Energian lukuihin, 64,8 ja 92,2 g/kWh vastaavasti [14, 36, 37].

Yksityisautoilun osalta tulos ei poikkea oleellisesti aiemmasta suorasta panos-tuotos -mallinnuksesta. Voidaan myös todeta jo aiemmassa mallinnuksessa löydettyjen merkittävimpien kategorioiden hybridimallissakin hallitsevan päästöjä.



Kuvio 8: Hybridimallin hiilijalanjäljet Helsingissä ja Porvoossa sekä yksityinen kulutus.

Hybridimalli näyttää selvästi, kuinka merkittävä vaikutus on energiantuotannon päästöprofiililla koko kuluttajan hiilijalanjälkeen. Merkitys nousee entistäkin oleellisemmaksi, kun huomioidaan muihin sektoreihin sisältyvä energiankulutus, erityisesti hyödykkeiden tuotantoprosesseissa käytetty energia, joka tulee malliin mukaan kunkin hyödykkeen hinnan kautta.

Matalahiiliasumisen skenaariot

EU:n tavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä [24]. Myös huomattavasti korkeampia päästövähennysvaatimuksia on esitetty ja sopimusneuvottelut laajasta kansainvälisestä sopimuksesta Kioton sopimuksen jatkoksi ovat käynnissä. Esimerkiksi Lontoossa on asetettu tavoitteeksi kaupungin hiilijalanjäljen leikkaaminen 60 prosentilla vuoden 1990 tasosta vuoteen 2025 mennessä [31]. Aluekohtaisia tavoitteita matalahiiliyhteisöille tai jopa hiilettömille yhteisöille on asetettu Suomessakin esimerkiksi Helsingin Jätkäsaaren ja Porvoon Skaftkärrin aluekehityskohteissa [33]. Esitettävien matalahiiliskenaarioiden pohjalta voidaan arvioida kehitysmahdollisuuksia suhteessa näihin tavoitteisiin.

Kiinteistöjen osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on yli kolmannes, kuten jo aiemmin tässä raportissa todettiin. Kun muut asumiseen liittyvät toiminnot otetaan huomioon, nousee osuus vielä tästä huomattavasti korkeammaksi. Asumiseen liittyvät matalahiiliratkaisut tulevat siis varmasti olemaan avainasemassa, kun päästövähennyskohteita etsitään nyt ja lähitulevaisuudessa. Toinen oleellinen tekijä on liikenne, joka liittyy oleellisesti asumiseen sijainti- ja tavoitettavuuskysymyksissä.

Asiaa voidaan lähestyä kahta kautta: tuottajan ja kuluttajan näkökulmista. Tuottajan näkökulmaan, eli tuotantoprosessiin, on keskitytty jo pidempään, mutta kuluttajan näkökulman kautta mahdollisuuksien tarkastelu on ollut vähäisempää. Tämä johtuu osaltaan mallinnusongelmista, joita kulutuksen mallintamiseen liittyy. Edellä esitetyt hiilijalanjälkilaskelmat tarjoavat kuitenkin potentiaalisen lähtökohdan myös kuluttajan päästövähennysmahdollisuuksien tarkastelulle tai hiilikulutuksen ymmärtämiselle ja johtamiselle.

Tässä tutkimuksessa mallinnettujen keskimääräisten hiilijalanjälkien perusteella on mahdollista rakentaa skenaarioita matalahiiliasumisen mahdollisuuksista, jotka luovat näkökulmaa hiilikulutuksen johtamisen mahdollisuuksiin. Seuraavassa käydään läpi eri skenaarioiden kautta sekä kuluttajan omiin valintoihin liittyviä mahdollisuuksia että aluekehityksestä vastaavan julkisen tahon mahdollisuuksia matalahiiliasumisen edistämisessä.

Ekologinen kuluttaja: Case Ruoholahti

Ruoholahden keskimääräinen asukas

Hybridimallin mukaan keskimääräisen helsinkiläisen hiilijalanjälki on 13,2 tonnia hiilidioksidiekvivalentteina laskettuna, kun oletetaan hänen käyttävän Helsingin Energian oman tuotannon päästöprofiilin mukaista energiaa (sähkö ja lämpö). Helsinkiläisen päästöjä nostaa erityisesti suhteellisen hiilipitoinen, käytännössä fossiilisiin polttoaineisiin perustuva energiantuotanto.

Ruoholahdessa asuva helsinkiläinen poikkeaa jonkin verran keskimääräisestä kaupunkilaisesta. Hän liikkuu huomattavasti enemmän jalan ja käyttää jonkin verran enemmän myös julkisia kulkuneuvoja. Hänen päivittäinen yksityisautoilusuoritteensa on 7,8 km, kun keskimääräisellä helsinkiläisellä vastaava lukema on 12,0 km [25]. Tämä pienentää merkittävästi hänen kustannuksiaan yksityisautoilun osalta mahdollistaen teoriassa korkeamman kulutuksen ja siten päästöjen aiheuttamisen toisaalla. Toisaalta keskimääräisen Ruoholahden asukkaan käytettävissä olevat tulot jäävät jonkin verran Helsingin keskiarvon alapuolelle [26], joten voidaan ajatella ainoastaan autoilun kustannusten, ja siten myös päästöjen, pienenevän. Edellä rakennetun hybridimallin mukaan Ruoholahden asukkaan hiilijalanjäljeksi tulee näin perustilanteessa 12,9 tonnia CO_2-ekvivalenttia.

Ei yksityisautoilua

Aloitetaan kuluttajan ekologisten valintojen vaikutusten tarkastelu olettamalla kuluttajan valitsevan ainoastaan julkisilla kulkuneuvoilla liikkumisen. Oletetaan ensin, että hänen kokonaiskulutuksensa muuttuu ainoastaan siten, että hänen kulutuksestaan jää yksityisautoiluun keskimääräiseltä asukkaalta kuluva summa pois. Tämän seurauksena hänen hiilijalanjälkensä laskee 11,9 tonniin CO_2-ekvivalenttia.

On todennäköistä, että henkilö, joka ei omista autoa, käyttää jonkin verran keskivertoasukasta enemmän rahaa julkiseen liikenteeseen. Yhteys ei kuitenkaan todennäköisesti ole kovin voimakas, koska julkisen liikenteen lippujen hinnat riippuvat vain suhteellisen heikosti kuljetun matkan pituudesta ja jopa matkojen määrästä (kuukausiliput). Vaikka tällainen yhteys olisikin olemassa, on siirtymä silti toivottava hiilijalanjäljen näkökulmasta, koska yksityisautoilun hiili-intensiteetti on korkeampi kuin julkisen liikenteen.

Ei ulkomaanmatkoja

Oletetaan seuraavaksi ekologisen kuluttajan valitsevan elämäntavan, johon ei kuulu ulkomaanmatkoja. Oletetaan myös, että ulkomaanmatkailu tapahtuisi lentäen. Huolimatta lentoliikenteeseen liittyvästä keskustelusta, jota on käyty julkisuudessa viime aikoina, on lentämisestä kieltäytymisellä suhteellisen rajallinen vaikutus kuluttajan hiilijalanjälkeen. Perusasukkaan aiheuttaessa vuositasolla elinkaarivaikutuksena 0,89 t CO_2-ekv. hiilidioksidipäästöt ulkomaanmatkailusta, putoaa ekologisen kuluttajan jalanjälki 11,0 tonniin. Vaikutus jää kuitenkin pienemmäksi, jos kuluttaja vastaavasti matkustaa kotimaassa tai tekee ulkomaanmatkoja autoillen tai laivalla.

Uusiutuvat energiamuodot

Oletetaan nyt kuluttajan siirtyvän uusiutuvan energian, jonka tuotannon päästöt ovat 0 g/kWh, käyttäjäksi. Esimerkiksi vesivoima ei aiheuta tuotannon hiilidioksidipäästöjä, mutta vesivoiman ja sen jakeluverkon rakentaminen aiheuttaa päästöjä (sekä paljon keskusteltuja muita ympäristövaikutuksia, jotka kuitenkin jäävät tämän tarkastelun ulkopuolelle). Mahdollisimman realistisen kuvan saamiseksi oletetaan vesivoiman rakentamiseen ja siirtoon liittyvien päästöjen vastaavan keskimääräisen energiantuotannon tuotantovaihetta edeltävien elinkaarivaiheiden päästöjä.

Energiankulutuksen päästöjen muodostaessa suurimman yksittäisen kategorian kuluttajan hiilijalanjäljessä, on energiavalinnoilla merkittävä vaikutus jalanjälkeen. Jos kuluttaja voisi päättää 100 % osuudesta käyttämästään energiasta, hänen hiilijalanjälkensä putoaisi merkittävästi, aina 7,6 tonniin CO_2-ekvivalenttia.

Käytännössä Ruoholahdessa asuva kuluttaja voi kuitenkin vaikuttaa ainoastaan oman käyttösähkönsä osuuteen huomattavalta osalta taloyhtiön energiasta, erityisesti lämmöstä, koostuvasta kokonaiskulutuksestaan. Kun huomioidaan vain tämä osuus, alenevat hiilidioksidipäästöt ainoastaan 0,6 tonnilla, ja ekologisen kuluttajan realistiseksi hiilijalanjäljeksi muodostuu 10,4 tonnia CO_2-ekvivalenttia. Nähdään siis, että kerrostalossa asuva kuluttaja voi todellisuudessa vaikuttaa vain hyvin rajallisesti energiankulutuksensa päästöihin energiavalinnoillaan.

Asumiseen liittyvät valinnat

Kuluttajan hiilijalanjäljen seuraavaksi merkittävin osuus muodostuu Asumisen (ilman energiaa) noin kolmen tonnin päästöistä. Kategorian sisällä suurin yksittäinen tekijä on rakentaminen, kuten kuvio 7 osoitti. Rakentamisen osuus korjausrakentaminen huomioiden on noin 50 % kaikista kategorian hiilidioksidipäästöistä. Vastaavasti esimerkiksi jätteiden ja veden ja jäteveden osuudet ovat vain 3,5 % ja runsaat 6 % asumisen päästöistä tässä kategoriassa.

Edellä käsiteltiin jo asumisen tiiviyden ja päästöjen yhteyttä, ja todettiin tiiviimmällä asumisella olevan huomattava vaikutus päästöihin. Merkittävin tapa, jolla kuluttaja voi halutessaan vaikuttaa asumisen päästöihin, on asuinneliöiden vähentäminen. Norman et al. päätyivät tutkimuksessaan tulokseen, jonka mukaan tiivis keskusta-asuminen on 2,0–2,5 kertaa väljää esikaupunkiasumista hiilitehokkaampaa [16]. Tämän tutkimuksen hybridimallin mukaan yhteys ei ole yhtä voimakas, mutta vaikutus on kuitenkin merkittävä.

Neliöiden vähentäminen vaikuttaa päästöihin voimakkaasti, koska neliöiden määrä vaikuttaa rakentamisen lisäksi suoraan kone- ja kalustetarpeisiin sekä kaikkiin yhtiövastikkeen tai vuokran kautta kuluttajan hiilijalanjälkeä kasvattaviin päästöihin. Neliöiden vähentäminen vaikuttaa myös energiankulutukseen sekä suoraan että välillisesti taloyhtiöenergian kautta.

Keskimääräisellä helsinkiläisellä on käytössään 34,2 asuinneliötä [14]. Vertailukohteeksi voidaan ottaa esimerkiksi Tokio, jossa vastaava neliömäärä per capita on 28,9 m^2 [29]. Tokio kuuluu erittäin korkean elintason alueisiin, joten tiivis asuminen ei johdu alhaisesta elintasosta, vaan on kaupunkisuunnitteluun ja elämäntapaan liittyvä valinta. Tiivistämällä asuintilaansa Japanin keskiarvoa vastaavaksi, eli noin 15 prosentilla, ekologinen kuluttaja pienentäisi hiilijalanjälkeään panos-tuotos-mallin mukaan asumisen (ilman energiaa) osalta 0,46 tonnilla. Jos lisäksi oletetaan asumisen energiatarpeen pienenevän lineaarisesti neliöiden suhteessa, yhteisvaikutus kasvaa 1,16 tonniin, ja ekologisia valintoja tekevän kuluttajan hiilijalanjälki putoaa 9,2 tonniin hiilidioksidiekvivalenttia. Yhden neliön vaikutus hiilijalanjälkeen olisi tämän mukaisesti siis noin 0,22 tonnia.

Palveluiden kulutus

Ekologisen kuluttajan valintoihin kuuluu myös palveluiden suosiminen tavaroiden sijaan. Nämä valinnat liittyvät erityisesti ylellisyyshyödykkeiden kulutukseen, koska välttämättömyyshyödykkeiden osalta vastaavaa valintaa ei ole mahdollista tehdä.

Julkisuudessa usein esitetty tavoite tavaroiden korvaamisesta palveluilla siirryttäessä kohti kestävämpää yhteiskuntaa ei kuitenkaan välttämättä toteudu aivan yksiselitteisesti hiilidioksidipäästöjä tarkasteltaessa. Palveluiden hiilijalanjälki näyttäisi olevan hyvin lähellä tavaroiden vastaavaa kun myös välttämättömyyshyödykkeet otetaan tarkasteluun. Tämän tutkimuksen panos-tuotos-mallin mukaan palveluiden hiili-intensiteetti on noin 15 % alhaisempi kuin tavaroiden. Vastaavan suuntaisia tuloksia on saatu myös muissa tutkimuksissa [13, 27].

Selvää on, että suorat tuotantoon liittyvät päästöt ovat palveluiden tuotannossa usein pienempiä, mutta huomioitaessa koko tuotannon elinkaari näin ei välttämättä ole, koska useiden palveluiden tuottaminen vaatii paljon energiaa ja raaka-aineita jossain vaiheessa tuotantoketjua. Voidaan kuitenkin sanoa, että palveluiden painottaminen kulutuksessa voi johtaa hiilijalanjäljen alenemiseen valittaessa hiilitehokkaita palveluita, jollaisia näyttäisivät olevan erityisesti virkistys- ja kulttuuripalvelut sekä jossain määrin ravitsemuspalvelut [9, 13]. Usein palveluihin liittyy myös oleellisesti tavaroiden kulutusta. Liikunta- ja vapaa-ajanpalvelut ovat melko hiilitehokkaita itsessään, mutta niihin hyvin usein liittyy kiinteästi kestokulutustavaroiden kulutusta, joka taas on melko heikko sektori hiilitehokkuudeltaan.

Koska kulutuksensa ekologisista vaikutuksista kiinnostuneenkin kuluttajan on haastavaa arvioida toimiensa vaikutuksia tältä osin, ei kuluttajan hiilijalanjälki tässä skenaariossa alene palveluiden kulutuksen painottamisen seurauksena.

Ekologinen kuluttaja: Case Porvoo

Porvoon keskimääräinen asukas

Hybridimallin mukaan keskimääräisen porvoolaisen hiilijalanjälki on 10,3 tonnia hiilidioksidiekvivalentteina laskettuna, kun oletetaan hänen käyttävän Porvoon Energian oman tuotannon päästöprofiilin mukaista energiaa. Edellä nähtiin, että helsinkiläisen vastaava luku on merkittävästi korkeampi, 13,2 tonnia CO_2-ekv., johtuen Helsingin Energian tuotannon hiili-intensiivisyydestä.

Ei yksityisautoilua

Keskimääräisen porvoolaisen yksityisautoilusta aiheutuva hiilijalanjälki on huomattavasti suurempi kuin helsinkiläisen, 1,95 tonnia CO_2-ekvivalenttia. Yksityisautoilusta luopumisen vaikutuksista hiilidioksidipäästöihin voidaan tehdä useita skenaarioita riippuen oletuksista.

Oletetaan ensin kuluttajan käyttävän aiemmin polttoaineisiin käyttämänsä rahamäärän tarjolla olevilla julkisen liikenteen kulkuneuvoilla liikkumiseen, eli linja-autoiluun, ja säästävän aiemmin yksityisajoneuvojen hankintaan käyttämänsä rahamäärän. Mallimme mukaan hänen hiilijalanjälkensä putoaisi tällöin 8,9 tonniin, eli hän saavuttaa tason, joka Helsingin ekologisen kuluttajan oli parhaimmillaan mahdollista saavuttaa. Tätä vaihtoehtoa käytetään ekologisen kuluttajan skenaarion seuraavissa vaiheissa.

VTT:n Lipasto-laskentajärjestelmän päästötietojen mukaan kilometrikohtaisten suorien päästöjen suhteen linja-autolla liikkuminen on noin 2–7 kertaa hiilitehokkaampaa kuin yksityisautoilu riippuen linja-auton matkustajamäärästä [22]. Tästä nähdään, kuinka suuri merkitys tehokkaalla julkisella liikenteellä parhaimmillaan voisi olla.

Kolmas vaihtoehtoinen tapa tarkastella tilannetta Porvoossa on junaradan avaamisen päästövaikutusten arviointi. ENVIMAT-tutkimuksen mukaan raideliikenne on 25 % hiilitehokkaampaa kuin linja-auto- ja taksimatkustaminen [13]. Mikäli oletettaisiin Helsingin jakauman mukaisen jaon raide- ja linja-autoliikenteen välillä toteutuvan myös Porvoossa, siirtyisi liikenteestä 56 % raiteille ja kuluttajan hiilijalanjälki laskisi 8,7 tonniin.

Ei ulkomaanmatkoja

Elintasoeroa mukaillen keskimääräisen porvoolaisen lentäen tapahtuvista ulkomaanmatkoista aiheutuva hiilijalanjälki on jonkin verran pienempi kuin helsinkiläisen, 0,68 tonnia CO_2-ekvivalenttia. Luopumalla ulkomaanmatkailusta ekologisen kuluttajan hiilijalanjälki putoaa 8,2 tonniin.

Uusiutuvat energiamuodot

Asumisen energian (sähkö ja lämpö) merkitys porvoolaisen kuluttajan hiilijalanjäljessä on huomattavasti pienempi kuin Helsingissä, kun oletetaan kuluttajan käyttävän Porvoon Energian tuotantoprofiilin mukaista, sekä Suomen keskiarvoon että Helsingin Energian tuotantoon verrattuna suhteellisen puhdasta energiaa. Suhteellinen puhtaus on seurausta Porvoon Energian energiantuotannon perustumisesta vahvasti uusiutuviin energiamuotoihin [30]. Asumisen energia muodostaa kuitenkin yhä yhtä suuren kuorman keskimääräisen porvoolaisen kuluttajan hiilijalanjälkeen kuin yksityisautoilu, noin kaksi tonnia hiilidioksidiekvivalenttia.

Oletetaan nyt ekologisen kuluttajan valitsevan Helsingin skenaarion tapaan uusiutuvan energiamuodon, josta ei synny tuotannon hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi, kuten Helsingin skenaariossakin tehtiin, oletetaan energian toimitusketjun aiheuttamien päästöjen vastaavan keskimääräisen energiantuotannon tuotantovaiheen ulkopuolisia päästöjä. Jälleen kuluttaja voi vaikuttaa vain oman suoran sähkönkulutuksensa osuuteen merkittävän osuuden kuuluessa taloyhtiön vastuulle energian tuotantotavan valinnan näkökulmasta. Porvoossa tosin kuluttajan valinnan piirissä oleva osuus on Helsinkiä suurempi omakotitaloasumisen suuremmasta määrästä johtuen. Vaikutus jää kuitenkin pieneksi johtuen sähköntuotannon alhaisesta päästöprofiilista. Näin ekologisen kuluttajan hiilijalanjälki laskee ainoastaan 0,17 tonnilla 8,0 tonniin energiavalinnan myötä.

Asumiseen liittyvät valinnat

Porvoolaisen kuluttajan hiilijalanjälkeä hallitsevat asumiseen liittyvistä toiminnoista aiheutuvat päästöt. Keskimääräinen porvoolainen asuu helsinkiläistä huomattavasti väljemmin. Hänellä on käytössään 39,1 neliötä, kun vastaava luku helsinkiläisellä on 34,2 m^2, kuten edellä jo esitettiin. Tältä osin porvoolaisen kuluttajan vaikutusmahdollisuudet ovat siis huomattavat, joskin on pidettävä mielessä, että erityisesti pääkaupunkiseudun ulkopuolisessa asumisessa väljyys liitetään usein vahvasti viihtyvyyteen ja hyvinvointiin.

Kuluttajan vaikutusmahdollisuuksien tarkastelemiseksi oletetaan kuitenkin jälleen kuluttajan valitsevan vertailukohteena käytetyn Tokion keskimääräisen asukkaan neliömäärän, 28,9 m^2. Tämän seurauksena muiden asumisen toimintojen kuin energiankulutuksen hiilijalanjälki putoaa 0,75 tonnilla 2,11 tonniin. Mikäli jälleen oletetaan energiankulutuksen laskevan lineaarisesti neliöiden suhteessa, putoaa kuluttajan hiilijalanjälki 6,8 tonniin hiilidioksidiekvivalenttia. Yhden neliön vaikutus hiilijalanjälkeen olisi Porvoossa tämän mukaisesti siis noin 0,11 tonnia, eli huomattavasti vähemmän kuin Helsingissä johtuen erityisesti puhtaammasta energiasta.

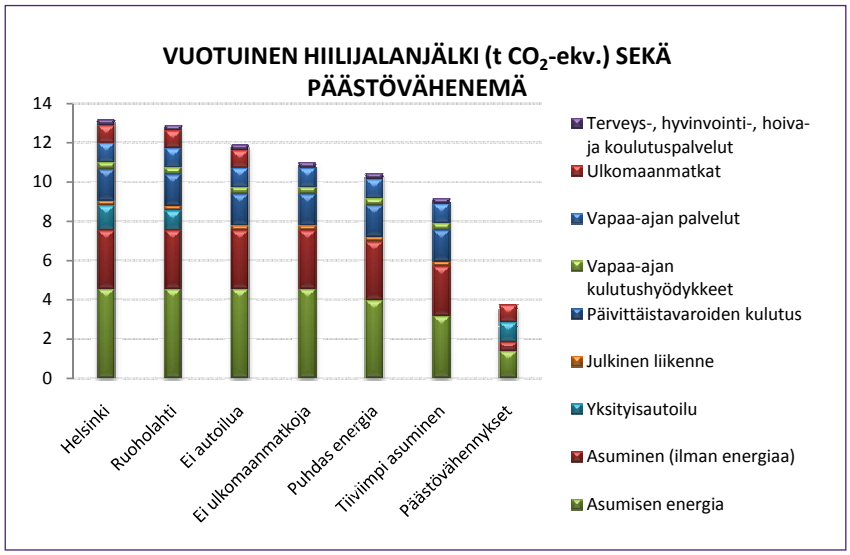
Palveluiden kulutus

Palveluiden kulutukseen liittyvää problematiikkaa käsiteltiin edellä helsinkiläisen ekologisen kuluttajan skenaariossa osiossa 5.1.6. Tämän mukaisesti myöskään porvoolaisen kuluttajan hiilijalanjäljen ei tässä oleteta pienenevän palveluiden kulutuksen painottamisen myötä.

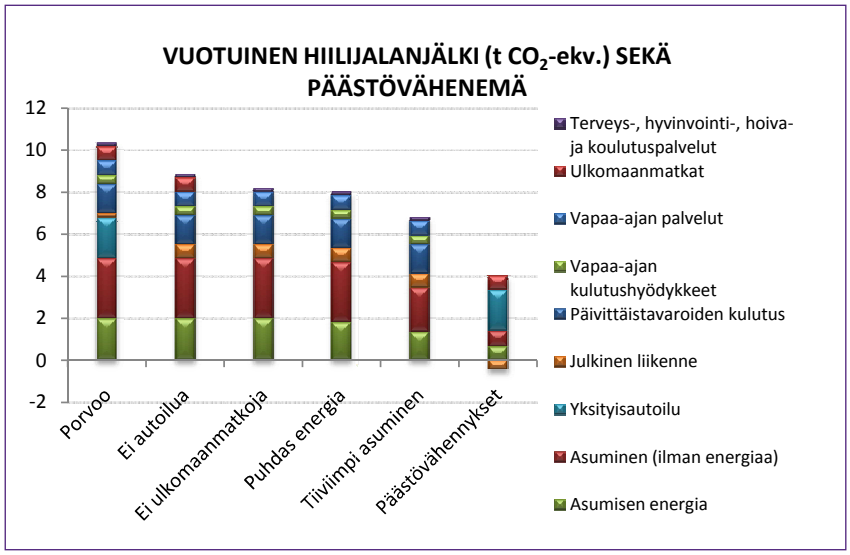
Yhteenveto ekologisen kuluttajan skenaariosta

Ekologisen kuluttajan skenaarion mukaisella toiminnalla kuluttaja onnistui Helsingissä alentamaan hiilijalanjälkeään lähtötilanteen (Ruoholahden perusskenaario) 12,9 tonnista CO_2-ekvivalenttia 9,2 tonniin, eli noin 30 %. Porvoossa ekologinen kuluttaja saavutti 6,8 tonnin hiilijalanjäljen lähtötilanteen 10,3 tonnista, eli hänen onnistui vähentää aiheuttamiaan päästöjä reilulla kolmanneksella. Nämä luvut riittäisivät täyttämään edellä mainitun EU:n ilmastotavoitteen, mutta eivät yllä merkittävästi tätä tiukempien päästövähennysvaatimusten tasolle. Ja koska ekologisen kuluttajan elämäntapa ei ole kaikille mahdollinen, tarvitaan väistämättä sekä rakenteellisia muutoksia että tuotantopuolella tapahtuvaa kehitystoimintaa. Näihin liittyviä näkökulmia tarkastellaan kuitenkin myöhemmin tarkemmin.

Kuviot 9 ja 10 esittävät Helsingin ja Porvoon ekologisten kuluttajien hiilijalanjälkien kehityksen lähtien perusskenaarioista. Molempien kuvioiden viimeinen palkki näyttää päästövähennysten jakautumisen eri sektoreiden kesken. Kuvioista nähdään, että vaikka energiankulutukseen ja asumiseen liittyvät päästöt hallitsevatkin hiilijalanjälkeä, voi ekologisen kuluttajan skenaarion mukainen kerrostalossa asuva kuluttaja henkilökohtaisesti vaikuttaa melko rajallisesti näihin päästöihin. Porvoon osalta yksityisautoilun suuri osuus kuluttajan hiilijalanjäljessä lisää henkilökohtaisilla valinnoilla tarjolla olevia vaikutusmahdollisuuksia.



Kuvio 9: Kuluttajan ekologisten valintojen vaikutus hiilijalanjälkeen Helsingissä.



Kuvio 10: Kuluttajan ekologisten valintojen vaikutus hiilijalanjälkeen Porvoossa.

Ekologisen kuluttajan skenaario ja hyvinvointi

Edellisen skenaarion perusteella nähtiin, että kuluttajan on lähtötilanteesta riippuen mahdollista valinnoillaan saavuttaa kohtuullisin uhrauksin 25–40 % vähennyksen aiheuttamiinsa hiilidioksidipäästöihin. Lisäksi myös Helsingin suhteellisen korkeasta elintasosta nauttiva kuluttaja alitti valintojensa seurauksena selkeästi keskimääräisen suomalaisen aiheuttaman hiilijalanjäljen.

Mitä tapahtuu näitä valintoja tekevän kuluttajan hyvinvoinnille? Ei ainakaan ole missään nimessä selvää, että kuluttajan elintaso tai elämänlaatu heikkenisi. Kyse on vahvasti preferensseistä. Ruoholahti tarjoaa otollisen alueen esimerkiksi autottomalle elämälle, mutta jollekin julkinen liikenne ei ole vaihtoehto joko esimerkiksi työhön tai harrastuksiin liittyvistä tarpeista johtuen tai yksinkertaisesti hänen preferensseistään johtuen. Porvoon osalta autoilusta luopumisella voi vaikuttaa merkittävästi hiilijalanjälkeen, mutta todennäköisesti ekologisista syistä tällaiseen valintaan päätyvät suhteellisen harvat nykyisellä julkisen liikenteen infrastruktuurilla.

Jos ajatellaan kuluttajan arvomaailman tukevan ekologisia valintoja, hänen hyvinvointinsa luultavasti kasvaa näiden valintojen seurauksena. Skenaariomme mukaan luopumalla autoilusta ja lentomatkustamisesta ekologiselle kuluttajalle jää molemmissa kaupungeissa noin 2.000 euroa keskimääräistä kaupunkilaista enemmän käytettäväksi muuhun kulutukseen ja siten hyvinvoinnin lisäämiseen. Asumisen tiivistäminen saattaa johtaa myös kustannussäästöihin, mutta yhteys on epävarmempi.

Ilmeisistä epävarmuuksista huolimatta tällainen tarkastelu on mielekäs osoittamaan, ettei hyvinvoinnin kasvattaminen ole ainakaan suorassa ristiriidassa ekologisten valintojen kanssa. Näin siksi, että tarkastelua tehtäessä on otettava huomioon, että kuluttaessaan toisaalla säästämäänsä rahaa, kuluttaja aiheuttaa toisaalla aina uusia päästöjä. Lisäksi ekologiset valinnat saattavat olla kuluttajalle vähemmän ekologisia kalliimpia, kuten useimmiten esimerkiksi uusiutuvan energian tapauksessa on tilanne.

Yhteiskunta ja yhteisöt ekologisten valintojen tekijöinä

Kuluttaja voi tehdä valintoja kulutuskäyttäytymisensä suhteen. Tuotantotavat jäävät lähes täysin näiden päätösten ulkopuolelle, lukuun ottamatta kysynnän kautta tapahtuvaa vaikuttamista ja mielipiteiden osoittamista. Lisäksi useat yhteisöt vaikuttavat kuluttajan hiilijalanjälkeen myös hankintapäätöstensä kautta, kuten edellä esitetty taloyhtiön energiavalintatilanne osoitti.

Siksi erittäin suuri merkitys on laajemmalla yhteiskunnallisella muutoksella. Karkeasti kahden kolmasosan kuluttajan hiilijalanjäljestä voidaan sanoa liittyvän tekijöihin, joihin yhteiskunnan rakenteilla on merkittävä vaikutus. Asumisen energia, rakentaminen ja liikkumiseen liittyvä infrastruktuuri ja sijoittumiskysymykset ovat kaikki vahvasti yhteiskunnan rakenteiden seurauksena suurempia tai pienempiä päästöjä aiheuttavia tekijöitä. Rakenteellisten muutosten lisäksi hyppäyksenomaisia pudotuksia kuluttajien hiilijalanjäljissä on mahdollista saavuttaa teknologisen kehityksen kautta, jossa taas yritykset ovat avainasemassa. Voidaankin sanoa, että todellisiin matalahiiliratkaisuihin pyrittäessä ensisijaisia ovat yhteiskunnalliset rakenteelliset ratkaisut sekä teknologiset innovaatiot.

Energiavalinnat ja energiantuotanto

Edellä nähtiin kuluttajan voivan energiavalinnoillaan vaikuttaa vain hyvin rajallisesti energiankulutuksensa aiheuttamiin päästöihin. Yhteiskunnan ja sen eri yhteisöjen mahdollisuudet ovat huomattavasti laajemmat. Helsinkiläisen ekologisen kuluttajan skenaariossa näytettiin, että kuluttajan hiilijalanjälki laskisi peräti runsaalla kolmella tonnilla, mikäli kuluttajan valinta vaikuttaisi kaikkeen hänen asumisen energiankulutukseensa. Vaikka ekologinen kuluttaja joutuikin tyytymään ainoastaan oman sähköenergiankulutuksensa mukaiseen osuuteen, ja siten reilun 0,5 tonnin hiilijalanjälkivaikutukseen, on loppuosa muiden yhteiskunnan toimijoiden vaikutuspiirissä.

Yksinkertaisimmillaan taloyhtiö voi tehdä päätöksen puhtaamman energian hankinnasta. Vaihtoehtoisesti aluekehitystoimijat kaavoituksesta rakentajaan voivat toimia valinnan tekijöinä esimerkiksi alueellisten energiaratkaisuiden kautta. Pelkästään tällaisella ratkaisulla olisi mahdollista supistaa keskimääräisen helsinkiläisen hiilijalanjälkeä noin 25 %. Mikäli tämä yhdistettäisiin ekologisen kuluttajan ratkaisuihin, saataisiin kuluttajan hiilijalanjäljestä leikattua pois 50 % verrattuna keskimääräiseen kuluttajaan. Porvoossa skenaarion mukaisen, tuotantovaiheessa päästöttömän, energian vaikutus olisi merkittävästi pienempi johtuen lähtökohtaisesti suhteellisen vähäpäästöisestä energiasta, kuten edellä on näytetty.

Toinen näkökulma energiankulutukseen liittyviin päästöihin löytyy puhtaamman tuotannon kerrannaisvaikutusten merkityksen tarkastelusta. Puhtaammalla tuotannolla saadaan suoran vaikutuksen lisäksi kerrannaisvaikutuksia, kun kulutuksen kautta syntyvät päästöt vähenevät kaikkialla tuotanto- ja jakeluketjuissa. Vaikka merkittävä osa tuotanto- ja jakeluvaiheiden energiankäytöstä kohdentuukin ulkomaankaupan kautta eri puolille maailmaa, on tuotantoteknologian kehittäminen merkittävin vaikutuskeino matalahiiliratkaisuihin pyrittäessä. 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.

Aluesuunnittelu

Energiaratkaisuiden lisäksi sijoittumis-, liikenne- ja tiiviyskysymyksissä yhteiskunta ja yhteisöt vaikuttavat erittäin merkittävästi kuluttajan hiilijalanjälkeen yhteiskuntarakenteiden sekä teknologisten ratkaisuiden kautta. Tässä osiossa tarkastellaan erityisesti tiiviys- ja sijoittumiskysymyksiä. Liikenneratkaisuja käsitellään omana kokonaisuutenaan seuraavassa osiossa.

Edellä nähtiin yhden neliön tiivistämisen vaikutuksen olevan 0,11–0,22 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia asumisen hiilijalanjäljessä riippuen energian päästöprofiilista, kun energiankulutuksen oletetaan vähenevän samassa suhteessa tilan supistumisen kanssa. Tältä pohjalta ei kuitenkaan ole mielekästä olettaa edellä käsitellyn ekologisen kuluttajan hiilijalanjäljen laskevan, koska skenaariossa oletettiin hänen jo luopuvan 15 prosentista asuinneliöitään. Toisaalta voidaan olettaa, että vain hyvin harva kuluttaja on nykyisten yhteiskuntarakenteiden vallitessa halukas tekemään päätöstä asuinneliöidensä tiivistämisestä ekologisin perustein. Näin yhteiskunnan ja aluekehitystoiminnan osapuolten merkitys kasvaa suureksi. Alue- tai jopa kansantalouden tasolla tapahtuva tiivistäminen vaikuttaa merkittävästi koko yhteiskunnan hiilidioksidipäästöihin. Kovin merkittävät supistukset asuinneliöissä eivät ole kuitenkaan realistisia skenaarioita, mikä kaventaa tiiviyteen liittyviä vaikutusmahdollisuuksia.

Sijoittumiskysymykset ovat toinen aluesuunnitteluun liittyvä, kuluttajan hiilijalanjäljen kannalta oleellinen näkökulma. Edellä esitettyjen Henkilöliikennetutkimuksen tulosten mukaan Porvoossa autoillen liikutut kilometrit ylittävät yli kaksinkertaisesti Helsingin lukeman. Vastaavasti helsinkiläinen käyttää liikkumisestaan noin 30 prosenttiin julkisia kulkuneuvoja, kun Porvoon vastaava prosentti on 10 [8].

Oleellinen tekijä sijoittumiskysymyksiä pohdittaessa on syy liikkumisen ja erityisesti yksityisautoilun taustalla. Usein työmatkaliikenteeseen kiinnitetään paljon huomiota muista syistä tapahtuvan autoilun jäädessä sivurooliin. Yllä mainittu Henkilöliikennetutkimus kuitenkin näyttää, että työmatkaliikenteen osuus yksityisautoilusta on Helsingissä vain noin 25 % ja Porvoossa noin 40 % muun ajamisen liittyessä vapaa-ajan toimintoihin. Tältä pohjalta voidaan esittää, että ostoksiin ja vapaa-ajan harrastuksiin liittyvät sijoittumisratkaisut ovat oleellisia pyrittäessä kohti matalahiilistä yhteiskuntaa. Tiiviyden näkökulmasta oleellista on ystävien ja tuttavien tapaamisiin liittyvän ajamisen merkittävä osuus vapaa-ajan autoilusta. Tiiviit kaupunkirakenteet vähentävät tehokkaasti liikuttuja kilometrejä vaikka liikkumismuotorakenne säilyisi entisellään.

Joukkoliikennepalvelut

Valinta yksityisautoilun ja joukkoliikenteen käytön välillä on täysin kuluttajan päätös. Valinnalla on myös merkittävä vaikutus kuluttajan hiilijalanjälkeen. Se, kuinka houkuttelevalta joukkoliikenteen käyttö vaikuttaa kuluttajalle, riippuu kuitenkin vahvasti tarjolla olevasta julkisen liikenteen infrastruktuurista. Tutkimalla infrastruktuuriratkaisuiden merkitystä kuluttajan liikkumismuotovalinnoissa voidaan tarkastella liikenteen päästöihin kohdistuvia vaikutusmahdollisuuksia.

YTV:n Liikkumistutkimuksen mukaan kantakaupungin asukas käyttää matkoistaan vain noin 37 prosenttiin henkilöautoa, kun vastaava luku esikaupunkialueen asukkaalla on noin 54 % [25]. Päivittäinen henkilöautosuorite on myös noin kolmanneksen alhaisempi kuin esikaupunkialueilla, kuten edellä jo kerrottiin. Tällä perusteella Ruoholahdessa asuvan kuluttajan hiilijalanjälki on 0,26 tonnia pienempi kuin helsinkiläisellä keskimäärin.

Porvoon osalta nähtiin, että vaihtaminen julkiseen liikenteeseen alensi hiilidioksidipäästöjä noin 1,5 tonnilla. Nykyisellä liikenneinfrastruktuurilla merkittäviä muutoksia ei kuitenkaan laajemmassa mittakaavassa voida odottaa. Henkilöliikennetutkimuksen mukaan 90 % porvoolaisten liikkumisesta tapahtuu henkilöautolla ja vain 10 % julkisilla kulkuneuvoilla [8]. Vertailukohteiksi voidaan Helsingin lisäksi ottaa Hyvinkää ja Kerava, joiden avulla päästään arvioimaan raideliikennevaihtoehdon merkitystä kuluttajan liikkumisratkaisuissa. Näissä junaliikenteen osuus on lähes 20 % kaikesta liikkumisesta. Lisäksi henkilöautosuorite on Keravalla vain runsaat 50 % Porvoon lukemasta ja Porvoon kanssa samalla etäisyydellä sijaitsevalla Hyvinkäälläkin 30 % pienempi kuin Porvoossa [8].

Olettamalla Hyvinkäätä vastaavan muutoksen tapahtuvan Porvoossa Helsingin ja Porvoon välisen lähijunayhteyden avaamisen myötä, saadaan kuva päästövaikutuksista. 30 % pudotus yksityisautoilun päästöissä tarkoittaisi 0,58 tonnin pudotusta kuluttajan vuotuiseen hiilijalanjälkeen. Raiteille siirtyvä 20 % osuus liikkumisesta kuitenkin kutistaisi pudotuksen noin 0,40 tonniin hiilidioksidiekvivalenttia.

Aiempaan ekologisen kuluttajan skenaarioon verrattuna kuluttajan hiilijalanjälki ei raideyhteyden myötä alene, koska skenaariossa oletettiin kuluttajan luopuvan kokonaan yksityisautoilusta. Raideyhteys kuitenkin toisaalta tekisi autoilusta luopumisen realistiseksi vaihtoehdoksi, ja toisaalta alentaisi päästöjä kerrannaisesti linja-autoliikenteen raideliikenteellä korvautumisen kautta.

Yhteenveto yhteiskunnan ja yhteisöjen vaikutusmahdollisuuksista

Kuluttajan hiilijalanjälkilaskelmat osoittivat, että noin kaksi kolmasosaa jalanjäljestä syntyy asumiseen ja liikkumiseen liittyvistä toiminnoista, joihin yhteiskunnalla ja aluekehitystoimijoilla on merkittävä vaikutus. Toisaalta ekologisen kuluttajan skenaariot osoittivat, että olemassa olevilla rakenteilla ja vallitsevalla teknologialla kuluttaja kykeni omilla päätöksillään vaikuttamaan omaan hiilijalanjälkeensä vain suhteellisen rajallisesti.

Kuluttajalla on toki päätösvaltaa oman hiilijalanjälkensä suhteen. Hän voi valita, käyttääkö joukkoliikennettä vai ajaako henkilöautolla. Hän voi valita oman asumismuotonsa ja käyttämänsä sähkön sekä tuotannon että käyttömäärän osalta. Yhteiskunnalla ja monilla yhteisöillä on kuitenkin erittäin merkittävä rooli ekologisten päätösten mahdollistajana ja niihin kannustajana. Lisäksi, kuten edellä nähtiin, merkittävimmin kuluttajan hiilijalanjälkeen vaikuttavat valinnat ovat kuluttajan päätösvallan ulottumattomissa.

Matalahiiliratkaisuista merkittävin potentiaali liittyy energiaratkaisuihin. Energiantuotannon päästöt aiheuttavat valtaosan kuluttajan hiilijalanjäljestä suoraan ja vielä suuremman osan välillisesti kulutushyödykkeiden tuotantoon käytetyn energian kautta. Puhtaampi tuotanto vaikuttaisi näin hiilijalanjälkeen huomattavasti edellä mainittua asumisen energiaa laajemmin.

Aluekehityksen ja aluesuunnittelun näkökulmista asumisen tiivistäminen niin pinta-ala/henkilö kuin asukkaita/km^2 -mittareilla ovat tehokkaimmin hiilipäästöjä alentavia toimenpiteitä teknologisen kehityksen ulkopuolella. Tiivistämisellä on myös positiivinen kerrannaisvaikutus hiilijalanjälkeen liikkumisen kautta. Tiivistäminen vähentää liikkumista kokonaisuudessaan, ja johtaa todennäköisesti myös tehokkaampaan ja siten käytetympään joukkoliikenteeseen.

Aluekehityksen ohjaamisen lisäksi yhteiskunta voi vaikuttaa merkittävästi kuluttajan hiilijalanjälkeen tukemalla yritysten matalahiiliratkaisuihin johtavaa kehitystoimintaa sekä kannustamalla kuluttajia hiilitehokkaisiin valintoihin. Energian kulutuksen vähentämisen tukemisella voi myös olla positiivinen kerrannaisvaikutus hyvinvointiin, koska kulutuksen alentaminen johtaa usein kustannussäästöihin ja mahdollistaa sitä kautta hyvinvoinnin kohoamisen.

Yllä esitetyt esimerkit listaavat yksittäisiä toimenpiteitä (indikaattoreita), joilla yhteiskunta pystyy arvioimaan asumisen alueellista hiilijalanjälkeä. Käytännössä yksittäiset indikaattorit näyttävät usein eri suuntiin eri alueilla. Tästä hyvänä esimerkkinä on Helsingin ja Porvoon välinen vertailu, jossa Helsingin matalahiili-indikaattorit näyttävät melkein poikkeuksetta paremmilta kuin Porvoon, mutta silti Porvoon hiilijalanjälki on pienempi johtuen merkittävästi paremmasta energiantuotannon ratkaisusta. Jatkossa olisikin tärkeä ymmärtää kuinka voimakas ristiinkytkentä yhdyskuntarakenteella on eri matalahiiliasumisen indikaattorien kanssa. Hyvää tutkittua tietoa löytyy jo esimerkiksi siitä, että tiiviimpi asuminen puoltaa parempia joukkoliikenneyhteyksiä. Jatkossa pitäisi myös tutkia muiden matalahiiliasumisen keskeisten indikaattorien suhteet. Voidaan esimerkiksi kysyä, suosiiko väljempi yhdyskuntarakenne hajautettujen uusiutuvien energialähteiden käyttöä, ja onko hiiletön kaukolämpöratkaisu mahdollinen suurissa kaupungeissa nykyteknologialla.

Tulosten arviointi

Tulosten yleistettävyys ja vertailukelpoisuus

Aiheuttaja- ja kohdentumisperiaatteet

Lähtötietoihin, taustaoletuksiin sekä käytettävään malliin liittyy aina epävarmuuksia, jotka saattavat saada samaa aihepiiriä käsittelevien tutkimusten tulokset eroamaan merkittävästi toisistaan. Hiilijalanjälkilaskelmissa näin voi käydä 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 mielekästä 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 päästökauppamekanismi.

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.

Tulosten asemointi suhteessa aiempiin tutkimuksiin

Vastaavia alueellisia hiilijalanjälkitutkimuksia on toteutettu vähän. Useimmissa tapauksissa hiilijalanjälkiä on laskettu käyttäen kohdentumisperiaatetta, jolloin teollisuuskaupunki (esim. Rauma) tai vilkas kauttakulkukaupunki (esim. Mäntsälä) saa väistämättä heikon tuloksen kulutuksen volyymista 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 10,6 tonnia CO_2-ekv. ENVIMAT-tutkimuksen tulosten pohjalta laskettu vastaava keskimääräisen kuluttajan hiilijalanjälki vuoden 2005 kulutuksella olisi 10,1 t CO_2-ekv. [13]. Junnila on lisäksi aiemmin laskenut keskimääräisen suomalaisen hiilijalanjäljeksi samoin 14,6 t CO_2-ekv. [38]. Huomionarvoista on myös, että näissä tutkimuksissa löydettiin samat merkittävimmät tekijät kuluttajan hiilijalanjäljen selittäjiksi.

Tuloksia voidaan validoida myös toista kautta. Tilastokeskuksen kasvihuonekaasuinventaario allokoituna per capita -tasolle antaa kuluttajan hiilijalanjäljeksi 15,1 t CO_2-ekv. [14]. Tämä on kuitenkin kohdentumisperiaatteen perusteella syntyvä luku, joten tuonti ja vienti saattavat vaikuttaa lukuun merkittävästi.

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. Seuraavassa analysoidaan merkittävimpiä epävarmuuksia ja niiden mahdollisia vaikutuksia tuloksiin.

Panostiedot

Ensisijaisina panostietoina käytettiin Tilastokeskuksen kulutustutkimusdataa [7]. Kansantalouden tasolla ja vielä laajojen alueiden ja suurimpien kaupunkien tasoilla tätä voidaan pitää erittäin luotettavana tietolähteenä suuresta otoskoosta 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 tulotasoissa ja siten kulutuksen volyymissa että erityisesti kestokulutushyödykkeisiin kohdistuvaa kulutusta. Tulokset kuitenkin noudattivat hyvin ennakkohypoteeseja, minkä lisäksi vuoden 2001 tutkimusdatan tiedoilla tehty vertaileva analyysi antoi hyvin samankaltaisen kuvan hiilijalanjäljistä kuin vuoden 2006 datalla tehty mallinnus.

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 volyymiin [13].

kulutuksen hiilidioksidipäästöihin sekä todellisen kulutuksen volyymiin [13]. Prosessidatan osalta tiedot ovat periaatteessa tarkkoja päästö-, määrä- tai hintatietoja kustakin prosessista. Hybridimallinnuksen osalta epävarmuudet liittyvät erityisesti mahdollisiin vuosikohtaisiin vaihteluihin näissä tiedoissa. Esimerkiksi energiantuotannon ominaispäästöjen mittauksen perusvuodeksi valittiin vuosi 2007 lähtötietojen yhdenmukaistamiseksi. Kyseisenä vuonna Helsingin Energian ominaispäästöt olivat noin 10 % pienemmät kuin tutkimuksen yleisenä viitevuotena 2006 [23]. Koska energian rooli kuluttajan hiilijalanjäljessä on merkittävä, putoaa helsinkiläisen hiilijalanjälki 0,22 tonnilla tämän ominaispäästöjen vaihtelun seurauksena.

Laskentamallit

Toinen mahdollinen virheiden lähde on kussakin tutkimuksen vaiheessa 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 Matthewsin 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. Lisäksi käytettyjen rahasummien pohjalta tapahtuva laskenta saattaa 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.

Yhteenveto

Matalahiiliasumisen mahdollisuuksia tutkittaessa huomio tulee kiinnittää laajasti koko kulutukseen – eli kuluttajan hiilijalanjälkeen. Näin päästään tarkastelemaan niin erilaisten kehitystoimenpiteiden kuin kuluttajan omien valintojen vaikutusta hiilidioksidipäästöihin.

Tässä tutkimuksessa hiilijalanjälkiä tarkasteltiin panos-tuotos- ja hybridi-LCA-mallien avulla. Menetelmien avulla saadaan suhteellisen nopeasti rakennettua kattava kuva kulutuksen hiilivaikutuksista hiukan uudesta näkökulmasta. Hybridimallin avulla kyetään myös tarkkuutta nostamaan alueellisten erityispiirteiden huomioinnissa. Näin mallien avulla on mahdollista tehokkaasti osoittaa merkittävimpiä vaikutusmahdollisuuksia sekä simuloida kehitystoimenpiteiden vaikutuksia. Toisaalta suorissa panos-tuotos- tai vahvasti panos-tuotos-pohjaisissa hybridimallinnuksissa täytyy aina huomioida mallien antamien tulosten perustuvan toimialojen keskiarvoihin. Vaikka tarkkuudessa ei päästäkään prosessimallien tasolle, voidaan suhteellisen vahvoja johtopäätöksiä tehdä, kun epävarmuudet huomioidaan oikein.

Tämän tutkimuksen kohteena olleen hiilikulutuksen tarkastelua varten rakennettiin ensin panos-tuotos-pohjainen elinkaarimalli, jonka avulla saatiin luotua teoriassa täydellinen, kaikki toimitus- ja alihankintaketjut huomioiva kuva kulutuksen kasvihuonekaasuvaikutuksista. Teoriassa siksi, että panos-tuotos-mallinnus hyödyntää keskimääräisiä tuotoksia kutakin panosta kohden, ja antaa siten vain karkean kuvan todellisesta tilanteesta. Tämän jälkeen mallia kehitettiin hybridi-LCA-malliksi, joka huomioi prosessidatan avulla kulutuksen alueelliset erityispiirteet.

Mallinnus eteni kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa mallinnettiin kolme laajaa, toisistaan selvästi poikkeavaa aluetta sekä Helsinki ja sen valikoituja ympäryskaupunkeja käyttäen Yhdysvalloissa kehitettyä EIO-LCA-mallia [9]. Tässä vaiheessa tavoitteena oli tarkastella eroja hiilijalanjäljissä ainoastaan kulutuksen volyymin ja kulutusrakenteen pohjalta ilman alueellisten teknologiapohjaisten tai infrastruktuuriin liittyvien muuttujien huomiointia.

Tämän ensimmäisen vaiheen mallinnuksen perusteella havaittiin, että kuluttajien hiilijalanjälkien rakenteet alueiden välillä poikkeavat merkittävästi toisistaan. Syyt voidaan jakaa aluerakenteellisiin ja elintasopohjaisiin, kuten mallinnuksen yhteydessä näytettiin. Merkittävää on aluerakenteiden merkitys kuluttajan hiilijalanjäljen määräytymisessä. Huomattavaa on, että rakenteelliset erot nousevat jopa elintasoeroja merkittävämmiksi. Korkeampi elintaso ei siis välttämättä merkitse suurempaa hiilijalanjälkeä.

Mallinnuksen perusteella pääkaupunkiseudulla asuvan kuluttajan hiilijalanjäljeksi saatiin 12,6 t CO_2-ekv. noin 17.500 euron yksityisen kulutuksen volyymilla. Itä-Suomessa hiilijalanjälki on mallin perusteella 12,1 tonnia 12.600 euron kulutuksella ja maaseutumaisissa kunnissa 11,4 tonnia 12.200 euron kulutuksella.

Toinen merkittävä havainto oli asumisen ja liikkumisen hallitseva osuus kuluttajan hiilijalanjäljessä. Alueesta riippumatta nämä määrittivät noin kaksi kolmasosaa hiilijalanjäljestä. Tulos vastaa tosin aiempia hiilijalanjälkilaskelmia, mutta hälventää osaltaan vääriä näkemyksiä kulutuksen hiilivaikutuksista ja siten matalahiiliratkaisuiden lähtökohdista.

Toisessa vaiheessa samaa mallia hyödynnettiin pääkaupunkiseudun ja sen lähialueiden kaupunkikohtaiseen mallinnukseen. Tämän avulla päästiin tarkastelemaan pääkaupunkiseudun vaikutuspiirissä elävien kuluttajien hiilijalanjälkien vaihteluita asuinalueen ja tähän liittyvän kaupunkirakenteen näkökulmista. Toisen vaiheen mallinnuksen mukaan väljempi asuminen, etäisyys Helsingistä sekä heikot julkisen liikenteen yhteydet, käytännössä lähijunayhteyden puuttuminen, vaikuttavat merkittävästi kuluttajan hiilijalanjälkeen. Mallin mukaan helsinkiläisen kuluttajan hiilijalanjälki on noin 12,7 tonnia noin 17.500 euron yksityisen kulutuksen volyymilla, kun Nurmijärvellä hiilijalanjälki on lähes 18 tonnia, tosin yli 20.000 € kulutustasolla. Kulutuksen tasosta huolimatta alueiden välillä on lähes 20 % ero kulutuksen hiili-intensiteetissä johtuen edellä mainituista aluerakenteellisista syistä.

Kolmannessa vaiheessa mallia kehitettiin merkittäviä alueellisia eroja sekä Suomen kansantalouden ominaispiirteitä huomioivaksi hybridi-elinkaarimalliksi. Hybridimallilla tarkasteltiin Helsingin ja Porvoon asukkaita ja heidän hiilijalanjälkiään. 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, asumiseen ilman energiaa ja yksityisautoiluun sekä julkiseen liikenteeseen liittyviä panos-tuotos-mallin päästötaulukoita.

Hybridimallinnuksen myötä porvoolaisen kuluttajan hiilijalanjälki laski merkittävästi ja alitti Helsingin tason, joka nousi hieman panos-tuotos-mallin antamasta tasosta, kun molempien oletettiin käyttävän alueen oman energiayhtiön tuottamaa keskimääräistä energiaa. Tässä mallinnuksessa helsinkiläisen kuluttajan hiilijalanjäljeksi saatiin 13,2 tonnia CO_2-ekv., kun Porvoon asukkaan jalanjäljeksi tuli 10,3 tonnia hiilidioksidiekvivalenttia.

Hybridimallin avulla tehtiin tämän jälkeen skenaarioanalyysi matalahiiliasumisen mahdollisuuksista, jossa tarkasteltiin Helsingin Ruoholahdessa ja Porvoon keskusta-alueella asuvien kuluttajien mahdollisuuksia pienentää hiilijalanjälkeään, sekä toisaalta yhteiskunnan ja yhteisöjen roolia matalahiiliratkaisuiden toteuttajina ja mahdollistajina. Skenaariot osoittivat, että todellisiin matalahiiliratkaisuihin on mahdollista päästä vain sekä kuluttajien että yhteiskunnan yhteisin toimin. Kuluttajan onnistui omilla päätöksillään alentaa hiilijalanjälkeään ainoastaan 25–40 %, kun taas yhteiskunnallisen päätöksenteon piiriin kuuluu noin kaksi kolmasosaa kuluttajan hiilijalanjäljestä, kuten edellä näytettiin. Lisäksi yhteiskunnan vaikutusmahdollisuuksiin liittyvä skenaario osoitti, että, jopa ilman kerrannaisvaikutusten huomiointia, hiilettömän lämpö- ja sähköenergian käyttö leikkaisi 25 % pois helsinkiläisen kuluttajan hiilijalanjäljestä ilman mitään muita toimenpiteitä. Porvoossa vastaava vaikutus olisi merkittävästi pienempi johtuen energiantuotannon suhteellisen alhaisista päästöistä lähtötilanteessa.

Merkittävää kuluttajan omaan päätöksentekoon liittyen on myös se, ettei kuluttajan hyvinvointi vaikuttaisi automaattisesti kärsivän ekologisista päätöksistä. Lisäksi on selvää, ettei merkittävimmin kuluttajan hiilijalanjälkeen vaikuttava energian päästöprofiili vaikuta millään tavalla kuluttajan hyvinvointiin. Hyvinvoinnista tinkimättä tai sitä jopa kasvattaen näyttäisi olevan mahdollista ottaa merkittäviä askeleita kohti matalahiiliyhteiskuntaa.

Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen pohjalta on mahdollista nostaa esiin muutamia matalahiiliasumisen, ja laajemmin ilmastonmuutoksen hillinnän, tulevaisuutta katsovia johtopäätöksiä. Lisää tutkimusta kuitenkin tarvitaan edellä esitettyihin tuloksiin liittyvien epävarmuuksien poistamiseksi. Seuraavaan on kuitenkin koottu merkittävimpiä tuloksia ja näiden pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä:

- Eri alueilla asuvien kuluttajien hiilijalanjäljet poikkeavat merkittävästi toisistaan.
- Aluerakenteilla on tärkeä rooli erojen selittäjänä.
- Noin kaksi kolmasosaa kuluttajan hiilijalanjäljestä liittyy voimakkaasti aluerakenteellisiin tekijöihin, kuten asumisen energiaan, rakentamiseen sekä liikkumiseen liittyvään infrastruktuuriin ja sijoittumiskysymyksiin.
- Elintason nousu ei välttämättä merkitse hiilijalanjäljen kasvua.
- Kuluttaja voi henkilökohtaisilla valinnoillaan alentaa hiilijalanjälkeään 25–40 %.
- Siirtyminen hiilettömän lämpö- ja sähköenergian käyttöön asumisessa leikkaisi noin neljäsosan kuluttajan hiilijalanjäljestä ilman mitään muita toimenpiteitä.
- Hiilijalanjäljen alentaminen ei automaattisesti merkitse hyvinvoinnin laskua, vaan kuluttajan hyvinvointi saattaa päätösten seurauksena myös kohota.
- Merkittävimmin kuluttajan hiilijalanjälkeen vaikuttava energian päästöprofiili ei vaikuta millään tavalla kuluttajan hyvinvointiin. Hyvinvoinnista tinkimättä tai sitä jopa kasvattaen näyttäisi olevan mahdollista ottaa merkittäviä askeleita kohti matalahiiliyhteiskuntaa.

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/EXTSOCIALDEVELOPMENT/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., Nuuttila, 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 (EIOLCA), 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. Helsingin seutu tilastoina 2006. Helsingin kaupungin tietokeskus, www.hel.fi/tietokeskus (29.9.2009). Ja http://www.porvoo.fi/index.php?mid=335 (2.10.2009).

18. Tilastokeskus, Verkkotietokeskus, www.stat.fi (1.6.2009). Ja Uusimaa lukuina 2008, http://www.uudenmaanliitto.fi/files/1674/uusimaa_lukuina_2008_verkkojulkaisu.pdf (15.9.2009). Ja http://www.fennica.net/f/296/3.htm (2.10.2009).

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. Rakennusten energiankäytön aiheuttamat päästöt ja primäärienergiankäyttö. Rakentajain kalenteri 2010, Rakennustieto Oy, Helsinki 2009, 468–478.

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/yksikkopaastot/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 Liikkumistutkimus, 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/priorities/london-environment (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/energia (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.