

Pekka Etholén

Energiankulutuksen hiilijalanjälki Aalto- yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK) -tutkinto

Rakentaminen, talotekniikka

Opinnäytetyö

22.4.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Pekka Etholén Energiankäytön hiilijalanjälki Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannassa 53 sivua + 2 liitettä 22.4.2014
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Koulutusohjelma	rakentamisen koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaajat	erikoistutkija Sirje Vares yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Opinnäytetyö on tutkimus Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n omistaman kiinteistökannan energiankäytön hiilijalanjäljestä. Työn tavoitteena oli laskea tutkittavien kiinteistöjen kuluttaman energian kokonaishiilijalanjälki sekä tutkia energiankäytön hiilijalanjäljen muodostumista kiinteistökohtaisesti, kiinteistön käyttötavan tai käyttötarkoituksen ja iän sekä peruskorjausajankohdan perusteella. Tutkimusmenetelminä käytettiin Motiva Oy:n laskentaohjetta sekä ISO 15804 -standardin mukaista määritelmää kiinteistön energiankäytön hiilijalanjäljen muodostumisesta.</p> <p>Työssä laskettiin kiinteistöjen energiankulutuksen absoluuttiset kokonaishiilidioksidipäästöt sekä hiilidioksidipäästöt pinta-alayksikköä kohden. Näin on saatu selville sekä kiinteistökohtaiset kokonaispäästöt että ominaispäästöt. Näitä saatuja arvoja käyttäen on vertailtu kiinteistöjä toisiinsa eri tavoin, kuten käyttötarkoituksen sekä iän ja peruskorjausajankohdan perusteella. Samoin on tutkittu kulutetun lämpö- ja sähköenergian hiilijalanjäljen jakautumista kiinteistökannassa sekä verrattu näitä hiilidioksidipäästöjä yliopiston henkilökunnan työmatkaliikkumisen hiilidioksidipäästöihin.</p> <p>Työssä selvitettiin mahdollisia hiilijalanjäljen pienentämisen keinoja ja mietitty niiden soveltamista niissä kiinteistöissä, joissa hiilidioksidin ominaispäästöt ovat suurimmat sekä tarkasteltu koko kiinteistökannan osalta hiilijalanjäljen pienentämisen mahdollisuuksia siirtymällä energianhankinnassa päästöttömämpiin energiamuotoihin, kuten vesisähkö tai biopolttoaineet.</p> <p>Työssä ilmeni kiinteistön erilaisten käyttötapojen ja ominaisuuksien vaihtelu ja niiden suuri vaikutus energiankulutuksen hiilijalanjälkeen. Työn tuloksia voidaan mahdollisesti käyttää hyväksi yhtiön tulevaisuuden kiinteistö- ja ympäristökehityksen päätöksissä.</p>	
Avainsanat	hiilijalanjälki, energiankulutus, ilmastonmuutos, kiinteistö, energiatehokkuus

Author Title	Pekka Etholén Carbon footprint of energy consumption in the property portfolio of Aalto University Properties Ltd
Number of Pages Date	53 pages + 2 appendices 22 April 2014
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Engineering
Specialisation option	Building Service Engineering
Instructors	Sirje Vares, Senior Researcher Scientist Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>This Master's thesis studied the carbon footprint of the energy consumption in the property portfolio of Aalto University Properties Ltd. The goals of this study were to calculate the total carbon footprint of the total energy consumption, and also to study the characteristics of the carbon footprint of each building according to the use, age and the year of renovation of the building. The carbon footprint were done by using Motiva Oy's instructions and ISO 15804 standards.</p> <p>For this thesis, not only the total carbon dioxide emissions of the energy consumption, but also the carbon dioxide emissions per unit area were calculated. This way both the property-specific total emissions and the characteristic emissions were resolved. With these values, the buildings were compared on the basis of their use, age and the time of renovation. Moreover, the distribution of the carbon footprint between electricity and heating was studied. These were also compared, not only to each other but also to the carbon footprint caused by the commutation of the personnel of the Aalto University.</p> <p>Different ways to lower the carbon footprint and their application to the properties with the highest characteristic carbon footprint were considered. Also, the possibilities to reduce the total carbon footprint of energy use in this property portfolio by buying only carbon-free forms of energy, for example hydroelectricity or heating with bio fuels, were examined.</p> <p>As a result, it can be stated that the differences in the use and other attributes of the buildings are big and have a major impact on the carbon footprint of the energy consumption. In the future, the results can be used to make decisions about the company's property strategy and environmental development.</p>	
Keywords	carbon footprint, building, energy consumption, climate change, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Taustat ja tavoitteet	2
3	Yleistä energiankulutuksesta ja päästöistä Suomessa	3
3.1	Suomen velvollisuudet ja rakennusten osuus päästöistä	3
3.2	Energiamääräysten toimenpano, säädökset ja määräykset	6
3.3	Energiatehokkuus rakennusmääräyksissä	6
3.4	Energiatehokkuussopimukset	7
3.5	Rakennusten ympäristö- ja energialuokitukset	8
4	Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos	8
4.1	Ilmastonmuutos	8
4.2	Hiilijalanjälki	9
4.3	Rakennuksen hiilijalanjälki	10
4.3.1	Rakentamisen aiheuttama hiilijalanjälki	11
4.3.2	Rakennuksen käytön aiheuttama hiilijalanjälki	12
4.3.3	Rakennuksen purkamisen ja hävittämisen aiheuttama hiilijalanjälki	12
5	Hiilijalanjälkilaskenta	13
5.1	Hiilijalanjälkilaskennan vaiheet	13
5.2	Laskennan perusteet	14
6	Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökanta	15
7	Laskennan tulokset ja tulosten analysointi	17
7.1	Laskentamenetelmä	17
7.2	Laskennan tulosten analysointi	21
7.2.1	Kiinteistökohtainen energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki	21
7.2.2	Rakennuskohtainen energiankulutuksen hiilijalanjälki	25
7.2.3	Koko kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjälki	26
7.2.4	Aalto-yliopiston henkilöstön työmatkaliikkumisen hiilijalanjälki	27
7.2.5	Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistökannassa	28

7.2.6	Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistöjen käyttötarkoituksen perusteella	30
7.2.7	Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistöjen iän ja peruskorjauksen perusteella	34
7.3	Energiankulutuksen hiilidioksidipäästölaskennan vaihtoehtojen vertailua	34
8	Toimenpiteitä hiilijalanjäljen pienentämiseksi	35
8.1	Energiankulutuksen hiilijalanjäljen pienentäminen	35
8.2	Energiantuotannon mahdollisuudet hiilijalanjäljen pienentämiseksi	40
9	Johtopäätökset	41
9.1	Yleisiä havaintoja energiankulutuksen hiilijalanjäljestä	41
9.2	Kiinteistötekniset muutokset	42
9.2.1	Ilmanvaihto ja siihen liittyvät toimenpiteet	42
9.2.2	Jäähdytyslaitteet ja niihin liittyvät toimenpiteet	44
9.2.3	Sähkölaitteet ja niihin liittyvät toimenpiteet	46
9.2.4	Rakenteet ja ikkunat sekä niihin liittyvät toimenpiteet	46
9.2.5	Uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen	47
10	Yhteenveto	48
	Lähteet	51
	Liitteet	
	Liite 1. Aalto-yliopiston liikenneselvitys	
	Liite 2. Kiinteistöjen energiankulutustiedot ja hiilidioksidipäästöt	

1 Johdanto

2000-luvulla on yleistynyt rakennusten elinkaaritarkastelu ja sen myötä ympäristövaikutuksia tarkasteltaessa myös termi hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljellä kuvataan yleisesti jonkin asian aiheuttamaa ympäristövaikutusta hiilidioksidipäästöiksi muutettuina. Ympäristövaikutuksella tässä viitataan globaaliin ilmastonmuutokseen ja sen kehittymiseen. Ilmastonmuutoksen ollessa suurimpia ihmiskunnan tämän hetken ongelmia ja sen hidastamisen ja pysäyttämisen suurimpia haasteita on syytä tarkastella myös rakennuskantaa ympäristövaikutusten kantilta.

Rakennetun ympäristömme ympäristövaikutuksilla on suuri vaikutus koko Suomen ympäristövaikutuksiin ja sitä myötä suuri merkitys yhteiskunnallisesti. Rakennettu ympäristömme aiheuttaa noin 40 % koko Suomen hiilijalanjäljestä [28.], ja tästä suurin osa aiheutuu rakennusten käyttämästä energiasta, joten ymmärrettävästi potentiaali ympäristövaikutusten pienentämiseen on suuri. Lisäksi Suomi on sitoutunut pienentämään hiilijalanjälkeään. Näiden asioiden vuoksi Suomessa on viime vuosina tehty toimenpiteitä, joilla on pyritty pienentämään rakennusten energiankulutusta ja samalla niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Ohjausta oikeaan suuntaan on saatu aikaan mm. rakentamismääräysten energiatehokkuuteen vaikuttavilla muutoksilla, energiatodistuksilla ja energiatehokkuussopimuksilla.

Tämän työn tavoitteena oli alun perin selvittää Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannan hiilijalanjälki. ISO 15804 -standardin mukaisen täydellisen hiilijalanjälkilaskennan, joka sisältää koko elinkaaren kaikkien vaiheiden hiilijalanjäljen kokonaislaskennan. Ajatuksesta luovuttiin sen vaativuuden ja valtaisan työmäärän vuoksi. Kun tarkasteltiin hiilijalanjäljen muodostumista koko elinkaaren aikana, päädyttiin loppujen lopuksi siihen johtopäätökseen, että on parasta tarkastella vain energiankulutuksen hiilijalanjälkeä, koska energiankulutuksen vaikutus hiilijalanjälkeen on suurin kokonaishiilijalanjäljen osa-alueista ja laskettavissa kohtuullisin panostuksin. Lisäksi tästä tarkastelusta olisi eniten hyötyä nopeita toimenpiteitä harkittaessa sekä myös mahdollisesti pidemmän aikavälin suunnitelmia tehtäessä. Tässä työssä suoritettu tarkastelu ei huomioi energiantuotannon polttoaineiden hankinnan hiilijalanjälkeä, sillä laskennassa käytetyt luvut pitävät sisällään vain polton päästöjä.

2 Taustat ja tavoitteet

Paljon keskusteltu ja osittain ristiriitainenkin CO₂-päästöihin perustuva hiilijalanjälkilaskenta on tarkastelutapa johon ollaan siirtymässä käytännön tasolla Euroopassa ja joka mahdollistaa muun muassa primäärienergiankulutuksen huomioimisen. Tarkastelussa pystytään kohdistamaan energiankulutusta paremmin ympäristöhaittoihin kuin pelkkien energiankulutuslukujen seurannassa. Hiilijalanjälkitarkasteluun siirtymiseen energian seurannassa on sekä poliittisia että sosiaalisia paineita ja tätä muutosprosessia kiihdytetään muun muassa sitomalla hiilidioksidipäästöjä verotusperusteiksi. Suomelle on asetettu tavoitteeksi CO₂-päästöjen vähentäminen 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990 tasosta.

Aalto-yliopistokiinteistöt Oy on sitoutunut RAKLI ry:n ohjaamaan toimitilojen energiatehokkuussopimukseen (lyh. TETS), joka sitoo yrityksen tekemään energiansäästöinvestointeja vuoteen 2016 mennessä siten, että sen omistamien ja sopimuksen piirissä olevien kiinteistöjen energiankulutus laskee 6 %. TETS-hanke liittyy suoraan CO₂-päästöjen pienentämiseen kansallisella tasolla.

Opinnäytetyössä on tarkoitus siis selvittää Aalto-yliopistokiinteistöjen energiankulutuksen hiilijalanjälki vuositasolla ja tarkastella sekä vertailla koko kiinteistökannan rakennusten hiilijalanjälkeä kiinteistö- ja kiinteistöryhmätasolla. Opinnäytetyön tavoitteena on myös saada aikaiseksi kiinteistökannan energiankulutuksen ”hiilijalanjälkikartta” sekä nostaa esille selviä poikkeuksia rakennusten hiilijalanjäljen osalta muun muassa kiinteistön käyttötarkoituksen perusteella. Työn tarkoituksena on havainnoida myös eri käyttötarkoitukseen käytettävien rakennusten eroja sekä mahdollisia käyttötarkoituksen muutoksien vaikutuksia hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjäljeltään muista poikkeavien kiinteistöjen osalta työssä selvitetään poikkeamien syyt ja mahdolliset korjaavat toimenpiteet sekä nopealla aikataululla että pitkällä aikavälillä sekä näiden arviointia ja vertailua. Työssä myös tehdään laajan, jo aikaisemmin toteutetun, käyttäjäkyselyn pohjalta arvio henkilökunnan työmatkaliikkumisesta aiheutuvasta hiilijalanjäljestä ja verrataan sitä kiinteistöjen energiankulutuksen hiilijalanjälkeen.

Tutkimuksessa käytetään hyväksi energiankulutustietojen Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n käyttämää energianseurantajärjestelmää sekä tyytyväisyyskyselyn tuloksia vuodelta 2011. Varsinaiset tutkimusmenetelmät perustuvat yleisesti käytössä oleviin laskentamalleihin ja suosituksiin (Motiva Oy) sekä vertailutietoihin.

3 Yleistä energiankulutuksesta ja päästöistä Suomessa

3.1 Suomen velvollisuudet ja rakennusten osuus päästöistä

Suomen kestävä kehityksen strategian tavoitteena vuoteen 2015 mennessä on 5 %:n lisäsäästöt energiankulutuksessa. Pitkän aikavälin tavoitteena on pysäyttää primäärienergian kasvu ja kääntää se laskuun. [1, s. 11.]

Suomelle on asetettu tavoitteeksi CO₂-päästöjen vähentäminen 20 %:lla vuoteen 2020 mennessä vuoden 1990 tasosta (Kioton sopimus 2009) ja 80 % vuoteen 2050 mennessä. Suomi oli velvoitettu rajoittamaan kasvihuonekaasujaan perusvuoden tasolle Kioton pöytäkirjan ensimmäiselle velvoitekaudella 2008–2012. Perusvuoden tasona pidetään vuoden 1990 tasoa. Tuon perusvuoden päästöjen perusteella laskettu Suomen sallittu päästmäärä tälle kaudelle 2008–2012 on 355 miljoonaa tonnia hiilidioksidia (tCO₂), joka vahvistettiin vuonna 2008. Vuoden 2012 Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ovat olleet Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella noin 339,2 miljoonaa tCO₂, joten kokonaispäästöt ovat lähes 5 % pienemmät kuin Kioton pöytäkirjan Suomelle asettama päästöjen rajoitusvelvoite. [22.]

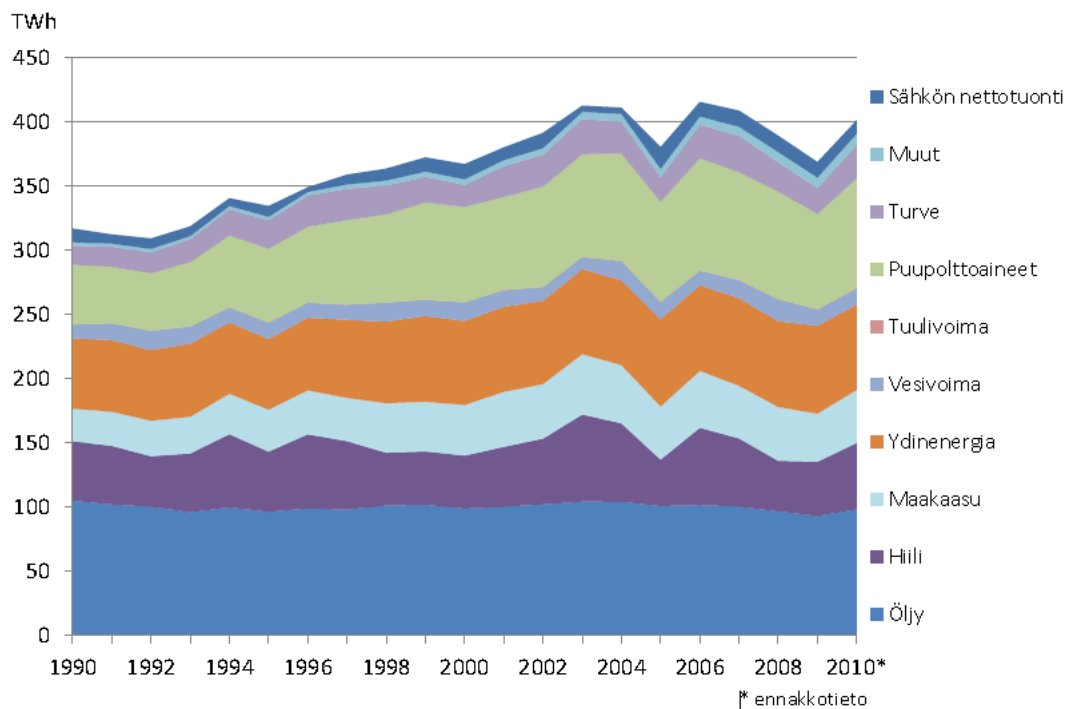
Suomi on sitoutunut kansainvälisiin ja EU:n yhteisiin energiansäästötavoitteisiin ja niiden myötä tehnyt kansallisia energiatehokkuuden toimintasuunnitelmia. Vuonna 2008 laadittiin Suomelle pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia, jossa asetettiin tavoitteeksi energian loppukulutuksen kasvun pysäyttäminen ja kääntäminen laskuun. Tavoitteena on, että vuonna 2020 energian loppukulutus on 310 TWh ja sähkön kokonaiskulutus 98 TWh ja edelleen, että vuonna 2050 energian loppukulutus olisi vähentynyt noin kolmanneksen vuoden 2020 tasosta ja sähkönkulutus kääntyy laskuun. Lisäksi uusiutuvan energian osuuden tavoitteeksi määriteltiin 38 %, jonka seurauksena vuonna 2010 asetettiin uusia tavoitteita uusiutuvan energian määrän lisäykselle.

Toisessa energiatehokkuuden toimintasuunnitelmassa 27.6.2011, joka on raportti EU:n energiapalveludirektiiviin, on kirjattu energiansäästötavoitteita sekä energiansäästötoimenpiteitä, joilla Suomessa edistetään energiansäästöä ja energiatehokkuutta. Tähän toimintasuunnitelmaan on kirjattu mm. seuraavia seikkoja tavoitteista, joihin Suomessa pyritään energiansäästöjen osalta vuoteen 2020 mennessä. Vuodelle 2010 laskettu energiansäästö on 6,1 %. Vuoteen 2016 mennessä on energiansäästön arvioitu nou-

sevan näillä toimilla 13 %:n tasolle ja vuoteen 2020 mennessä yli 17 %:n tasolle.[2, s. 4.]

Rakennettu ympäristö ja rakentaminen kuluttavat suuren osan Suomessa käytetystä energiasta. Rakennusten lämmitys ja niissä käytetty huoneisto- ja kiinteistösähkö kuluttavat yhdessä noin 38 %:a (noin 120 TWh) koko Suomen energian loppukäytöstä. Lisäksi rakennustarvikkeiden valmistus ja rakentaminen kuluttavat noin 4 % koko Suomen energian loppukäytöstä. Rakennettu ympäristö ja rakentaminen kuluttavat yhdessä siis noin 42 % kaikesta Suomessa käytetystä energiasta ja ovat näin ollen todella suuri kasvihuonekaasupäästöjen osatekijä valtakunnallisesti. [2, s. 9.]

Kuvasta 1 nähdään millä primäärienergiamuodolla on Suomessa kulutettu energia tuotettu vuosina 1990–2010.



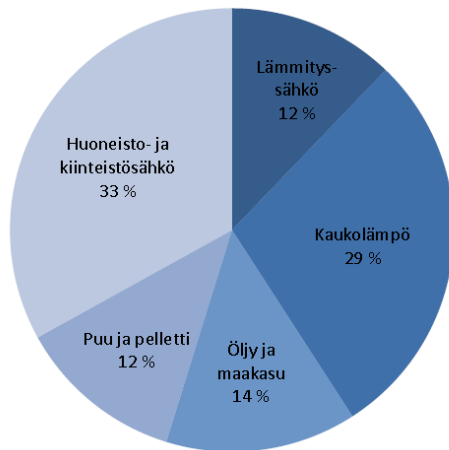
Kuva 1. Primäärienergian hankinta vuosina 1990–2010. [2.]

Taulukossa 1 on kuvattu energian loppukäytön osuudet sektoreittain ja tästä selviää, että rakennusten lämmitys kuluttaa jo lähes neljäsosan (24,6 %) kaikesta käytetystä energiasta Suomessa vuonna 2010.

Taulukko 1. Energian loppukäytön sektorikohtaiset osuudet ja energian loppukäyttö vuosina 2000–2010. [2.]

SEKTORI	2000	2002	2004	2006	2008	2010*
Teollisuus	52,3	50,7	50,5	50,5	48,8	45,2
Liikenne	15,6	15,4	15,8	15,8	16,5	16,6
Rakennusten lämmitys	19,7	21,3	21,1	20,9	21,0	24,6
Muut	12,4	12,6	12,6	12,7	13,7	13,5
Loppukäyttö yht. (2000 = 100)	100	104	105	107	103	104

Energian loppukäyttö rakennuksissa jakautuu lämmityssähköön, kaukolämpöön, öljyyn ja maakaasuun, puuhun ja pellettiin sekä huoneisto- ja kiinteistösähköön. Kuvassa 2 on kuvattu niiden osuuksien jakautuminen tarkemmin.



Kuva 2. Energian loppukäytön jakautuminen. [2.]

Rakennusten käyttämän energian loppukäytöstä lämmityksen osuus on noin 67 % ja käyttösähkön osuus 33 %. [2, s. 9.]

Vertailuna Suomeen globaalisti rakennusten osuus on keskimäärin kaikista käytetyistä raakamateriaaleista noin 30 % ja osuus kaikesta käytetystä energiasta sekä hiilijalanjäljestä noin 40 %. [5.] Iso-Britanniassa noin 52 % CO₂-päästöistä syntyy rakennusten rakentamisesta tai käytöstä, ja Ruotsissa sama sektori aiheuttaa synnyttää noin 20 % koko Ruotsin CO₂-päästöistä. [6.] Ruotsissa kuitenkin tämä rakentamisen ja rakennusten käytön sektori kuluttaa 30 % kaikesta Ruotsissa käytetystä energiasta. Käytetty energia ja aiheutetut CO₂-päästöt eivät siis välttämättä kulje suoraan käsi kädessä. [7.]

Samat vertailuluvut ovat EU-27 -maiden osalta keskimäärin 25 % ja Saksan osalta 30 %. [8.]

3.2 Energiamääräysten toimenpiano, säädökset ja määräykset

Suomessa on siis säädöksiin ja määräyksiin toimeenpantua energiamääräyksiä, joiden tavoitteena on energiankulutuksen ja samalla hiilijalanjäljen pienentäminen. Vuonna 2008 valtioneuvosto teki periaatepäätöksen korjausrakentamisen uusista määräyksistä, joissa korostuivat erilaiset toimenpiteet rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseksi ja rakennuskannan energiankulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi. Tämä periaatepäätös perustuu Korjausrakentamisen strategiaan 2007–2017.

Euroopan parlamentin ja neuvoston parlamentin direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta (2002/91/EY) saatettiin voimaan lailla rakennusten energiatodistuksesta sekä rakennusten kylmälaitteiden energiatehokkuuden tarkastamisesta. Laki rakennuksen energiatodistuksesta tuli voimaan 1.1.2008 ja tarkoitti sitä, että uudisrakennukselta edellytettiin energiatodistusta jo rakennuslupaa haettaessa. Energiatodistuksesta tuli selvittää rakennuksen suunniteltu energialuokka ja se, että se täyttää rakennusmääräysten minimivaatimukset ja sen energiatodistuksen laskentamenetelmästä säädetään ympäristöministeriön asetuksessa (765/2007). Olemassa oleville rakennuksille energiatodistus tuli pakolliseksi vuonna 2009 myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Vuoden 2011 alussa veloitettiin lakimuutoksella asettamaan energiatodistus nähtäville julkisissa yli 1000 m² rakennuksissa.

3.3 Energiatehokkuus rakennusmääräyksissä

Rakennusten energiatehokkuutta on vuodesta 1976 ohjattu rakentamismääräyskoelman määräyksillä ja ohjeilla. Rakennusmääräyksillä on pääsääntöisesti säännelty rakennuksen lämpöenergian hallintaa, edellyttämällä tarpeeksi eristävää ulkovaippaa tai esimerkiksi lämmön talteenottoa ilmanvaihdossa.

Vuonna 2003 energiavaatimuksia tiukennettiin 25–30 % vuoden 1976 määräysten tasosta. Seuraava muutos rakentamismääräyksiin tehtiin vuonna 2008, kun energiatehokkuuden laskentatapaa muutettiin siten, että otettiin huomioon rakennuksen vaipan

tiivuus. Seuraava muutos määräyksiin tuli vuonna 2010, kun rakentamismääräyskoelman energiatehokkuusmääräyksiä kiristettiin 30 % vuoden 2003 tasoon verrattuna tiukentamalla U-arvojen ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton hyötysuhdevaatimuksia. Vuonna 2012 tulivat voimaan rakennusten energiatehokkuusmääräykset, jossa siirryttiin kokonaisenergiatarkasteluun, jossa otetaan huomioon energian tuotantotapa ja samalla parannettiin uudisrakennusten energiatehokkuutta noin 20 %. Lisäksi määrättiin rakennuksen kokonaisenergiankulutukselle rakennustyyppikohtainen yläraja, joka rakennuksen E-luvun tulee alittaa ja jota määriteltessä otetaan huomioon rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto. E-luku on energiamuotokertoimin painotettu netto-ostoenergia lämmitettyä nettoalaa kohden (kWh/m²,a). [2, s. 20–21.]

Ympäristöministeriössä on valmisteltavina energiatehokkuutta koskevat vaatimukset myös korjausrakentamiselle, joskin korjaus- ja muutostöissäkin määräyksiä tulee soveltaa, ellei määräyksissä erityisesti määrätä toisin.

3.4 Energiatehokkuussopimukset

Vuonna 2008 käynnistyi Suomessa laaja energiatehokkuussopimusjärjestelmä. Se on jatkoa energiansäästösopimuksille, joita Suomessa on solmittu yritysten ja kuntien kanssa vuodesta 1997 lähtien ja jotka päättyivät pääosin vuonna 2007. Nämä energiatehokkuussopimukset ovat voimassa vuoden 2016 loppuun saakka ja niissä keskeisenä tavoitteena on vuonna 2006 voimaantulleen energiapalveludirektiivin mukainen 9 % energiansäästö. Kiinteistöalan energiatehokkuussopimuksessa (2010–2016) allekirjoittajina ovat ympäristöministeriö ja työ- ja elinkeinoministeriö sekä asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry. Sopimuksessa on kaksi toimenpideohjelmaa, joista toimitilakiinteistöjen toimenpideohjelma vuonna 2011.

Koko energiatehokkuusjärjestelmä kattaa noin 70 % koko Suomen kokonaisenergiankäytöstä. Sopimuksen piiriin oli 1.6.2011 mennessä liittynyt yli 450 teollisuuden, palvelualan, kiinteistöalan ja energia-alan yritystä, joilla on yhteensä yli 2 500 raportoivaa toimipaikkaa tai toimipaikkaryhmää. Yhteensä näiden puitteissa raportoidaan lähes 4400 rakennuksen tai toimipaikan energiankäytöstä ja energiansäästötoimista. [2, s. 24.]

3.5 Rakennusten ympäristö- ja energialuokitukset

Suomessa on 2000-luvulla yleistynyt myös rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmien käyttö. Kansallinen Promise-ympäristöluokitus otettiin käyttöön jo vuonna 2004, ja kansainväliset LEED- ja BREEAM-luokituksetkin ovat jo yleisesti käytössä. Energiankäyttö on luokituksissa huomioitu kaikkein painottavimpana tekijänä, joten luokitukset ohjaavat näiltä osin energiatehokkaiden ratkaisujen käyttöönottoon. [2, s. 35.]

4 Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos

4.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan ihmisen toiminnan seurauksena aiheutuvaa maapallon ilmaston muutoksia. Ilmastonmuutokseen vaikuttavien päästöjen vaikutusmekanismi on paikasta riippumaton, ja ilmaston muutos on siksi globaali ilmiö. 1950-luvulta lähtien kerätystä seuranta-aineistosta on havaittavissa, että lämpenemistä on tapahtunut ilmastossa ja merissä, lumen ja jään määrä on pienentynyt ja merenpinta on nousut sekä kasvihuonekaasujen määrät ovat kasvaneet. [11.]

Kolme viimeisintä vuosikymmentä ovat olleet lämpimämpiä kuin mitkään edeltävistä vuosikymmenistä sitten vuoden 1850, ja pohjoisella pallon puoliskolla vuodet 1983–2012 vaikuttaisivat olleen lämpimin 30 vuoden jakso viimeiseen 1400 vuoteen. [9, B.1.] Ilmaston lämpenemisen on katsottu olevan syyllinen ilmaston lisääntyneisiin ääri-ilmiöihin, kuten poikkeuksellisiin myrskyihin, tuuliin ja sateisiin sekä kuivuuteen eri puolilla maapalloa. Lisäksi tämän myötä ilmaston lämpenemisellä on vaikutus luonnolliseen veden kiertokulkuun maapallolla. [9, B.1.] Tutkimusten mukaan valtameret keräävät ilmakehän lämpenemisen myötä lämpöä itseensä ja vaikuttaa siltä, että valtamerien pintakerroksien (0–700 m) lämpötilat ovat nousseet vuosien 1971–2010 välillä. [9, B.2.]

Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana Grönlannin ja Pohjoisnavan jäämassat sekä jäätiköt ovat jatkaneet pienentymistään ja pohjoisen pallonpuoliskon keväisen lumipeiton määrä on myös pienentynyt. [9, B.3] Meren pinnankorkeus on ollut 1900-luvun puolivälin jälkeen keskimäärin korkeammalla kuin aikaisempien vuosituhansien meren pinnankorkeus. Vuosien 1901–2010 pinnankorkeuden kasvu oli 19 cm. [9, B.4.]

Ilmakehän sisältämien hiilidioksidin, metaanin ja typpioksidien määrät ovat kasvaneet ennennäkemättömiin määriin. Hiilidioksidin määrä ilmakehässä on kasvanut 40 % verrattuna teollista aikakautta edeltävään aikaan. Tämä on seurausta pääosin fossiilisten polttoaineiden käytöstä sekä maankäytön muutoksista. Meriin on myös varastoitunut 30 % hiilidioksidipäästöistä, joka on aiheuttanut meren happamoitumista. [9, B.5.]

Ihmisen toiminnan vaikutus ilmastonmuutokseen on edellä mainituista syistä sekä uusien ilmastomallinnusten ja tutkimustulosten vuoksi kiistaton ja tämän vuoksi edellyttää koko ihmiskunnalta nopeita tekoja ilmastonmuutoksen hidastumiseksi. [9, D.] On arvioitu, että jatkossa kasvihuonekaasujen määrien kasvaminen ilmakehässä tulee aiheuttamaan ilmaston lämpiämistä ja muutoksia kaikissa maapallon ilmastoon vaikuttavissa osatekijöissä. Jotta tämä ilmastonmuutos saadaan pysäytettyä tai hidastettua, edellyttää se kasvihuonekaasupäästöjen huomattavaa vähentämistä. [9, E.]

Hallitustenvälisessä ilmastonmuutospaneelissa (lyh. IPCC eli Intergovernmental Panel on Climate Change) on tarkasteltu erilaisia skenaarioita ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja niissä kaikissa on todettu, että ilmastonmuutoksen pysäyttäminen välittömästi on lähes mahdotonta ilman todella radikaaleja toimenpiteitä, mutta ilmaston lämpenemisen nopeuteen ja lämpötilan nousuun voidaan vaikuttaa tuntuvasti erilaisilla ratkaisuilla. Samoin on arvioitu maapallon pintalämpötilan tulevan nousemaan, ja muun edellä kuvatun kehityksen jatkumaan, vielä vuoteen 2100 asti. Kumulatiiviset hiilidioksidipäästöt tulevat pääasiallisesti määräämään maapallon pintalämpötilan nousun ja sitä myötä ilmastonmuutoksen tulevaisuudessa, joten hiilidioksidipäästöt tulisivat saada maailmanlaajuisesti mahdollisimman pieniksi.

4.2 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan tavaran, tuotteen tai muun valmisteen valmistuksessa ja elinkaaren aikana syntyneitä kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Se on tällä hetkellä yleisesti käytetty ilmastovaikutusten mittari, joka on käytössä kansainvälisesti ja valtiotasolta aina henkilö- ja tuotetasolle saakka. Hiilijalanjälki voi tarkoittaa suoria hiilidioksidipäästöjä, epäsuoria hiilidioksidipäästöjä tai kaikkia kasvihuonekaasuja hiilidioksidiekvivalenteiksi muutettuna. Sen aikajänteenä voi olla koko laskennan kohteena olevan asian elinkaari tai lyhyempi ajanjakso tai vaikkapa toiminto tai sen osa. Hiilijalanjäljen yksikkönä on tCO₂e eli tonnia hiilidioksidiekvivalenttia. Hiilijalanjäljellä pyritään saa-

maan sopivasti yksinkertaistettu, mutta ei liikaa pelkistetty, helposti tulkittavissa oleva ilmastonmuutokseen vaikuttava arvo, jolla voidaan vertailla eri asioita ja niiden vaikutuksia toisiinsa ja jotka eivät muuten olisi helposti vertailtavissa. Koska ilmaston muutokseen vaikuttavien päästöjen vaikutusmekanismi on paikasta riippumaton ja ympäristöongelmana ilmastonmuutos on globaali ilmiö, toimii hiilijalanjälkilaskenta tasapuolisena mittarina kaikkialla. [23.]

4.3 Rakennuksen hiilijalanjälki

Yleisesti rakennusten ilmastovaikutukset aiheutuvat pääosin käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Rakennukset kuluttavat noin 40 % maailman energiasta ja aiheuttavat noin neljänneksen maailman CO₂-päästöistä, joten ne ovat merkittävässä osassa kasvihuoneilmiön taustalla ja niiden vaikutusmahdollisuus ilmaston lämpiämisen hillitsemiseen on suuri. Lisäksi noin 15 % rakennusten kasvihuonepäästöistä johtuu kylmäainesten, enimmäkseen CFC -aineiden käytöstä jäähdytyksessä ja ruuan säilytyksessä. [3.]

Rakennuksen tapauksessa hiilijalanjälki muodostuu rakennusaikaisesta ja käytönaikaisista ympäristövaikutuksista. Rakennusaikainen hiilijalanjälki on tutkimusten mukaan 10–20 % koko rakennuksen elinkaaren aikaisesta hiilijalanjäljestä nykyisessä rakennuskannassa. [3.] Toisissa tutkimuksissa on todettu jopa 90–99 %:a CO₂-päästöistä aiheutuvat rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta, kun elinkaarilaskennan tarkastelujakson pituus oli 50 vuotta. [4, s. 84.] Nykyään suurin osa rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutuksista muodostuu siis käytönaikaisesta sähkö- ja lämpöenergian kulutuksesta.

Näistä voidaan päätellä, että suurimpia vaikutuksia hiilijalanjälkeen jo olemassa olevissa rakennuksissa, on keskittyminen ratkaisuihin, jotka tähtäävät käytönaikaisen energiankulutuksen pienentämiseen. Vastaavasti mitä energiatehokkaammaksi rakennus tehdään, on sen suunnittelu- ja rakentamisvaiheen valinnoilla suhteellisesti suurempi merkitys koko elinkaaren hiilijalanjäljen muodostumiseen. Uusissa passiivi- ja nolla-energiataloissa rakentamisen aikainen hiilijalanjälki on suhteellisesti varsin suuri ja materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa paljon rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen, koska käytönaikainen energiankulutus on pieni. [3.]

Rakennuksen hiilijalanjälkeä selvitetessä tulee huomioida siis koko elinkaaren aikaiset päästöt eli rakentamisen aiheuttamat päästöt, kiinteistön käytön ja korjausten aiheuttamat päästöt sekä purkamisen ja hävittämisen aiheuttamat päästöt. [20, s. 4.]

4.3.1 Rakentamisen aiheuttama hiilijalanjälki

Rakentamisen aikaisen hiilijalanjäljen aiheuttamia päästöjä laskettaessa otetaan huomioon rakennusaineiden ja tarvikkeiden valmistuksessa syntyneet päästöt, rakentamisen logistiikan aiheuttamat päästöt, jätehuollon päästöt ja rakentamiseen käytetyn energian päästöt. Rakennusaineiden hiilijalanjäljen selvittämiseen on luotu tietokanta, johon eri tuotteiden valmistajat ovat ilmoittaneet tuotteidensa hiilijalanjäljen tuoteselosteen siten, että se on mahdollista helposti hyödyntää laskennassa. Tietokantaan vietyjen tietojen laskentamenetelmä on luotu koko rakennusalan yhteisvoimin. Mikäli tällaista tietoa ei käytetystä tuotteesta tai materiaalista ole tietokannassa, on se laskennassa vain arvioitava. Rakentamisen logistiikan aiheuttama hiilijalanjälki muodostuu pääosin rakennustyömaan materiaalien kuljetuskaluston ja työkoneiden aiheuttamista polttoainepäästöistä. Rakentamisvaiheen jätehuollon hiilijalanjälki lasketaan jätteiden hävittämisen ja sen kuljetuksen aiheuttamista päästöistä. Rakentamisvaiheen energiankulutuksen hiilijalanjälki lasketaan käytetyn energian ominaispäästökertoimien avulla, jotka perustuvat energialaitoksilta ja muilta energiantoimittajilta tai tietokannasta saatuihin tietoihin. Rakentamisvaihe aiheuttaa keskimäärin 10–20 %:a koko kiinteistön elinkaaren aikana aiheutuvista päästöistä riippuen kiinteistön koosta ja muista ominaisuuksista. [4, s. 84; 20, s. 28–32.]

Uudisrakennushankkeen kriittinen vaihe tulevien ympäristövaikutusten kannalta on hanke- ja suunnitteluvaihe, jossa määritellään koko kiinteistön elinkaaren hiilijalanjälki suurelta osin. Tämän vuoksi hanke- ja suunnitteluvaiheessa tulee erityisesti kiinnittää huomiota ja pyrkiä oikeanlaisiin suunnittelutavoitteisiin hiilijalanjäljen minimoimiseksi. [20, s. 14.]

Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä korjausrakentamiskohteissa pätevät samat periaatteet kuin uudisrakentamisessa. Korjausrakentamisella on suuri vaikutus energiansäästöön kehittyneissä maissa, koska uudisrakentamisella ei yksinään pystytä kattamaan energiasäästötavoitteita. Arvioiden mukaan esim. Euroopassa 80 % vuoden 2030 rakennuskannasta on jo valmiina. Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentämisessä pätevät siis seuraavat periaatteet sekä uudis- että korjausrakentamisessa; minimoi-

daan suunnitteluvaiheessa rakennuksen tuleva energiankulutus, käytetään vähäpäästöisiä tai uusiutuvia energiamuotoja ja minimoidaan muiden kasvihuonekaasujen käyttö ja päästöt. [3.]

4.3.2 Rakennuksen käytön aiheuttama hiilijalanjälki

Rakennuksen käytönaikaista hiilijalanjälkeä laskettaessa tarkastellaan pääasiallisesti sen käyttämän energiankulutuksen aiheuttamia päästöjä. Energiankulutus voi olla sähkö- tai lämpöenergiaa. Tarkasteluun voidaan ottaa mukaan myös käytönaikaisia muita päästöjä aiheuttavia asioita, kuten jätehuollon tai kiinteistöhuollon aiheuttama hiilijalanjälki, mutta näiden osuus on kokonaisuudesta melko pieni ja energiavirrat kiinteistön sähköön ja lämmitykseen muodostavatkin pääosan käytönaikaisesta hiilijalanjäljestä. Uuden rakennuksen tulevaan energiankulutukseen ja siten hiilijalanjäljen suuruuteen voi vaikuttaa mm. energiatehokkailla ratkaisulla talotekniikka- ja arkkitehtisuunnittelussa. Olemassa olevassa rakennuksessa suurin vaikutusmahdollisuus hiilijalanjäljen pienentämiseen on kiinteistöjen kehittäminen sekä tehokas ja oikeanlainen käyttö. Koska energiankulutus muodostaa suuren osan rakennuksen hiilijalanjäljestä, on hiilijalanjälki samalla suoraan verrannollinen energiayhtiöiden energiantuotannon hiilijalanjäljen suuruuteen, koska käytönaikaisessa laskennassa voidaan käyttää energiantuottajan todellisia päästökertoimia, ei keskiarvokertoimia. Jos siis rakennukseen hankittavat osatoenergiat tuotetaan vähemmän päästöjä tuottavilla tavoilla, pienentää se suoraan rakennuksen hiilijalanjälkeä. [20, s. 28–32.]

Käytönaikaisen hiilijalanjäljen tarkastelu antaa siis mahdollisuuden mitata kiinteistöjen ja samalla sen toiminnan hiilijalanjälkeä. Samalla siinä mitataan eri toimintamallien, käytön, ylläpidon ja energiaratkaisujen vaikuttavuutta hiilijalanjälkeen. Kiinteistön käytönaikaiset päästöt ovat merkittävin osa koko kiinteistön elinkaaren aikana aiheutuvista päästöistä.[20.]

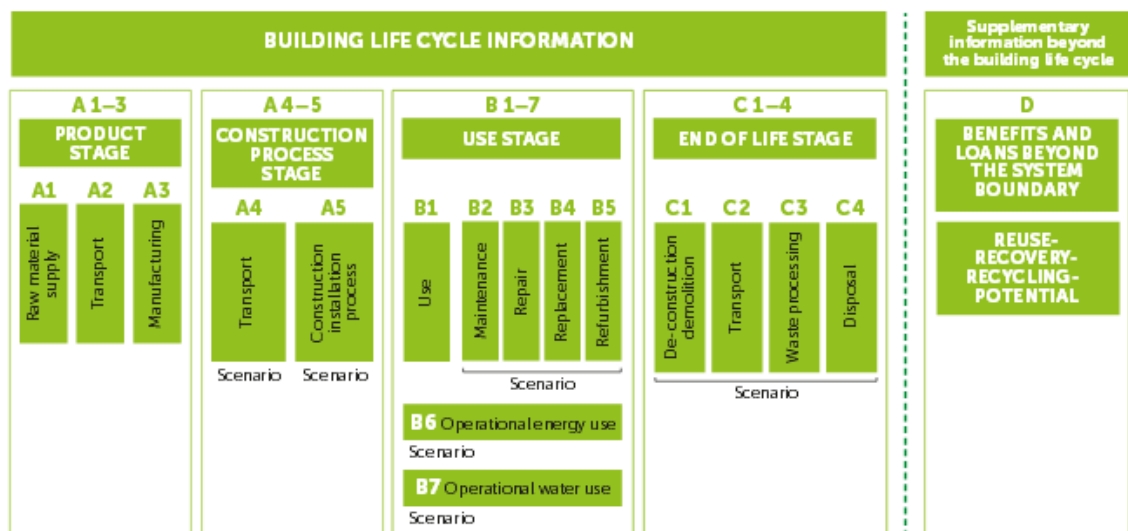
4.3.3 Rakennuksen purkamisen ja hävittämisen aiheuttama hiilijalanjälki

Rakennuksen purkamisen ja hävittämisen aikainen hiilijalanjälki muodostuu purkutöiden logistiikasta, liikenteestä ja jätteiden hävittämisen aiheuttamista päästöistä. Tämä vaihe kiinteistön elinkaaren aikana syntyvästä hiilijalanjäljestä on hyvin pieni verrattuna rakentamisen ja käytönaikaiseen hiilijalanjälkeen.

5 Hiilijalanjätkilaskenta

5.1 Hiilijalanjätkilaskennan vaiheet

Rakennusten hiilijalanjätkilaskennan vaiheet on jaettu rakennuksen elinkaarivaiheisiin A, B, C ja D ISO 15804 -standardin mukaan. Standardissa elinkaaren vaihe A on rakennusmateriaalien tuotantovaihe sekä rakennusvaihe. Elinkaarivaihe B on rakennuksen käytön vaihe. Elinkaaren vaihe C kuvaa rakennuksen purkuvaihetta ja vaihe D elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia. Nämä vaiheet jakautuvat vielä alavaiheisiin alla olevan kuvan 3 mukaisesti. [20, s. 32.]



Kuva 3. Kiinteistön elinkaaren muodostuminen. [20.]

Tässä työssä keskitytään siis kiinteistön käytönaikaisen energiankulutuksen hiilijalanjäljen laskemiseen ja tarkasteluun, joka on ISO 15804 standardin mukaisen rakennuksen elinkaarilaskennan osa B6. Rakentamis- ja purkuvaiheiden tarkastelu on työn tekijän resursseilla mahdotonta, joten tässä työssä tyydytään vain näiden vaiheiden hiilijalanjäljen suurpiirteiseen arviointiin jo tehtyjen tutkimusten ja julkaisujen perusteella. Tämä myös siksi, että niiden osa koko elinkaaren aikaisesta ympäristövaikutuksesta on huomattavasti pienempi kuin käytönaikainen ympäristövaikutus.

Työssä lasketaan kaikkien Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n omistamien kiinteistöjen hiilijalanjälki energiankulutustietojen perusteella ja tarkastellaan tämän jälkeen näitä kiinteistöjä sekä yksittäin että vertaillen niitä toisiinsa. Tarkastelussa huomioidaan myös ra-

kennusten eri ominaisuuksia, kuten eri käyttötarkoitukset, rakennuksen ikä sekä tekniset ratkaisut ja peruskorjaukset. Tämän jälkeen vertaillaan rakennusten hiilijalanjälkiä toisiinsa näiden pohjalta.

5.2 Laskennan perusteet

Hiilijalanjälkilaskenta on siis jonkin asian ilmaston muutokseen vaikuttavien päästöjen laskentatapa. Siinä muutetaan kaikki vaikuttavat asiat ekvivalenteiksi CO₂-päästöiksi, jolloin lopputuloksena saadaan ilmastonvaikutus hiilidioksiditonneina (tCO₂). CO₂-ekvivalenttia käytetään, koska tällöin eri kasvikaasujen päästöjä on helpompi vertailla keskenään ja samalla kiinteistölle saadaan yksi vertailukelpoinen arvo, jota voidaan verrata muihin kiinteistöihin ja samalla myös muihin mahdollisiin ilmastoon vaikuttaviin asioihin. [20, s. 28–32.]

Rakennusten kuluttama sähkö- ja lämpöenergia muutetaan CO₂-päästöiksi suoraan kertoimilla, jotka saadaan energiayhtiöiltä tai vastaavalta taholta, riippuen laskentamenetelmästä.

Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n energiankulutustiedot on kerätty sähköiseen huoltokirja-järjestelmään (Granlund Manager) sekä myös sähköiseen erilliseen energianseuranta-järjestelmään (Enerkey).

Energian kulutustietoihin perustuva hiilijalanjälkilaskenta suoritetaan tässä työssä siten, että vuosien varrella kiinteistön sähköiseen huoltokirjaan sekä Enerkey-energianseurantajärjestelmään kerätyistä energiankulutustiedoista otetaan vuotuiset energiankulutustiedot jokaisen kiinteistön osalta erikseen ja tämän jälkeen muutetaan saadut energiankulutuslukemat hiilijalanjäljeksi energiayhtiöiltä saaduilla ominaispäästökertoimilla.

Varsinainen laskenta on suoritettu Motiva Oy:n julkaisun ”Yhteenvetojen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet 12/2012” [21.] ohjeistuksen mukaan. Kyseinen laskentaohje on tarkoitettu useampia kohteita sisältävien yhteenvetojen energiakulutuksen CO₂-päästöjen laskentaan. Samalla laskennassa käytettävät CO₂-päästökertoimet on tarkoitettu antamaan arvioita energiankäytön CO₂-päästöistä ja energiatoimenpiteiden vaikutuksista CO₂-päästöjen tasoon. Motiva Oy:n laskentaoh-

jeessa on annettu eri energialähteille, kuten lämmölle, sähkölle ja polttoaineille, omat CO₂-päästökertoimet, joilla lasketaan kokonaisenergiankäytön aiheuttama CO₂-päästöarvio sekä myös mahdollisten energian käyttöön kohdistuvien toimenpiteiden vaikutus CO₂-päästöihin.

Laskentaohjetta tehdessään on Motiva Oy:n tavoitteena ollut:

”tuottaa sekä Motivan että muiden yhteenvetoja tekevien tahojen käyttöön selkeä ja yksinkertainen laskentamenetelmä, jolla voidaan esittää mahdollisimman realistisia arvioita sekä energian käyttöön että siihen kohdistuviin muutoksiin liittyvistä CO₂-päästövaikutuksista. Laskentamenetelmän ja siinä käytettävien CO₂-päästökertoimien osalta tehty useita yksinkertaistuksia, jotka selkeyttävät ja yksinkertaistavat laskennan toteuttamista, mutta samalla heikentävät jossain määrin laskennan tulosten tarkkuutta.” [21.]

Kuten hiilijalanjälkeä laskettaessa yleensäkin, myös Motiva Oy:n laskentamenetelmää ja sen CO₂-päästökertoimia käytettäessä on huomioitava, että laskennan tuloksena ei synny absoluuttista tarkkaa tieteellistä totuutta. Tällä laskentamenetelmällä saadaan kuitenkin käyttökelpoinen arvio suuremman laskentakokonaisuuden energiankäytön CO₂-päästöistä ja sitä myötä ympäristövaikutuksista. Motiva Oy:n mukaan yksinkertaisen, oikean ja tarkan laskennan menetelmää on haasteellista kehittää, mutta tämän menetelmän tarkkuus on nähty riittäväksi mm. Työ- ja elinkeinoministeriölle tehtäviin arvioihin erilaisten projektien ja politiikkatoimien CO₂-päästöarvioiden laskentaan ja niiden kansainväliseen raportointiin. [21.]

6 Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökanta

Tässä työssä on mukana Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n vuosina 2010–2013 omistamista kiinteistöistä koko kiinteistökanta eli yhteensä 34 kiinteistöä. Kiinteistöjen koot vaihtelevat pienimmillään 800 bm²:n rakennuksista suuriin lähes 50000 bm²:n rakennuksiin. Rakennusten käyttötarkoituksen vaihtelevat samoin satunnaisessa käytössä olevasta kokoontumistilasta aina jatkuvassa käytössä oleviin monimuotoisiin tutkimus- ja opetustiloihin. Kiinteistömässistä löytyy myös sellaisia rakennuksia, jotka koostuvat käytännössä pelkästään toimistotiloista. Tutkittava rakennuskanta muodostuu pääosin Espoon Otaniemessä sijaitsevista koulu- ja toimistorakennuksista. Lisäksi yhtiöllä on Töölössä kolme kiinteistöä sekä yksi kiinteistö Kirkkonummella. Näiden kiinteistöjen rakennusten yhteenlaskettu nettopinta-ala on noin 331 000 m².

Rakennukset ovat myös iältään erityyppisiä, joskin pääpaino kiinteistökannassa on 1960-luvulla valmistuneissa rakennuksissa. Tämän aikakauden kiinteistöt Otaniemessä ovat pääpiirteittäin kaikki tiilijulkisivulla varustettuja ja samalla rakennetyypillä rakennettuja. Uudemmat rakennukset poikkeavat rakenteellisilta toteutuksiltaan vanhoista rakennuksista.

Suuri osa kiinteistöistä on vähintään kerran peruskorjattuja ja mahdollisesti peruskorjauksen yhteydessä laajennettuja. Tämänkin työn tutkimustietojen keräyksen aikana on peruskorjauksessa muun muassa entinen TKK:n päärakennus. Kiinteistöt poikkeavat toisistaan siis myös ikänsä ja erityisesti kuntosuhteensa puolesta. Osa kiinteistöistä on siis alkuperäisessä tai lähes alkuperäisessä kunnossa, eikä niissä ole tehty laajempia peruskorjauksia vaan ainoastaan ylläpitokorjauksia. Kiinteistökannasta löytyy myös yksi uudisrakennus.

Kuten yllä on mainittu, eroavat rakennusten käyttötarkoitukset toisistaan huomattavasti, joidenkin kiinteistöjen ollessa käytännössä kokonaan toimistotilaa ja toisten taas ollessa vastaavasti lähes kokonaan laboratoriotilaa sekä näiden välimuotoja. Kiinteistöissä sijaitsevat laboratoriotilat ovat myös toisistaan poikkeavia aina perinteisistä kemianteollisuuden laboratoriotiloista aina paperikone- ja ydinreaktorilaboratorioon saakka.

Näiden edellä mainittujen seikkojen vuoksi myös kiinteistöjen kuluttamat lämmitys- ja sähköenergian määrät poikkeavat toisistaan suuresti.

Alla olevasta kiinteistöluettelosta (taulukko 2) selviää kiinteistöjen perustiedot.

Taulukko 2. Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistöluettelo.

Kohde	Valmistumisvuosi	Peruskorjausvuosi	Bruttoala m2
302 Kemistintie 1	1964	2007	19847
304 Otaniementie 9	1970		9864
306 Otakaari 4	1966	2008	8616
308 Puumiehenkuja 3	1965		3232
310 Puumiehenkuja 5	1968		7229
312 Sähkömiehentie 4	1967		9166
314 Tietotie 1	1970		11834
316 Sähkömiehentie 3	1992		3770
318 Vuorimiehentie 2	1964	1999	12650
320 Puumiehenkuja 2	1966	2008	8553
322 Vuorimiehentie 1	1967	2009	7905
324 Tekniikantie 3	1970	2006	4567
326 Otakaari 1	1964		47985
328 Rakentajanaukio 4	1959	2001	11151
330 Konemiehentie 1	1954	2002	469,9
332 Otakaari 5-7	1969		41419
334 Rakentajanaukio 2/ Otakaari 3	1959	2010	15799
336 Konemiehentie 2	1998		12990
338 Konemiehentie 4	1967		716
340 Otaniementie 17	2003		18112
342 Tietotie 1 E	2000		2731
344 Lämpömiehenkuja 2	1962	2000	7379
346 Lämpömiehenkuja 3	1958	1999	5109
348 Metallimiehenkuja 10	1964	2009	1479
350 Betonimiehenkuja 1	1965		1642
352 Betonimiehenkuja 3	1964	1999	3624
354 Betonimiehenkuja 5	1958	2000	3497
358 KVS, Otakaari 26 / Luolamiehentie 2			6951
362 Otaniementie 19-21	2012		11403
395 Metsähovintie 114	1980		961
402 Runeberginkatu 14-16, Päärakennus	1950	1999	14831
404 Runeberginkatu 22-24, Chydenia	1923	1999	8104
406 Arkadiankatu 24	1930	1999	7999
Yhteenveto			331584,9

Kiinteistöjen käyttäjänä ja vuokralaisena on pääosin Aalto-yliopisto, mutta kiinteistöissä on myös muutamia muita vuokralaisia.

7 Laskennan tulokset ja tulosten analysointi

7.1 Laskentamenetelmä

Laskennassa on siis käytetty hyväksi energiankulutuksen seurantajärjestelmiin (Granlund Manager -kiinteistötietojärjestelmä ja Enerkey-energianhallintajärjestelmä) kerättyjä kulutustietoja vuosilta 2010–2013. Sähkön kulutustiedot perustuvat todellisiin mittarilukemiin ja sisältävät kaiken kiinteistössä käytetyn sähkön, eikä niissä ole eritelty käyt-

täjän kuluttamaa sähköenergiaa muusta rakennuksen kuluttamasta sähköstä. Lämpöenergian kulutustiedot peräisin samoista järjestelmistä ja ne ovat sääkorjattuja. Kirkkonummen kiinteistö (Metsähovintie 114, Radiotutkimusasema) ei kuulu kaukolämmön piiriin ja se on öljylämmitteinen. Siispä sen kuluttaman lämpöenergian osalta CO₂-päästöt on laskettu toteutuneen öljynkulutuksen perusteella.

Päästökertoimina laskennassa on käytetty Motiva Oy:n nettisivuilla julkaistuja ja laskentaohjeessa annettuja sähkö- ja lämmöntuotannon ominaispäästökertoimia. Ominaispäästökerroin on kaukolämmön osalta yhteistuotantoalueille hyödynjakomenetelmällä laskettu kolmen vuoden keskimääräinen päästökerroin ja sähköenergian osalta sähkönhankinnan viiden vuoden liukuvana keskiarvona laskettu ominaispäästökerroin. Kirkkonummen kiinteistön osalta lämmitysenergian tuottoon käytetyn kevyen polttoöljyn päästökertoimena on käytetty Motiva Oy:n ohjeistuksen mukaista ominaispäästökerrointa. Työssä on siis kerrottu kulutettu kevytöljymäärä öljyn energiasisällöllä (noin 10 kWh/litra), josta saatu energiankulutustieto on tämän jälkeen kerrottu kevytöljyn päästökertoimella. Taulukossa 3 on listattu kaikki tämän työn hiilijalanjälkilaskennassa käytetyt energian ominaispäästökertoimet.

Taulukko 3. Laskennassa käytetyt energian ominaispäästökertoimet.

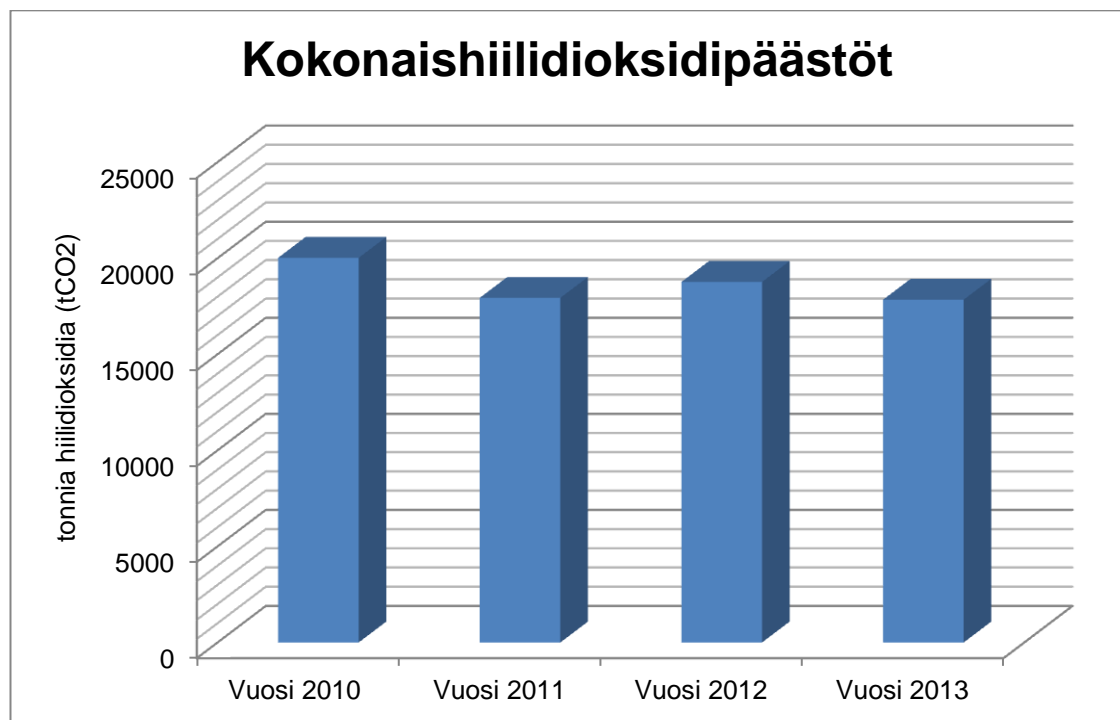
	Ominaispäästökertoimet (gCO ₂ /kWh)		
	Motiva Oy	Fortum Oy	Helen Oy
Kaukolämpö	217	130	107
Sähkö	210	0	209
Kevyt PÖ	261		
Vesisähkö	0		
Biopolttoaineet	0		

Liitteessä 2 on näkyvissä koko Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannan energiankulutukset ja energiankulutusten hiilidioksidipäästöt vuosilta 2010–2013 rakennuskohtaisesti. Lisäksi liitteen 2 taulukkoon on merkitty näkyviin kiinteistöjen bruttoalat. Liitteestä 2 voidaan myös huomata, että muutamia poikkeuksia energiankulutuksen keräystiedoissa on, muun muassa Konemiehentie 4:n sähkönkulutus ja Metsähovintie 114:n öljynkulutus vuodelta 2010. Konemiehentie 4:n sähkönkulutus sisältyy Konemiehentie 2:n sähkönkulutukseen, eikä sitä erikseen mitata, joten sen vuoksi sitä ei myöskään ole keräystiedoissa. Tämä kulutus kuitenkin, sisältyessään Konemiehentie 2:n sähköenergiankulutukseen, siirtyy kiinteistökannan kokonaiskulutukseen ja sitä myötä

näky myös CO₂-kokonaispäästöissä. Metsähovintie 114:n osalta vuoden 2010 öljynkulutustietoja ei valitettavasti ollut saatavilla, joten se on arvioitu laskennassa kiinteistön muiden vuosien kulutuksen perusteella. Huomioitavaa on myös, että vuoden 2012 aikana kiinteistökantaan tuli yksi uudisrakennus (Otaniementie 19–21) ja sen energiankulutustiedot näkyvät aineistossa syyskuusta 2012 eteenpäin.

Kiinteistöjen hiilidioksidipäästöt vaihtelivat aina muutamasta kymmenestä tonnista jopa yli kolmeen tuhanteen tonniin hiilidioksidia vuodessa, riippuen lähinnä kiinteistön koosta ja teknisistä ominaisuuksista, mutta myös käytöstavasta ja käyttötarkoituksesta.

Koko tutkittavan kiinteistökannan energiankulutuksen kokonaishiilidioksidipäästöt vuosilta 2010–2013 on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n omistamien kiinteistöjen energiankulutuksen aiheuttamat CO₂-kokonaispäästöt vuosilta 2010–2013.

Vuosien 2010–2013 aikana energiankulutuksen aiheuttamat CO₂-kokonaispäästöt ja kautuivat Motiva Oy:n laskentaohjeen mukaan suoritetun laskennan tulosten mukaan seuraavasti: vuonna 2010 syntyi 20 019 tonnia hiilidioksidia, vuonna 2011 syntyi 17 935 tonnia hiilidioksidia, vuonna 2012 syntyi 18 769 tonnia hiilidioksidia ja vuonna 2013 syntyi 17 839 tonnia hiilidioksidia.

Yleensä hiilijalanjälkeä laskettaessa keskitytään kokonaisuuteen sekä tarkoituksena on selvittää suurempien kokonaisuuksien ympäristövaikutuksia suuntaa antavasti. Otin kuitenkin tähän työhön mukaan myös vuotuisen kiinteistökohtaisen neliöperusteisen hiilijalanjäljen, joka antaa mahdollisuuden havaita tarkemmin kiinteistökohtaisia poikkeamia ja mahdollisesti pureutua niihin paremmin. hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Kutsun tätä jatkossa kiinteistön (vuotuiseksi) ominaishiilijalanjäljeksi (kgCO_2/m^2 (/vuosi)).

Taulukossa 4 on esitetty kiinteistöjen vuoden 2013 energiankulutuksen kiinteistökohtaiset kokonaispäästöt ja neliöperusteiset hiilidioksidipäästöt jaettuna kiinteistöjen karkean käyttötarkoitusten perusteella. Neliöperusteiset CO_2 -päästöt on saatu jakamalla kiinteistökohtaiset kokonaishiilidioksidipäästöt kiinteistön bruttoalalla. Neliöperusteinen hiilijalanjälki vaihteli tutkituissa kiinteistöissä $30,6 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ (Lämpömiehenkuja 3) ja $108,5 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$ välillä (Metsähovintie 114), koko kiinteistökannan ominaishiilijalanjäljen keskiarvon ollessa $53,8 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$.

Taulukon 4 tiedot ovat suuruusjärjestyksessä suuremmasta pienempään energiankulutuksen kokonaispäästöjen perusteella järjestettyinä ja kiinteistön karkean käyttötarkoituksijaon mukaan jaoteltuina. Punaisella värillä on merkitty ominaishiilijalanjälki-sarakkeeseen huomattavan korkeat kiinteistökohtaiset ominaishiilijalanjäljet, jotka asetuvat selvästi koko kiinteistökannan ominaishiilijalanjäljen keskiarvon yläpuolelle. Sinisellä värillä on merkitty bruttoala-sarakkeeseen ne kiinteistöt, joiden käyttöaste on matala eli joissa ei ole runsasta vuokralaistoimintaa tai ovat osittain tyhjiillään.

Taulukko 4. Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n omistamien kiinteistöjen energiankulutuksen aiheuttamat kiinteistökohtaiset CO₂-kokonaispäästöt ja neliöperusteiset ominaispäästöt.

Suurelta osin laboratorio- ja erikoistiloja	rakennusvuosi	peruskorj	bruttoala m2	tonCO2 / a	kgCO2 / m2
302 Kemistintie 1	1964	2007	19847	1672	84,2
320 Puumiehenkuja 2	1966	2008	8553	830	97,1
318 Vuorimiehentie 2	1964	1999	12650	710	56,1
322 Vuorimiehentie 1	1967	2009	7905	614	77,6
314 Tietotie 1	1970		11834	562	47,5
310 Puumiehenkuja 5	1968		7229	497	68,7
308 Puumiehenkuja 3	1965		3232	265	82,1
324 Tekniikantie 3	1970	2006	4567	197	43,1
342 Tietotie 1 E	2000		2731	149	54,4
395 Metsäohovintie 114	1980		961	104	108,5
Pääosin toimistotiloja					
336 Konemiehentie 2	1998		12990	826	63,6
312 Sähkämiehentie 4	1967		9166	511	55,7
362 Otaniementie 19-21	2012		11403	406	35,6
304 Otaniementie 9	1970		9864	367	37,2
306 Otakaari 4	1966	2008	8616	363	42,1
344 Lämpömiehenkuja 2	1962	2000	7379	340	46,1
316 Sähkämiehentie 3	1992		3770	194	51,6
346 Lämpömiehenkuja 3	1958	1999	5109	156	30,6
350 Betonimiehenkuja 1	1965		1642	90	54,7
348 Metallimiehenkuja 10	1964	2009	1479	56	38,1
330 Konemiehentie 1	1954	2002	469,9	21	45,7
Toimisto-, erikois- ja opetustiloja					
332 Otakaari 5-7	1969		41419	2720	65,7
326 Otakaari 1	1964		47985	1995	41,6
334 Rakentajanaukio 2/ Otakaari 3	1959	2010	15799	980	62,0
340 Otaniementie 17	2003		18112	803	44,3
402 Runeberginkatu 14-16, Päärakennus	1950		14831	771	52,0
328 Rakentajanaukio 4	1959	2001	11151	475	42,6
404 Runeberginkatu 22-24, Chydenia	1923		8104	271	33,4
406 Arkadiankatu 24	1930		7999	247	30,9
354 Betonimiehenkuja 5	1958	2000	3497	193	55,1
352 Betonimiehenkuja 3	1964	1999	3624	153	42,2
338 Konemiehentie 4	1967		716	29	40,1
Väestönsuoja					
358 KVS, Otakaari 26 / Luolamiehentie 2			6951	273,0	39,4

7.2 Laskennan tulosten analysointi

7.2.1 Kiinteistökohtainen energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki

Kiinteistökohtaisesta ominaishiilijalanjälkilaskennan tuloksista voidaan havaita, että kiinteistöt eroavat toisistaan huomattavasti. Pienin kiinteistökohtainen ominaishiilijalanjälki oli Lämpömiehenkuja 3:ssa (30,6 kgCO₂/m²). Tämä selittyy suurelta osin sillä, että kiinteistön käyttöaste on matala ja kiinteistön käyttötapa on vähän energiaa kuluttava. Lisäksi kyseisestä kiinteistöstä on osa kokonaan käyttämättömänä ja vuokralaisen toiminta kiinteistön aktiivisessa osassa on lähinnä verrattavissa normaaliin toimistotyöhön, joka on vähän sähköenergiaa kuluttavaa. Talotekniikka kiinteistössä on 2000-

luvun vaihteessa tehdyn taloteknisen perusparannuksen yhteydessä pääosin uusittu ja on sen aikaisten suunnitteluohjeiden mukaisesti toteutettu. Ilmanvaihto on varustettu lämmön talteenottojärjestelmällä, eikä mitään ilmanvaihdollisia erikoisjärjestelmiä ole käytössä, vaan toteutus noudattaa periaatteellisella tasolla normaalin toimistorakennuksen ilmanvaihtoa. Lämmitysjärjestelmä on normaali kaukolämpöliittymään kytketty vesipatterijärjestelmä. Yläpohjaeristystä on taloteknisen perusparannuksen yhteydessä myös parannettu.

Lähes vastaavalla käytöllä ja korjaushistorialla olevia kiinteistöjä kiinteistökannassa on muutamia ja näille myös on tyypillistä tuo alhainen ominaishiilijalanjälki. Näistä esimerkkeinä voidaan mainita mm. Metallimiehenkuja 10, Arkadiankatu 24, Runeberginkatu 20–24. Myös uusimmalla rakennuksella, Otaniementie 19–21, joka on sertifioitu LEED:n Gold-luokkaan, on matala ominaishiilijalanjälki (35,6 kgCO₂/m²). Tästä voi päätellä, että suunnittelu ja rakentaminen sekä kiinteistötekniikan käyttöönotto vaiheen viritys ja käyttöönotto kokonaisuudessaan ovat onnistuneet. Tämä ei kuitenkaan ole aivan koko totuus, sillä käyttöaste on ollut osassa kiinteistöä matala ja lisäksi myös alkuvaiheen teknisiä haasteita on riittänyt. Kun kiinteistö täyttyy vuokralaisista ja käyttöaste kohoaa, päädytään varmasti myös tämän kiinteistön osalta hieman korkeampaan ominaishiilijalanjälkeen.

Tarkasteltavan kiinteistökannan ominaishiilijalanjäljen keskiarvoon verrattuna poikkeavan suuria ominaishiilijalanjälkiä on noin yhdeksällä kiinteistöllä. Nämä kiinteistöt ovat listattu taulukkoon 5.

Taulukko 5. Korkeimmat ominaishiilijalanjäljet omaavat kiinteistöt.

Kiinteistö	kgCO ₂ /m ²
Metsähovintie 114	108,48
Puumiehenkuja 2	97,08
Kemistintie 1	84,25
Puumiehenkuja 3	82,07
Vuorimiehentie 1	77,62
Puumiehenkuja 5	68,68
Otakeari 5–7	65,67
Konemiehentie 2	63,61
Rakentajanaukio 2	62,03

Kiinteistökannan korkein energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki (108,48 kgCO₂/m²) on Metsähovintie 114:llä. Tämä kiinteistö on radiotutkimusasema, joka on öljylämmitteinen pienehkö rakennus kaukolämpöverkon ulkopuolella. Kiinteistöön ei ole tehty peruskorjauksia eikä vanhassa ilmanvaihtokoneessa ole lämmön talteenottoa. Lämmitysjärjestelmä on toteutettu vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Lisäksi kiinteistössä on muun muassa suuri ja huonosti lämpöeristetty tutkimustila jota lämmitetään talvisin myös sähköllä. Kiinteistön hiilijalanjälkeä nostaa huomattavasti myös öljylämmitys, jonka päästökerroin (261 kgCO₂/MWh) on kaukolämpöön (217 kgCO₂/MWh) verrattuna suurempi. Pelkkä kaukolämpöön liittyminen laskisi kiinteistön energiankulutuksen ominaishiilijalanjäljen arvoon 98,4 kgCO₂/m². Kiinteistö on Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n kiinteistökannassa kuitenkin poikkeus sijaintinsa, ominaisuuksiensa ja lämmitysmuotonsakin osalta.

Toiseksi korkein energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki (97,8 kgCO₂/m²) on Puumiehenkuja 2:lla. Tämä kiinteistö sijaitsee Otaniemen kampuksella keskeisellä paikalla, ja sen peruskorjaus on valmistunut vuonna 2008. Peruskorjauksen yhteydessä uusittiin kiinteistötekniikka ja osa rakenteita, kuten vesikatto ja ikkunat. Kiinteistön yleisilmanvaihto on varustettu lämmön talteenottolaitteistolla ja lämmitysjärjestelmä toteutettu vesikiertoisin lämmityspattereihin. Kiinteistön korkea ominaishiilijalanjälki selittyy suurelta osin kiinteistön käytötavalla ja siellä tapahtuvalla toiminnalla. Kiinteistössä on toimisto- ja opetustilojen lisäksi lukuisia suuria laboratoriotiloiksi luokiteltuja tiloja, joissa poistoilmanvaihto on määräyksien mukaisesti toteutettu vetokaappien kautta eikä näistä, turvallisuus- ja käytännön syistä, voida ottaa talteen poistuvan ilmapvirran mukanaan viemää lämpöenergiaa. Nämä erikoisilmanvaihdon laitteet vaativat suuria ilmavirtoja ja myös jatkuvaa käynnissä oloa, joten jatkuvan käyntinsä ja suurien ilmamäärien vuoksi ne kuluttavat sekä lämpöenergiaa että sähköenergiaa ja näin kasvattavat kiinteistön energiankäytön hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi kiinteistössä on käyttäjän tutkimuslaitteita, jotka kuluttavat sähköenergiaa ja kehittävät lämpöä, jota jäähdytyslaitteilla jäähdytetään ja kulutetaan näin samalla edelleen lisää sähköenergiaa. Rakenteellisesti kiinteistö vastaa vanhaa Otaniemen rakennuskantaa ja on rakenteiden osalta perinteinen Otaniemen rakennus. Viime vuosien aikana rakennuksesta on löydetty muutamia peruskorjauksen aikaisia virheitä, jotka osaltaan ovat vaikuttaneet hieman lämpöenergian kulutukseen ja sitä myötä myös energiankulutuksen hiilijalanjäljen suuruuteen.

Kolmanneksi korkein energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki (84,3 kgCO₂/m²) on Kemistintie 1:llä. Kiinteistö on peruskorjattu vuosina 2002–2006 ja vastaa tilojen käytöl-

tään sekä tekniseltä toteutukseltaan käytännössä Puumiehenkuja 2:ta. Kiinteistö koostuu toimisto- ja opetustiloista sekä laajoista laboratoriotiloista. Tässäkin kiinteistössä korkea lämpö- ja sähköenergiankulutus johtuvat pääasiassa laboratorio- ja erikoistilojen ilmanvaihdon toteutuksesta, joten samasta syystä kiinteistön energiankulutuksen hiilijalanjälki on suuri. Rakenteiltaan kiinteistö vastaa perinteistä Otaniemen rakennuskantaa.

Neljänneksi suurin energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki ($82,1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$) on Puumiehenkuja 3:lla. Tämä kiinteistö on vuodelta 1968 ja edustaa vanhaa Otaniemen rakennuskantaa, jota ei ole peruskorjattu. Kiinteistön ilmanvaihtokoneet ovat alkuperäisiä tai korjattu vanhaa vastaavalla korvaavalla laitteella vanhan rikkoutuessa. Tuon ajan suunnittelussa ei huomioitu energia-asioita kovinkaan suuresti, joten nämä laitteet eivät ole energiatehokkaita ja lisäksi niiden ohjauksjärjestelmät ovat nykystandardeihin verrattuna vaatimattomia. Ilmanvaihdossa ei ole lämmön talteenottoa. Lämmitysjärjestelmä on toteutettu vesikiertoisin lämmityspattereilla. Yläpohjan eristys ja ikkunat ovat alkupe räisiä. Kiinteistössä on kiinteistön kokoon nähden suuria laboratoriotiloja, joiden ilmanmäärät ovat suuria. Nämä tilat eivät kuitenkaan edusta samanlaisia vetokaapillisia tiloja kuin Puumiehenkuja 2:ssa tai Kemistintie 1:ssä, ja Puumiehenkuja 3:ssa olisikin lämmön talteenoton toteutus mahdollista esim. ilmanvaihdon perusparannuksen yhteydessä. Puumiehenkuja 5, jonka energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki on myös korkea (kuudenneksi korkein: $68,7 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$) vastaa käytännössä Puumiehenkuja 3:a, mutta siellä on kokonaispinta-alan suhteessa enemmän toimistotilaa. Muuten samat asiat, jotka pätevät Puumiehenkuja 3:een pätevät periaatteessa myös Puumiehenkuja 5:een.

Viidenneksi korkein energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki ($77,6 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$) on Vuorimiehentie 1:llä. Kiinteistö on peruskorjattu vuonna 2009, jolloin peruskorjattiin koko rakennus lukuun ottamatta vanhaa ”paperikonehalli”-nimellä kulkevaa laboratoriotilaa. Peruskorjattu osa kiinteistöstä sisältää toimisto-, opetus- ja laboratoriotiloja. Laboratoriotilat on varustettu modernein vetokaapein ja erikoisilmanvaihdoin ja toimisto- sekä opetustilat on toteutettu myös nykyaikaisin ilmanvaihtolaittein, jotka on varustettu lämmön talteenotolla. Peruskorjatun osan lämmitys on toteutettu vesikiertoisin lämmityspattereilla. Peruskorjaamaton osa kiinteistöstä on suurimmaksi osin avoin kaksikerroksinen hallitila, jonka laidoilla on pajatiloja. Hallin keskellä on paperikone, ja sen ympärillä tehdään myös muita puunjalostustekniikan laboratoriotomia. Hallia lämmitetään sekä vesikiertoisin lämmityspattereilla että tuloilman avulla. Hallin ilmanvaihtoa ei ole varustettu lämmön talteenotolla.

Seuraavaksi korkeimmat ominaishiilijalanjäljet ovat kiinteistöillä Otakaari 5–7 (65,7 kgCO₂/m²), Rakentajanaukio 2 (62,0 kgCO₂/m²) ja Konemiehentie 2 (63,3 kgCO₂/m²). Otakaari 5–7 on peruskorjaamaton kiinteistö, jossa korjauksia on tehty vain tarpeen mukaan vuosien varrella ja vain pieniä parannuksia alkuperäiseen. Rakentajanaukio 2 on osittain peruskorjattu ja osin vanhaa rakennuskantaa, ja Konemiehentie 2 on vuosituhaten vaihteessa valmistunut rakennus. Otakaari 5–7 on toimisto-, opetus- ja laboratoriotiloja, ja siellä on melko paljon käyttäjän tutkimuslaitteita. Osa rakennuksesta on hyvin vähällä käytöllä. Rakentajanaukio 2 koostuu täysin peruskorjatulta osaltaan toimisto- ja opetustiloista. Sen peruskorjaamaton osuus muodostuu tutkimusreaktorista ja toimistohuoneista. Peruskorjaamattomalla osuudella on vuosien varrella korjattu ja uusittu laitekantaa vain tarpeen mukaan. Konemiehentie 2:n voi luokitella tiloiltaan kokonaan toimisto- ja opetustiloiksi. Tietotekniikan opetuspaikkana siellä on suurehkoja määriä tietotekniikkaa, mutta varsinaista käyttäjän erikoislaitekantaa ei kiinteistössä ole. Yleisilmanvaihto on varustettu lämmön talteenotolla. Konemiehentie 2:n ominaishiilijalanjälkeä nostaa kuitenkin merkittävästi se seikka, että Konemiehentie 4:n sähkönkulutus näkyy kiinteistön mittauksissa, joten täten myös sen sähköenergiankulutuksen hiilijalanjälki on rasitteena Konemiehentie 2:lle.

Energiankulutuksen ominaishiilijalanjälkeä muuten tarkastellessa Otaniemen kampuksen rakennuksissa, sijoittuvat loput kiinteistöt välille 30 – 55 kgCO₂/m². Näitä kiinteistöjä tarkastellessa voisi yleisesti todeta, että peruskorjaamattomissa ja normaalista toimistokäytöstä poikkeavissa rakennuksissa tuo luku on hieman korkeampi ja vastaavasti peruskorjatuissa ja käytöltään toimistomaisemmassa käytössä olevissa rakennuksissa matalampi.

Töölön kampuksen rakennuksista kauppakorkeakoulun päärakennuksella Runeberginkatu 14–16 oli selvästi suurempi energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki kuin muilla kahdella rakennuksella. Tämä johtuu suurelta osalta päärakennuksen suuremmasta käyttöasteesta, mutta myös ilmanvaihdon suurista ilmamääristä ja sen lämmön talteenotossa sekä käyntiajoissa havaituista ongelmista sekä rakennuksen muista rakennusteknisistä ominaisuuksista.

7.2.2 Rakennuskohtainen energiankulutuksen hiilijalanjälki

Suurimmat energiankulutuksen absoluuttiset hiilijalanjäljet ovat luonnollisesti suurimmissa rakennuksissa, koska niiden lämmittämiseen ja sähkölaitteisiin sekä käyttäjälaitteisiin

kuluu enemmän energiaa kuin pienempien rakennusten vastaaviin toimintoihin. Suurimmat hiilijalanjäljet tutkittavasta kiinteistökannasta omaavat seuraavat kiinteistöt:

- Otakaari 5–7
- Otakaari 1
- Kemistintie 1.

Ne ovat samalla myös suurimmat kiinteistökannan rakennukset Otaniemen kampuksella. Huomioitavaa on kuitenkin se, että näillä on myös huomattavan korkea energiankulutuksen hiilijalanjälki verrattuna muuhun kiinteistökantaan. Otakaari 1:n energiankulutuksen ominaishiilijalanjälki näkyy vuoden 2013 vertailussa matalampana kuin aikaisempina vuosina, koska kiinteistössä on käynnissä peruskorjaus ja sen myötä energiankulutusluvut ovat pienempiä kuin aikaisempina vuosina.

7.2.3 Koko kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjälki

Koska energiankulutuksen hiilijalanjälki on riippuvainen lämmitysenergian käytöstä, vaihtelee se vuosittain luonnollisesti riippuen lämmitystarpeen määrästä ja tämä näkyy myös tutkittavan kiinteistökannan vuotuisissa CO₂-kokonaispäästöissä. CO₂-kokonaispäästölaskennan tulosten mukaan vaikuttaisi kuitenkin siltä, että vaikka lämpöenergiankulutuksen vuosivaihtelu onkin suoraan sidoksissa ulkolämpötilaan ja sitä myötä talven kylmyyteen, on hiilidioksidipäästöjen trendi energiankulutuksen osalta laskeva ja vuosi 2013 tutkittavan energiakulutushistorian osalta hiilijalanjäljeltään pienin. Laskevaa trendiä puoltaa myös sekin seikka, että vaikka kiinteistökantaan on tullut yksi uusi rakennus, ovat CO₂-kokonaispäästöt silti tulleet alaspäin. Tätä päätelmää tukee vielä sekin, että vuoden 2013 aikana Aalto-yliopistokiinteistöt Oy on tehnyt neljään kiinteistöön Otaniemen kampuksella energiansäästöinvestointeja, jotka ehtivät vaikuttaa loppuvuoden 2013 osalta energiankulutukseen ja sitä myötä sen hiilidioksidipäästöihin alentavasti. Lisäksi kiinteistö- ja käyttäjäsähkökulutuksen hallintaan on panostettu sekä yliopiston että kiinteistönomistajan taholla, joka näkyy tasaisena trendinä alaspäin ja sitä myötä vaikuttaa hiilidioksidipäästöjä alentavasti. Vuosien 2010 – 2013 koko kiinteistökannan keskimääräinen energiankulutuksen pinta-alaperusteinen hiilijalanjälki on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Vuosien 2010–2013 koko kiinteistökannan keskimääräinen energiankulutuksen pinta-alaperusteinen hiilijalanjälki.

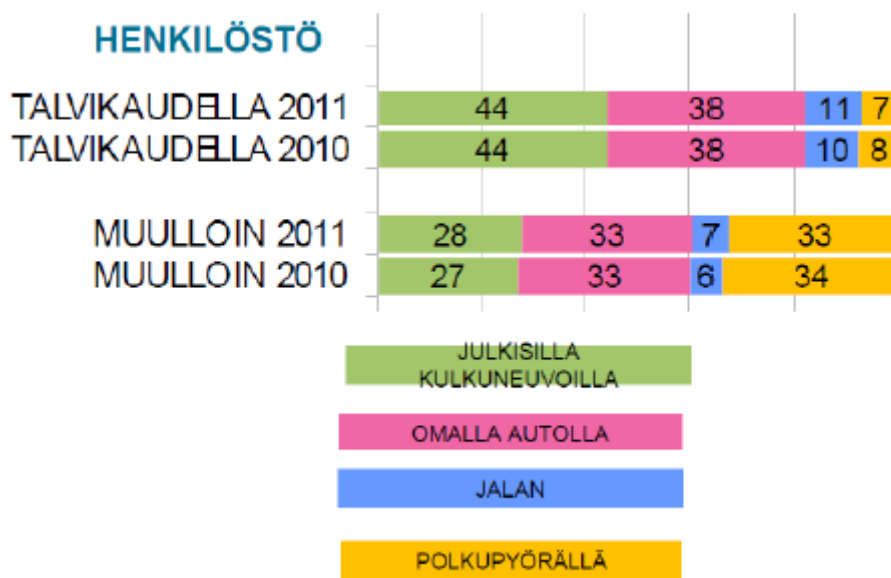
Vuosi	kgCO ₂ / m ²
2010	62,5
2011	56,0
2012	56,6
2013	53,8

Taulukossa 6 on huomioitu kiinteistökannan bruttoneliöiden muutos eri vuosina eli uuden rakennuksen (Otaniementie 19–21) valmistuminen elokuussa vuonna 2012. Taulukosta voi päätellä, että keskimääräinen energiankulutuksen neliöperusteinen hiilijalanjälki on pienentynyt vuosien 2010–2013 aikana.

7.2.4 Aalto-yliopiston henkilöstön työmatkaliikkumisen hiilijalanjälki

Aalto-yliopiston henkilöstön työmatkaliikkumista on tarkasteltu Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n järjestämän ja toteuttaman tyytyväisyyskyselyn ja vastausten perusteella. Tämän liikenneselvityksen toteutti ja raportoi Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n tilauksesta Newsec Oy. Liikenneselvityksen yhteydessä hyödynnettiin siis tyytyväisyyskyselyn liikkumisosi-
on vastauksia (kuva 5) ja lisäksi tietoja kerättiin yliopiston henkilöstöhallinnon tietokan-
nasta, joita mallinnettiin GIS-ohjelmaan ja sillä tehtiin GIS-analyysi. Näistä tiedoista
yhdessä kerättiin kokonaisuus, joilla saatiin laskettua arvioitu työmatkaliikenteen hiilija-
lanjälki. (Liite 1.)

KULKUVÄLINE	OSUUS HENKILÖSTÖSTÄ %
JULKINEN LIIKENNE	36 %
HENKILÖAUTO	35 %
KÄVELLEN	9 %
POLKUPYÖRÄ	20 %

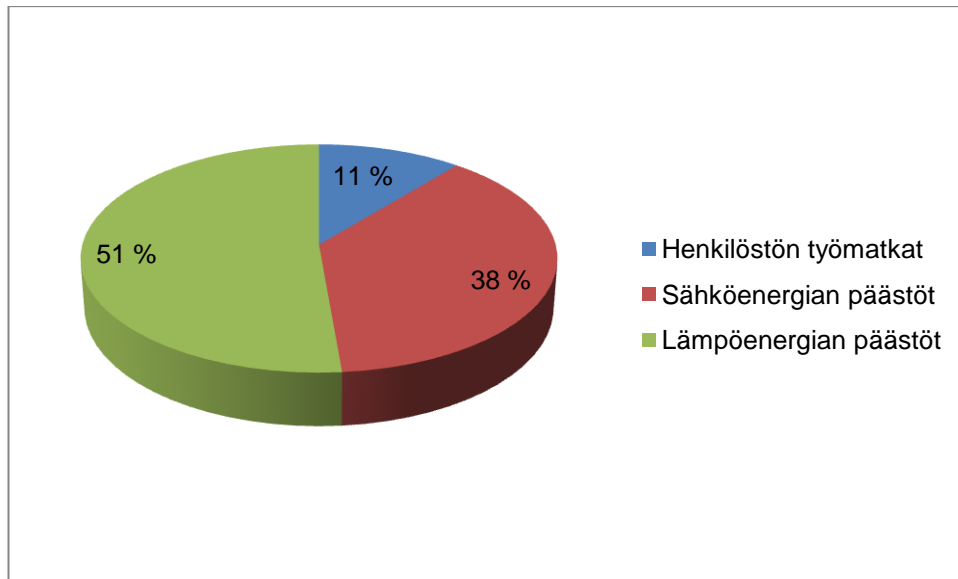


Kuva 5. Aalto-yliopiston henkilökunnan liikkumistavat vuonna 2010–2011.

Aalto-yliopiston työmatkaliikenteen vuoden 2011 vuotuinen hiilijalanjälki on Newsec Oy:n tekemän selvityksen mukaan 2 200 tCO₂, joka on noin 12 % saman vuoden energiankulutuksen hiilijalanjäljestä.

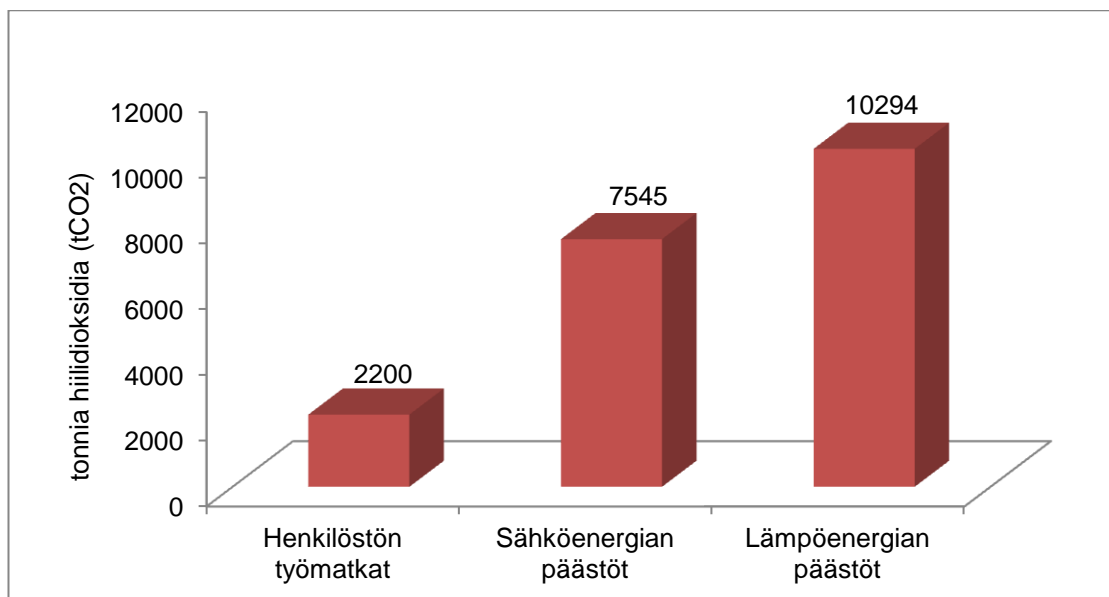
7.2.5 Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistökannassa

Kuvassa 6 on esitetty hiilidioksidipäästöjen osuuksien prosentuaalinen jakautuminen sähköenergian, lämpöenergian ja yliopiston henkilöstön työmatkaliikenteen kesken. Sähköenergian ja lämpöenergian lukuina on käytetty vuoden 2013 tietoja.



Kuva 6. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen henkilöstön työmatkojen, sähköenergian ja lämpöenergian kesken vuonna 2013.

Kuvassa 7 on esitetty samat tiedot kokonaispäästöjen muodossa.

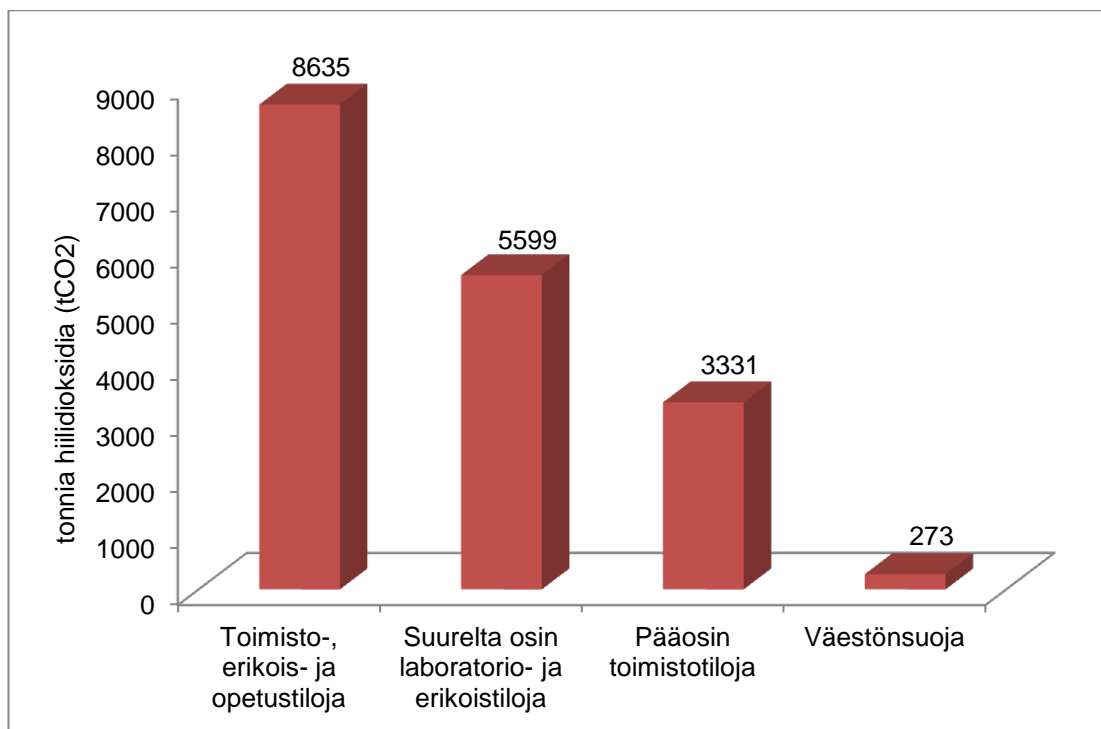


Kuva 7. Hiilidioksidipäästöjen jakautuminen henkilöstön työmatkojen, sähköenergian ja lämpöenergian mukaan vuonna 2013.

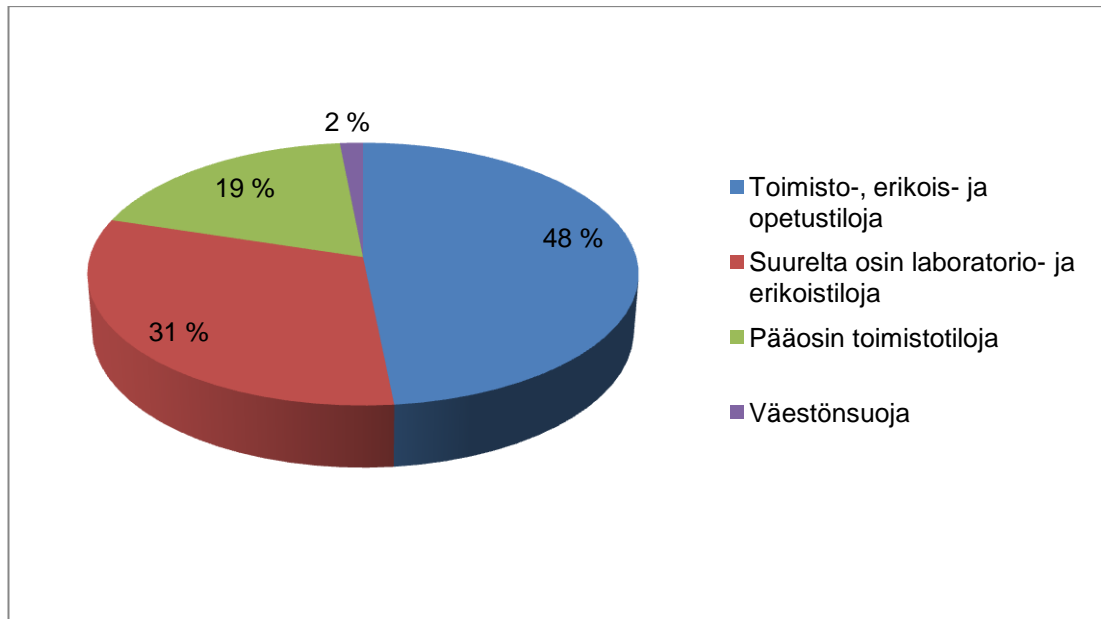
Lämmitysenergian osuus koko energiankulutuksen hiilijalanjäljestä näiden osa-alueiden kesken on noin 51 %. Sähköenergian osuus on noin 38 % ja työmatkaliikenteen osuus noin 11 % vuoden 2013 kulutustietojen mukaan laskettuna.

7.2.6 Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistöjen käyttötarkoituksen perusteella

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty tutkittavan kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjäljen jakautuminen, kun kiinteistöt on jaoteltu käyttötarkoitusten perusteella taulukon 3 mukaisesti.

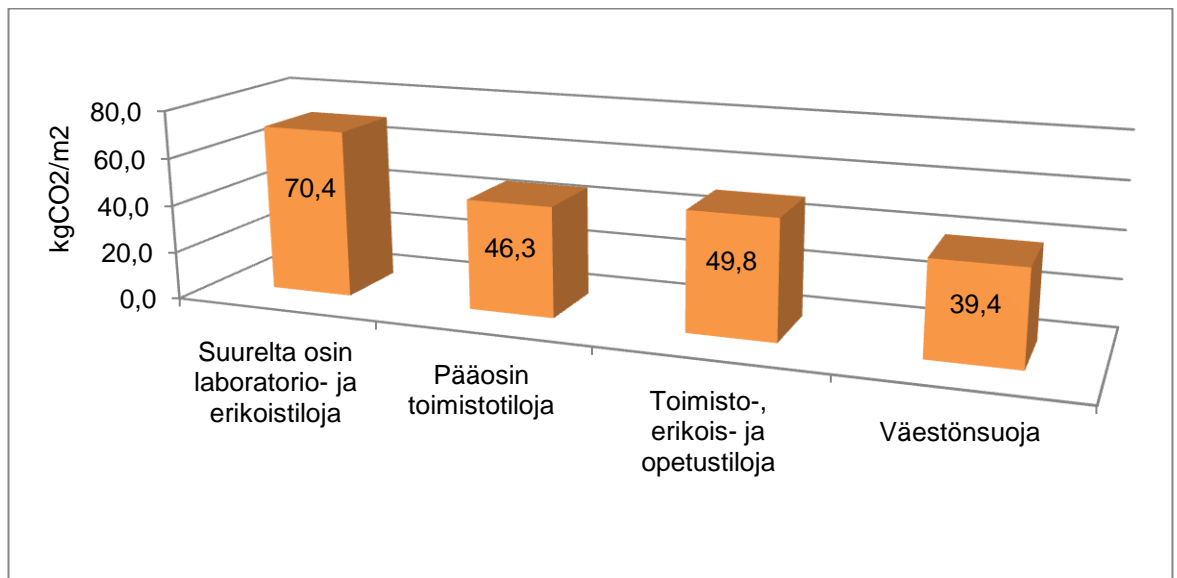


Kuva 8. Kokonaishiilidioksidipäästöjen jakautuminen kiinteistöjen käyttötarkoitusten mukaan.



Kuva 9. Hiilidioksidipäästöjen prosentuaalinen jakautuminen kiinteistöjen käyttötarkoitusten mukaan.

Kuvassa 10 on esitetty kiinteistöjen keskimääräinen ominaishiilijalanjälki käyttötavan mukaan laskettuna.



Kuva 10. Kiinteistöjen keskimääräinen ominaishiilijalanjälki käyttötarkoituksen mukaan laskettuna.

Kuten voidaan huomata, on absoluuttisesti suurin hiilijalanjälki (8 635 tCO₂) kiinteistöillä, jotka on lajiteltu kiinteistöryhmään ”Toimisto-, erikois- ja opetustilat”. Nämä kiinteistöt ovat tiloiltaan monimuotoisia ja sisältävät sekä perinteistä toimisto- ja opetustilaa, mutta myös jonkin verran joitakin erikoistiloja. Erikoistilojen osuus on kuitenkin pääosin vähäinen. Tämän kategorian kiinteistöt kattavat bruttoneliöiltään suurimman osan eli noin 52 % koko kiinteistökannan bruttopinta-alasta, joka selittää niiden suuren absoluuttisen osuuden energiankulutuksen kokonaishiilijalanjäljestä. Tämän kategorian rakennusten ominaishiilijalanjäljen ollessa 49,8 kgCO₂/m² se alittaa niukasti koko kiinteistökannan keskimääräisen ominaishiilijalanjäljen, 53,8 kgCO₂/m².

Absoluuttisesti toiseksi suurin hiilijalanjälki on kiinteistöillä, jotka kuuluvat ”Suurelta osin laboratorio- ja erikoistiloja” -kiinteistöryhmään. Nämä kiinteistöt sisältävät laajoja alueita laboratorio- ja erikoistiloja sekä myös perinteistä toimisto- ja opetustilaa. Kuitenkin laboratorio- ja erikoistilat vievät huomattavan paljon näiden rakennusten pinta-aloista. Tämän kategorian kiinteistöjen pinta-alat ovat noin 24 % koko kiinteistökannan pinta-alasta, mutta aiheuttavat 31 % koko kiinteistökannan energiankulutuksen hiilidioksidipäästöistä. Näin myös ominaishiilijalanjälki on huomattavasti kiinteistökannan keskimääräistä ominaishiilijalanjälkeä korkeampi (70,4 kgCO₂/m²).

Toiseksi pienin hiilijalanjälki on kiinteistöillä, jotka kuuluvat kiinteistöryhmään ”Pääosin toimistotiloja”. Nämä kiinteistöt ovat suurimmalta osalta tai kokonaan toimistokäytössä olevia. Tämän kategorian kiinteistöjen pinta-alat ovat noin 22 % koko kiinteistökannan pinta-alasta ja hiilijalanjälki 19 % koko kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjäljestä. Ominashiilijalanjälki on toiseksi pienin, 46,3 kgCO₂/m², joka alittaa kiinteistökannan ominaishiilijalanjäljen keskiarvon.

Pienin hiilijalanjälki on suurehkolla keskusväestönsuojalla, joka kattaa 2 % koko kiinteistökannan energiankulutuksen kokonaishiilijalanjäljestä ja jonka ominaishiilijalanjälki on 39,4 kgCO₂/m². Tämä kiinteistö on tarkasteltu erillisenä, koska se poikkeaa rakenteiltaan, tekniikaltaan ja käytöltään kaikista muista kiinteistöistä, eikä sellaisenaan sovi muihin kiinteistöryhmiin.

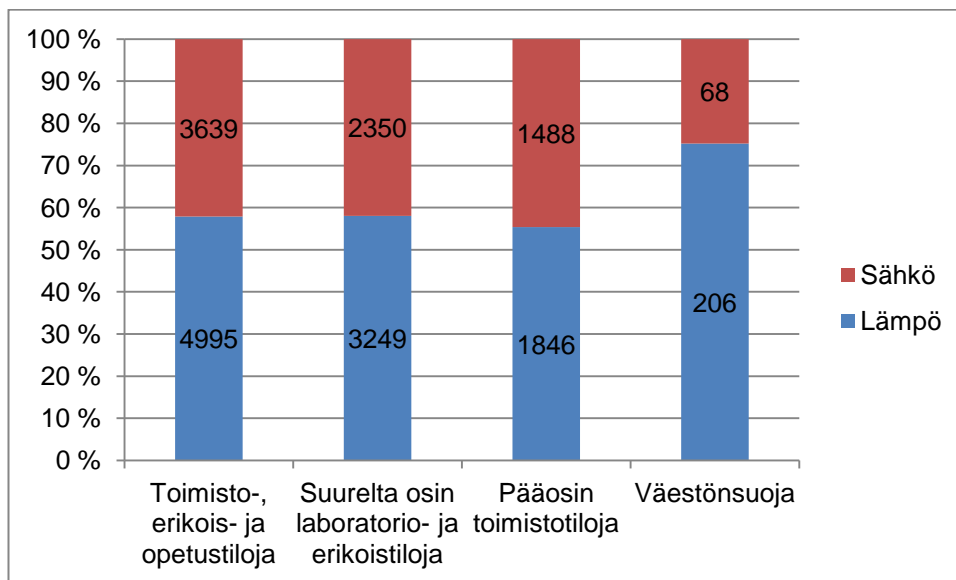
Taulukossa 7 on laskettu erikseen kulutetun sähkö- ja lämmitysenergian osuuksien ominaishiilijalanjälki eri kiinteistötyypeille.

Taulukko 7. Vuoden 2013 ominaishiilijalanjäljen muodostumien kiinteistöjen eri käyttötarkoitusten mukaan.

Kiinteistön käyttötarkoitus/tilatyyppe	Lämmön kgCO ₂ /m ²	Sähkön kgCO ₂ /m ²
Suurelta osin laboratorio- ja erikoistiloja	40,9	29,6
Pääosin toimistotiloja	25,7	20,7
Toimisto-, erikois- ja opetustiloja	28,8	21,0
Väestönsuoja	29,6	9,8

Taulukosta 7 voi päätellä, että laboratorio- ja erikoistiloissa hiilijalanjälki muodostuu 27–37 % suuremmasta lämmityksen hiilijalanjäljestä muihin kiinteistötyyppeihin verrattuna. Myös käytetyn sähköenergian hiilijalanjäljen osuus on noin 29 % suurempi laboratorio- ja erikoistiloja omaavissa kiinteistöissä kuin muunlaisen käytön kiinteistötyypeissä.

Kuvassa 11 on esitetty kulutetun sähkö- ja lämmitysenergian hiilijalanjäljen jakautuminen eri kiinteistötyyppien sisällä.



Kuva 11. Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistötyypistä riippuen.

Kuvasta 11 voi havaita, että lämpö- ja sähköenergioiden aiheuttaman hiilijalanjäljen jakautuminen on samankaltainen kiinteistötyypeissä ”Toimisto-, erikois- ja opetustiloja” sekä ”Suurelta osin laboratorio- ja erikoistiloja”, joissa lämmitysenergian osuus hiilijalanjäljestä on noin 58 % ja sähköenergian osuus 42 %. Kiinteistötyypin ”Pääosin toimistotiloja” rakennuksissa lämpöenergian hiilijalanjälki on noin 55 %, ja sähköenergian osuus puolestaan 45 %. Tutkittavassa suuressa väestönsuojassa lämpöenergian hiilijalanjälki on huomattavan suuri sähköenergian hiilijalanjälkeen verrattuna.

7.2.7 Hiilijalanjäljen jakautuminen kiinteistöjen iän ja peruskorjauksen perusteella

Kun jaetaan kiinteistökanta rakennusvuosien ja peruskorjausajankohtien kesken kolmeen kategoriaan: ”15:sta vuoden sisällä peruskorjattu tai alle 15 vuotta vanha rakennus”, ”Osittain peruskorjattu tai yli 15 vuotta vanha rakennus” ja ”Peruskorjaamaton rakennus”, saadaan taulukon 8 mukaiset tulokset.

Taulukko 8. Kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjäljen muodostuminen rakennus- ja peruskorjausajankohdan mukaan.

	Pinta-ala (m ²)	tCO ₂	kgCO ₂ /m ²
Peruskorjattu tai lähes täysin peruskorjattu tai alle 15 vuotta vanha rakennus	137472	7103	51,7
Osittainen peruskorjaus tai yli 15 vuotta vanha rakennus	107211	5663	52,8
Peruskorjaamaton rakennus	86902	5072	58,4

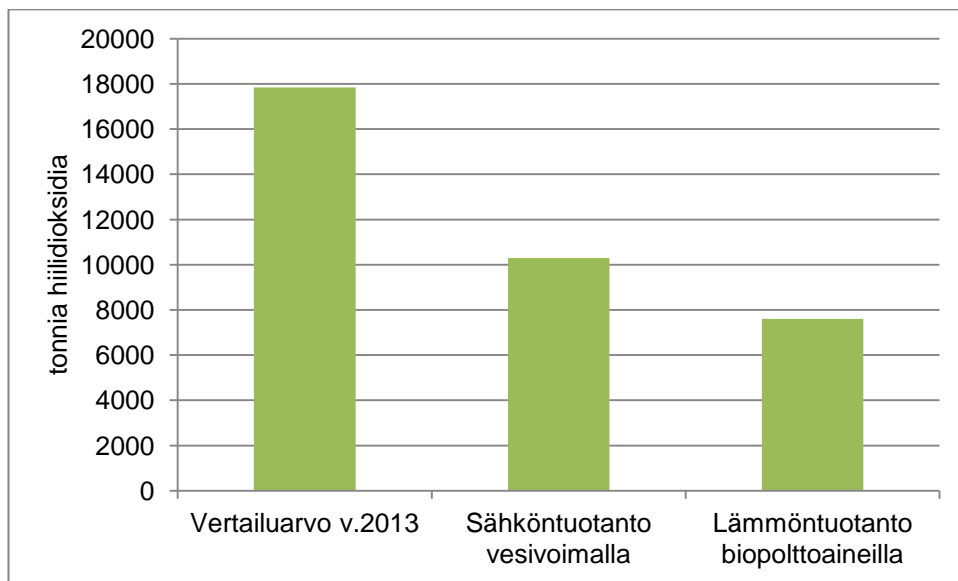
Taulukosta 8 voidaan havaita, että pienin ominaishiilijalanjälki on peruskorjatulla rakennuskannalla, toiseksi pienin osittain peruskorjatuilla ja suurin peruskorjaamattomalla rakennuskannalla. Erot eivät kuitenkaan ole yhtä suuret tällä tavoin jaoteltuina kuin kiinteistöjen käyttötarkoituksen mukaan jaoteltuina, joten tästä voi päätellä, että tarkasteltavan kiinteistökannan kiinteistöjen käyttötarkoitus ja siellä tapahtuva toiminta on hiilijalanjälkeen suuremmin vaikuttava seikka kuin rakentamis- tai peruskorjausajankohdasta. Toisaalta peruskorjatun ja peruskorjaamattoman rakennuskannan ero on myös huomattava, joten tästäkin voi päätellä, että rakennusten peruskorjaus pienentää energiankulutuksen hiilijalanjälkeä.

7.3 Energiankulutuksen hiilidioksidipäästölaskennan vaihtoehtojen vertailua

Hiilidioksidilaskennassa voidaan vaihtoehtoisesti käyttää myös energiayhtiöiden ilmoittamia energiantuotannon ominaispäästökertoimia. Energiayhtiöiltä (Fortum ja Helen) [12; 13] saaduilla sähkön ja kaukolämmön ominaispäästökertoimilla laskettuna kiinteistökannan vuoden 2012 energiankulutuksen kokonaishiilijalanjälki oli 7 057 tCO₂ verrattuna Motiva Oy:n ohjeistuksen laskennan ominaispäästökertoimilla laskettuun 18 769 tCO₂. Mikäli virallista hiilijalanjälkiraportointia tullaan jossain vaiheessa edellyttämään kiinteistöiltä tai yhteisöiltä, on syytä tarkentaa tai säädösten avulla määritellä mitä arvoja laskennassa tulee käyttää, sillä eri lähtöarvoilla päädytään eri tuloksiin.

Koska energiantuotannon ominaispäästökertoimilla eli lähtöarvoilla voidaan helposti mitata vaikutusta koko kiinteistökantaan, on myös vaihtoehtoisten energianhankinta-

muotojen tarkastelu mahdollista. Tämä mahdollistaa esimerkiksi vesivoimalla tuotetun sähköenergian ja biopolttoaineilla valmistetun lämpöenergian teoreettisen vaikutuksen hiilijalanjäljen muutokseen. Kuvassa 12 on vertailtu vesivoimalla tuotetun sähkön ja biopolttoaineiden polton vaikutusta koko kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjälkeen laskettuna vuoden 2013 luvuilla. Vertailuarvona on siis Motiva Oy:n ohjeistuksen mukaisilla ominaispäästökertoimilla laskettu hiilijalanjälki. Toisessa skenaariossa on kaikki kulutettu sähköenergia tuotettu vesivoimalla, jonka ominaispäästö on 0 gCO₂/kWh ja toisessa skenaariossa lämpöenergia on tuotettu kokonaan biopolttoaineilla, joiden ominaispäästö on myös 0 gCO₂/kWh. [26, s.6.]



Kuva 12. Vesisähkön ja biopolttoaineiden käytön vaikutus hiilijalanjälkeen.

Kuten kuvasta 12 nähdään, olisi vesisähköllä ja biopolttoaineiden käytöllä valtava vaikutus energiankulutuksen kokonaishiilijalanjälkeen. Sähköntuotanto vesivoimalla laskisi kokonaishiilijalanjälkeä n. 42 % ja lämmöntuotanto biopolttoaineilla peräti 58 %.

8 Toimenpiteitä hiilijalanjäljen pienentämiseksi

8.1 Energiankulutuksen hiilijalanjäljen pienentäminen

Energiankulutuksen hiilijalanjäljen pienentämistä voi lähestyä kahdella eri tapaa. Voidaan joko lähteä pienentämään käytetyn energian valmistuksen aiheuttamaa hiilijalan-

jälkeä tai vaihtoehtoisesti voidaan lähteä tekemään rakennuskohtaisia toimenpiteitä, jotka pienentävät rakennuksen energiankulutusta ja samalla siis energiankulutuksen hiilijalanjälkeä. Näitä toimenpiteitä voidaan siis tehdä ja suunnitella jo olemassa oleviin rakennuksiin sekä uudisrakennuksiin.

Hiilijalanjätkilaskennan avulla voi kuitenkin huomata, että ”väärin säästämällä” voidaan jopa lisätä CO₂-päästöjä. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka toimenpiteet säästävät tiettyä energiamuotoa, voivat ne kasvattaa toisen energiamuodon kulutusta sekä aiheuttaa kuluneiden materiaalien muodossa yhdessä enemmän CO₂-päästöjä kuin mitä säästön vaikutus todellisuudessa on. Koko energiaketjun tarkastelu tuotannosta kulutukseen on tämän vuoksi se menetelmä, joka lopulta osoittaa toimivat ratkaisut. Periaate tässä tarkastelussa on yksinkertainen, pitää tuntea pääosin päästöjä aiheuttavat energiatuotantomuodot ja vähentää juuri näihin kohdistuvaa energiankulutusta. [3.]

Rakennuskohtaiset toimenpiteet

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin raportissa on kirjattu rakennuskohtaisia toimenpiteitä, joilla rakennuksen hiilijalanjälkeä pienennetään. Niitä ovat muun muassa:

- lämmitys-, jäähdytys-, ja valaistustarpeen pienentäminen
- aurinkoenergian ja muiden uusiutuvien lähiympäristössä tarjolla olevien lämmön- ja kylmänlähteiden tarpeenmukainen käyttö
- lämmitys-, jäähdytys- ja muiden laitteiden energiatehokkuuden parantaminen
- energiajärjestelmien tarpeenmukainen ohjaus ja käyttö
- rakennusten kokonaisvaltainen suunnittelu
- rakennusten muodon, suuntauksen ja sijoittelun suunnittelu
- CFC- eli freonipäästöjen vähentäminen
- ihmisten käyttäytymisen muutos.

Edellä mainitut IPCC-raportin keinot huomioiden rakennuksen kaikessa käytössä, ylläpidossa ja korjauksissa, päästään toimenpidetasoiin ratkaisuihin, joilla voidaan rakennuksen hiilijalanjälkeä pienentää. [14; 3.]

Koska rakennuksen kuluttaman energian hiilijalanjälki on suoraan verrannollinen energiankulutuksen määrään, on syytä minimoida rakennuksessa käytetty energia. Tällöin minimoidaan rakennuksen energian nettotarpeet. Energian nettotarpeet koostuvat tilo-

jen ja ilmanvaihdon lämmittämisestä sekä jäähdyttämisestä, ilmanvaihdon sähkötarpeesta, käyttöveden lämmittämisestä, tilojen valaistuksesta sekä kuluttajalaitteiden sähkökäytöstä. [16, s. 6.]

Seuraavissa alaotsikoissa on koottu eri osa-alueilta tarkempia konkreettisia toimenpiteitä, joita voidaan käyttää tavoitteiden saavuttamiseksi.

Tilojen lämmitysenergian hiilijalanjäljen minimointi

Rakennuksen tilojen lämmitysenergiatarve koostuu rakenteiden johtumishäviöistä, kylmäsilloista sekä vuotoilmavirroista. Johtumishäviöitä voidaan pienentää parantamalla rakenteiden ja rakennusosien eristävyttä ja eristyskykyä. Rakenteiden välisten kylmäsillojen määrä tulee minimoida ja vuotoilmavirtojen minimointi ja hallinta tulee huomioida jo suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Käytännössä siis rakennuksen eristävyteen ja tiiveyteen tulee panostaa, jolloin rakenteiden läpi tapahtuva lämpöhäviö on mahdollisimman pieni. [17, s. 68–69.] Lisäksi rakennuksen suunnitteluvaiheessa tulee pyrkiä käyttämään lämmityskaudella mahdollisimman paljon hyväksi ikkunoiden ja rakenteiden läpi tulevaa auringon lämpöenergiaa ja samalla taas jäähdytyskaudella estää auringon lämmittävä vaikutus. Tämä huomioidaan kiinteistön sijainnin ja sijoittumisen sekä mahdollisten aurinkosuojauksen avulla. [18, s. 6.] Myös käyttöveden lämmittämiseen kuluu lämmitysenergiaa, joten mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella olevia ja oikein mitoitettuja lämmönsiirtimiä tulee käyttää. Lämpöä voi myös ottaa talteen esimerkiksi kiinteistön harmaavesistä ja hyödyntää siitä saatua lämpöenergiaa kiinteistön eri lämmöntarpeisiin.

Ilmanvaihdon energiankulutuksen hiilijalanjäljen minimointi

Rakennuksen ilmanvaihto kuluttaa lämpöenergiaa ja sähköenergiaa. Esimerkiksi toimistorakennuksessa ilmanvaihdon osuus sähköenergian kulutuksesta on yleensä 25–35 % [17, s. 107]. Lämpöenergiaa tarvitaan tuloilman lämmittämiseen ja sähköenergiaa ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden toimintaan ja ilmanvaihdon jäähdytykseen. Lämpöenergian talteenotto lämmön talteenottolaitteilla poistoilmasta on tehokas tapa pienentää lämpöenergian kulutusta. Sähköä käyttävien ilmanvaihtojärjestelmän osien energiatehokkuus tulisi maksimoida käyttämällä esimerkiksi paremmalla hyötysuhteella varustettuja puhaltimia. Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus ja tasapainotus tulisi tehdä energiataloudellisesti oikein, jotta laitteet toimivat parhaimmalla suunnitellulla hyötysuhteella.

Ilmamäärien tasapainotus on tärkeää, jotta rakenteiden läpi vaikuttavat paine-erot ovat mahdollisimman pienet, jolloin rakenteiden läpi kulkeutuvat ilmavirrat, ja sen myötä hävitty lämpöenergia, ovat mahdollisimman pienet. Ilmanvaihdon tarpeenmukaisuus ja käyntiajat on syytä ottaa tarkasti huomioon jo suunnitteluvaiheessa. [4, s. 88.]

Ilmanvaihdon toteutukseen on viime aikoina tullut uusia vaihtoehtoja myös meille Suomeen. Maailmalla lähes Suomea vastaavissa ilmasto-olosuhteissa on toteutettu muutamia kohteita painovoimaisella ja hybridi-ilmanvaihdolla. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa maksimoidaan luonnolliset voimat ja käytetään niitä hyväksi ilmanvaihdon toteutuksessa. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei ole puhaltimia siirtämässä ilmaa, jolloin sähköenergian kulutusta ei ole. Hybridi-ilmanvaihdossa hyödynnetään samoja luonnollisia voimia, jotka vaikuttavat, mutta puhallinvusteisesti aina tarpeen niin vaatiessa. Järjestelmä on siis varustettu puhaltimilla, jotka siirtävät ilmaa vain, jos luonnolliset voimat eivät riitä riittävään ilmanvaihtoon. Hybridi-ilmanvaihdolla päästään myös pienen sähköenergiankulutukseen verrattuna perinteiseen koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään. [24.]

Jäähdytykseen käytetyn energian hiilijalanjäljen minimointi

Tarvittava jäähdytysteho riippuu rakennuksen sisäisistä lämpökuormista ja auringon säteilystä. Jotta jäähdytyksen tarve minimoidaan, tulee nämä sisäiset kuormat ja auringon säteily myös minimoida. Sisäiset lämpökuormat muodostuvat ihmisistä ja laitteista, kuten valaistus, tietokoneet jne., jotka tuottavat tiloihin lämpöä ja jota jäähdytyksellä kompensoidaan, jotta sisäolosuhteet pysyvät haluttuina. Sisäisten lämpökuormien hallintaan toimivat mm. turhan valaistuksen sammuttaminen, ylimääräisten laitteiden sammuttaminen ja jopa ihmisten sijoittuminen kiinteistöön. Auringon säteilyn aiheuttama lämpökuormaa voidaan pienentää esim. aurinkosuojilla tai erilaisilla pinnoitteilla ikkunoissa. [16, s. 9.] Aurinkosuojilla on saatu aikaan merkittäviä säästöjä jäähdytysenergian tarpeessa. [18, s. 16.] Tarvittavan jäähdytysenergian määrää voidaan myös pienentää ilmanvaihdon yöaikaisella huuhtelullaärkevien käyntiaikojen avulla, jolloin viileä yöilma jäähdyttää tiloja ja rakenteita yön aikana. [15.] Erityyppisillä jäähdytysjärjestelmillä ja jäähdytyslaitteilla on myös erilaisia energialuokkia, joten oikealla valinnalla ja suunnittelulla voidaan päästä energiatehokkaampiin lopputuloksiin. Jäähdytysjärjestelmän suunnittelussa ensiarvoisen tärkeää on myös oikea lämpötilamitoitus. [17, s. 84.] Yhtenä vaihtoehtona jäähdytysratkaisulle on myös kaukojäähdytysverkkoon liittyminen, joka saattaisi olla hiilijalanjäljeltään paras vaihtoehto.[19.]

Sähköenergian kulutuksen aiheuttaman hiilijalanjäljen minimointi

Sähköenergian kulutus kiinteistössä koostuu valaistuksen ja laitteiden sähkötarpeesta. Pääsääntönä näiden hiilijalanjäljen minimoimiseksi voi pitää sitä, että hankitaan vain energiatehokkaita laitteita, minimoidaan laitteiden määrä ja käytetään niitä tarpeenmukaisesti. Esimerkkinä mainittakoon LED-valaistus, jolla saadaan hyvä valaistusteho pienellä sähköteholla, ja valaistuksen läsnäoloanturit, jotka estävät valojen turhaa päällä oloa. [4, s. 89.]

Muiden taloteknisten laitteiden sähkökulutukseen vaikuttaa vahvasti niiden oikeanlainen suunnittelu, sillä väärällä suunnittelulla mm. putkistojen ja kanavien painehäviöt kasvavat suuriksi, jolloin turhaan kasvatetaan pumppujen ja puhaltimien kokoja. Suunnittelussa tulisivatkin tarkastella erityisesti häviöiden minimoimista kaikilla osa-alueilla. Näin säästetään yleensä rakennusvaiheen materiaaleja ja käytönaikaista energiaa, jotka molemmat yhdessä pienentävät hiilijalanjälkeä. [17, s. 80–81.]

Käyttö, ylläpito ja korjaus

Käyttö ja ylläpito ovat kriittisiä rakennuksen energiankulutuksen hiilijalanjäljen syntymisessä. Kiinteistön energiatehokkaiksikin suunnitellut laitteet muuttuvat äkkiä energiatehottomiksi vääränlaisen käytön tai huonon ylläpidon aiheuttaman vikaantumisen seurauksena. Tämän vuoksi on tärkeää, että laitteistojen toimintaa, käyttöä ja kuntoa valvotaan ja huolletaan tarkasti. Nykyaikaiset rakennusautomaation etäkäyttö- ja etävalvontamahdollisuudet mahdollistavat sen, että oikeat ammattilaiset voivat tarkkailla eri järjestelmiä ilman paikalla käyntiä, jolloin vastuuta vikojen havaitsemisista jaetaan pois kohteen paikalla olevalta henkilökunnalta. Ylläpitohenkilökunnan tulisi olla perehtyneitä omien vastuukiinteistöjen kiinteistötekniisten järjestelmien osalta, jotta piilevätkin poikkeukset löytyvät nopeasti. [4, s. 86.]

Mikäli kiinteistötekniisessä laitteistossa vaaditaan suurempia korjaustoimenpiteitä, eikä pelkkä huoltotoimenpide riitä, pitäisi aina miettiä, olisiko siinä yhteydessä mahdollista valita jokin hiilijalanjäljeltään pienempi vaihtoehto korjaukselle tai tehdä perusparannustoimenpide energiatehokkaampaan suuntaan. Tällainen voi olla esimerkiksi lämmön talteenottopatterin lisääminen poistoilmakanavaan.

8.2 Energiantuotannon mahdollisuudet hiilijalanjäljen pienentämiseksi

Ostettaessa energiaa energiayhtiöiltä ei energiantuotannon hiilijalanjäljen pienentämiseen ole kiinteistön käyttäjällä tai omistajalla juurikaan mahdollisuutta vaikuttaa. Täten energiayhtiöiden energiantuotannon osalta ohjausvastuu hiilivapaiden energiamuotojen tuottamiseen jää valtiolle. Kiinteistön omistajalla ja käyttäjällä on kuitenkin mahdollisuus ostaa esimerkiksi vähäpäästöistä vesivoimalla tuotettua sähköä ja näin ollen pienentää omaa energiankulutuksen hiilijalanjälkeään. Kiinteistönomistaja tai käyttäjä voi myös itse tuottaa osan käyttämästään energiasta mm. maalämmöllä, aurinko- tai tuulivoimalla. Näiden toimenpiteiden tarkastelu edellyttää kuitenkin kustannus- ja CO₂-päästölaskelmia suunnittelu- ja hankintavaiheessa.

Kiinteistöllä on myös mahdollisuus osittain omavaraiseen energiantuotantoon. Tätä voidaan toteuttaa monellakin eri tavalla. Yhtenä vaihtoehtona ovat lämpöpumput, jotka siirtävät lämpöenergiaa maasta, ilmasta tai vedestä rakennuksen sisään lämmönsiirtimien, lämmönsiirtonesteen, kompressoreiden ja pumppujen avulla. Kompressorit ja pumput käyttävät sähköenergiaa, mutta verrattuna kaukolämpöön ei tarvita massiivisia verkostoja ja rakennustöitä infran rakentamiseksi. Lämpö on myös ”ilmaista”, eikä sillä ole käytönaikaista erillistä lämpöenergian hiilijalanjälkeä vaan hiilijalanjälki koostuu laitteiston käyttämän ostoenergian eli sähkön hiilijalanjäljestä. Lämpöpumpuilla voidaan tuottaa myös jäähdytysenergiaa joissain tapauksissa.[25.]

Lämpöpumppujen lisäksi erilaiset aurinkojärjestelmät voivat toimia omavaraisena energiantuotantona. Auringon säteilystä voidaan kerätä sekä sähköenergiaa että lämpöenergiaa erityyppisillä aurinkokennoilla ja -keräimillä. Aurinkoenergian käyttöä rajoittaa sen saatavuus, mikä johtuu lähinnä pohjoisesta sijainnistamme. Lisäksi aurinkokennot ja aurinkokeräimet vaativat laajoja pinta-aloja. [6, s. 76.]

Omavaraisen energiantuotannon lähteenä voi toimia myös tuulivoima. Tällöin ilmavirtauksen liike-energia muutetaan tuulivoimalan generaattorissa sähköksi. Tuulisähkön osalta on sama ongelma kuin aurinkokeräimienkin kanssa, eli aina ei tuule, joten sähköä ei saada jatkuvasti. Myös tuulivoimaloiden sijoitus on haasteellista monessa ympäristössä, koska ne ovat suuria ja voimaloiden siipien tulee olla korkealla.

Otaniemessä on käynnistynyt ”Energiaomavarainen Otaniemi 2030” -projekti, jonka on käynnistänyt Aalto-yliopistokiinteistöt Oy, ja hankkeessa on tällä hetkellä mukana myös

Aalto-yliopisto. Tarkoituksena olisi ottaa projektiin mahdollisesti mukaan myös muita Otaniemessä toimivia ja projektista kiinnostuneita tahoja. Projektin tavoitteena on tehdä Otaniemen kampusalueesta päästötön ja energiaomavarainen vuoteen 2030 mennessä. Projektissa tutkitaan mahdollista omaa Otaniemen energiantuotantolaitosta sekä uusiutuvia energiamuotoja, joilla tuotettaisiin koko Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n Otaniemen alueella omistamien rakennusten kuluttama energia. Projektin toteutus on vasta suunnitteluvaiheessa, ja tässä vaiheessa on kartoitettu erityyppisiä vaihtoehtoja energiantuotannolle, kuten aurinkosähkö- ja lämpö, tuulivoimageneraattoreita, maalämpö- ja ilmalämpöpumppuja sekä pien-CHP-laitosta sekä näiden yhdistelmäratkaisuja.

9 Johtopäätökset

9.1 Yleisiä havaintoja energiankulutuksen hiilijalanjäljestä

Yhteenvedon voidaan yleisesti todeta, että energiankulutuksen kokonaishiilijalanjälkeen vaikuttaa eniten sen laskennassa käytettävien ominaispäästökertoimien suuruudet. Koska ominaispäästökertoimien valinta vaikuttaa niin suuresti laskennan lopputulokseen, olisi ensiarvoisen tärkeää, että nämä kertoimet olisivat ”virallisia” eli virallisen tahon vahvistamia ja helposti löydettäviä sekä sellaisia, ettei niiden tulkinnan tai valinnan kanssa tule ongelmia. Tätä työtä tehdessäni törmäsin ongelmaan, jossa minulla oli valinnanvaikeus ja runsaudenpula eri ominaispäästökertoimista. Sain energiayhtiöiltä eri vuosilta vuosikohtaisia ominaiskertoimia sekä niiden keskiarvoja. Vuosikohtaiset kertoimet poikkesivat toisistaan suuresti (mm. Fortumin kaukolämpö 0 gCO₂/kWh vuodelta 2010 ja 310 gCO₂/kWh vuodelta 2013), joten hiilijalanjäljen vuosivaihtelu olisi poikennut täysin energiankulutuksen vuosivaihtelusta ja energiankulutusmääristä yleensäkin. Lisäksi muilla viralliseksi luokiteltavilla tahoilla on Suomelle ja muille valtioille määriteltyjä energiantuotannon ominaispäästökertoimia. Tämä kaiken kaikkiaan on kohtalaisen sekava kenttä, jonka vuoksi, jos laskennan tulosten halutaan olevan vertailukelpoisia globaalilla tasolla, ympäristövaikutusten ja siten myös hiilijalanjäljen ollessa globaali ilmiö, pitäisi olla myös virallinen taho, joka määrittelee nämä laskennassa käytettävät lähtöarvot. Muuten mahdollisuus erilaisille laskennan tulosten manipulaatioille ja samalla laskennan tulosten uskottavuuden kärsimiselle on suuri.

Toisaalta tämä sama ominaisuus osoittaa valtavan potentiaalın hiilijalanjäljen pienentämisessä, jos panostetaan uusiutuviin ja pienen ominaispäästökertoimen omaavaan energiantuotantomuotoon. Tällä tavalla on suurempi mahdollisuus pienentää kiinteistökannan kokonaishiilijalanjälkeä, koska se vaikuttaa kerralla läpi koko rakennuskannan. Rakennusten fyysisiä ja teknisiä ominaisuuksia on tietyn pisteen jälkeen vaikea enää parantaa, ja nämä toimenpiteet ovat aina rakennuskohtaisesti erikseen harkittavia ja suunniteltavia, joten siten myös työläämpiä. Tämän perusteella voisi suositella panostusta energianhankinnan osalta mahdollisuuksien mukaan hiilivapaampaan suuntaan ja samalla tehdä kiinteistökohtaisia talo- ja rakennusteknisiä parannuksia. Lisäksi tarkasteluun pitäisi ottaa samalla käyttäjän toimintaan liittyvät kiinteistön käytön muutokset, koska kuten aikaisemmin on todettu, vaikuttaa käyttäjän toiminta kiinteistön hiilijalanjälkeen merkittävästi.

9.2 Kiinteistötekniset muutokset

Kiinteistön energiankulutuksen hiilijalanjäljen perusteella tehtävät hiilijalanjäljen pienentämiseen tähtäävät toimenpiteet ovat luonteeltaan samanlaisia kuin normaalien energiansäästötoimenpiteidenkin toimenpiteet. Seuraavassa tarkastellaan edellä kuvailtuja toimenpiteitä ja mahdollisuuksia kiinteistökohtaisesti ja kampustasolla.

9.2.1 Ilmanvaihto ja siihen liittyvät toimenpiteet

Ensimmäinen silmiinpistävä asia tutkittavasta kiinteistökannasta oli erilaisilla laboratoriotiloilla varustettujen rakennusten huomattavan korkea ominaishiilijalanjälki verrattuna toimitiloiltaan toimistotyypisiin rakennuksiin. Korkeimmiksi ominaishiilijalanjäljet nousivat niissä kiinteistöissä, joissa laboratoriotilat vaativat erikoisilmanvaihtoa, kuten veto-kaappeja, kohdepoistoja tai vakioilmastointilaitteita. Tämän tyyppiset ilmanvaihtojärjestelmät on monesti toteutettu ilman poistoilman lämmön talteenottoa, koska mahdollisesti myrkyllisiä ja syövyttäviä aineita ei saa siirtyä lämmönsiirron yhteydessä tuloilmaan. Lämmön talteenottolaitteiden materiaalit eivät myöskään kestä näitä käsiteltäviä aineita, ja lisäksi on riski, että niitä pääsee kertymään suuria määriä talteenottolaitteiden rakenteiden pintaan, jolloin mm. huollon riskit kasvavat. Lisäksi laitteiden pitää olla monessa tapauksessa ATEX-suojattuja käsiteltävien aineiden vuoksi. Näiden laboratoriotilojen ilmamäärät ovat myös suuria ja käyntiajat pitkiä, joten sähkö- ja lämpöenergiaa kuluu paljon.

Koska korkeakoulututkimus ja -opetus edellyttävät näitä laitteita ja teknisesti niiden lämmön talteenotto on mahdotonta toteuttaa turvallisesti, tulisikin kiinnittää huomiota näiden laitteiden oikeanlaiseen ohjaukseen ja tarpeenmukaiseen käyttöön. Esimerkiksi Kemistintie 1:ssä on pienellä käyttöasteella olevia vetokaappeja, jotka kuitenkin teknisen toteutuksen vuoksi ovat päällä jatkuvasti. Vaikka kyseiset vetokaapit on varustettu vetokaappikohtaisella säädöllä, jolloin kiinni ollessaan vetokaapin kautta kulkee vain mitoitettu minimipoistoilmavirta, tulisi harkita mahdollisuutta esimerkiksi kytkeä tiettyjen alueiden vetokaapit kokonaan pois päältä esimerkiksi lomien ajaksi. Tämä edellyttää luonnollisesti vetokaappien tyhjentämistä ja siivoamista, mikä taas edellyttää kiinteistössä käyttäjätason toimia. Toinen huomioitava seikka on se, että vetokaappeja ja kohdepoistoja käytettäisiin oikein. Yleistä on, että vetokaappeja ja kohdepoistoja jätetään turhaan auki, jolloin rakennusautomaatio automaattisesti lisää poistoilmavirtaa ja näin kulutetaan turhaan sähkö- ja lämpöenergiaa. Järjestelmiin on vaikeaa rakentaa luotettavaa automaatiota kohdepoistojen ja vetokaappien automaattiseen sulkeutumiseen, joten tämäkin on lähinnä käyttäjän opastuksen ja vastuuttamisen kautta suoritettava toimenpide. Kemistintie 1:ssä näiden vetokaappien ohjaukset ja valvonta on suunniteltu peruskorjausvaiheessa kiitettävän energiatehokkaaksi (vetokaappikohtaiset säädöt). Tämä kuitenkin on edellyttänyt runsasta tekniikan määrää, joka puolestaan vaatii aktiivista ja laadukasta huoltoa ja korjausta, aiheuttaen lisäkustannuksia. Jotta järjestelmän kuluttama energia ja samalla hiilijalanjälki pystytään minimoimaan, on näiden järjestelmien toiminnan tarkkailuun ja vikatilanteissa nopeaan huoltoon erityisesti kiinnitettävä huomiota.

Useimpiin tutkitun rakennuskannan peruskorjatuista kiinteistöistä on peruskorjauksen yhteydessä myös järjeistetty ilmanvaihdon vaikutusalueita. Kuitenkin nykyisessä toimitalasuunnittelussa vaaditaan tiloilta entistä enemmän muutosjoustavuutta ja samalla edellytetään talotekniikalta samaa muutosjoustavuutta tilamuutosten yhteydessä. Tämän vuoksi vaikutusalueiden ja säätömahdollisuuksien valmiudet tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Tutkittavan kiinteistökannan kiinteistöissä on melko uusissakin rakennuksissa (esim. Konemiehentie 2, Lämpömiehenkuja 2) suuria alueita, joissa vaihdetaan ilmaa suurelta osalta kiinteistöä, vaikka tiloja käytetään vain pienessä osassa rakennusta. Näissä kohteissa pitäisi tarkastella ja toteuttaa esimerkiksi tilamuutosten yhteydessä ilmanvaihdon aluejako-, säätö- ja ohjausparannuksia. Näin säästettäisiin sekä ilmanvaihtokoneita että sähkö- ja lämpöenergiaa.

Peruskorjaamattomissa rakennuksissa, jotka sisältävät vanhoja hallityyppisiä tiloja ja jotka toimivat laboratoriokäytössä, on erityisesti puutteita lämmön talteenoton kanssa. Näitä kiinteistöjä ovat muun muassa Vuorimiehentie 1 ja Tietotie 1. Molemmissa rakennuksissa hallitilojen ulkoseinä- ja kattorakenteet ovat nykystandardeilla mitattuna eristävyydeltään keskinkertaisia ja ilmanvaihto toteutettu suurin ilmamäärin ja vaillinaisilla säätömahdollisuuksilla ilman lämmön talteenottoa. Nämä laitteet eivät täytä nykystandardeja ja aiheuttavat tiloissa sisäilmaolosuhteiden kanssa ongelmia, kuten kylmyyttä ja vetoa. Kun näitä ongelmia lähdetään vajavaisiin säätömahdollisuuksiin korjaamaan, saadaan aikaiseksi vielä enemmän energiahukkaa ja kasvatetaan hiilijalanjälkeä. Olisikin ensiarvoisen tärkeää, että näiden tilojen suhteen tehtäisiin nopeita peruskorjaustoimenpiteitä tai ainakin harkittaisiin osittaista perusparannusta vanhaan laitekantaan. Mahdollisia vaihtoehtoja voisivat olla myös ilmanvaihto- ja rakennusautomaatiolaitteiden osittainen uusinta sekä avustavat muut talotekniset laitelisäykset. Näkisin nämä korkeat ja avarat hallitilat myös mahdollisina vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien, kuten painovoimaisen ja hybridi-ilmanvaihdon testaus- ja toteutuskenttänä.

Tutkittavan kiinteistönkannan rakennuksista 12:ssa toimii valmistus- tai jakelukeittiö, jossa valmistetaan ruokaa. Näiden ravintoloiden keittiöiden rasvakanavien poistoilmanvaihdosta ei kaikista oteta lämpöä talteen. Tämä olisi nykyisin toteutettavissa helposti erilaisin lämmön talteenottolaittein ja muun muassa energiainvestointien sekä peruskorjausten yhteydessä näitä lämmön talteenottolaitteita on lisättykin joihinkin kiinteistöihin. Jokaisen keittiön kohdalla tulisi tehdä ainakin tarkastelu lämmön talteenottomahdollisuuksien suhteen sekä varmistaa, että poistoilmamäärät ovat vaatimusten mukaiset, mutta eivät liian suuret.

9.2.2 Jäähdytyslaitteet ja niihin liittyvät toimenpiteet

Tutkittavassa kiinteistökannassa olevia jäähdytyslaitteita käytetään sekä tilajäähdytykseen että käyttäjän tutkimuslaitteiden jäähdytykseen ja tutkimustarpeisiin. Tilajäähdytyksen tarpeet ovat lähinnä opetus- ja toimistotilojen jäähdytystä, sisältäen tietyt tietotekniset laitetilat. Tutkimuslaitteiden jäähdytykseen ja tutkimustarpeisiin tarvitaan jäähdytystä muun muassa kiinteistöissä Tietotie 1 ja Puumiehenkuja 5, joissa toimivat jäänmurtajalaboratorio ja autotekniikan laboratorio. Molemmat mainitut kiinteistöt ovat vanhaa peruskorjaamatonta rakennuskantaa, ja näissä molemmissa kiinteistöissä toimitettavissa tutkimuksissa tarvitaan suurta ja jatkuvaa jäähdytystehoa, joka puolestaan tuottaa lauhdutustilaa. Tätä lauhdelämpöä ei käytetä tällä hetkellä mihinkään hy-

väksi vaan se ajetaan lauhduttimilta ”taivaan tuuliin”. Erityisesti Tietotie 1:n osalta rakennuksen ollessa pääosin peruskorjaamatonta hallitilaa ja ilman lämmön talteenottoa, voisi tällä lauhdelämmöllä olla suurikin energiansäästövaikutus.

Yhtenä jäähdystarpeen pienentämisen vaihtoehtona on ajateltu toimisto- ja opetustilojen kesäloma-ajan jäähtyksen keskeytystä tietyissä kiinteistöissä ja tietyissä rakennusten osissa. Ajatuksena tässä olisi, että ne henkilöt, jotka kokevat tarvitsevansa jäähdytettyä tilaa voisivat siirtyä kesäaikana näihin jäähdytettyihin kiinteistöihin tai kiinteistöjen osiin. Tämä toimenpide voisi toimia etenkin perinteisissä koulurakennustyyppisissä kiinteistöissä kesälomakauden luonteen vuoksi, mutta se edellyttää joustavuutta ja uudenlaista ajattelutapaa kiinteistöjen käyttäjältä, joten ilman yhteistyötä kiinteistön käyttäjän ja omistajan välillä ei tätä voi viedä eteenpäin.

Käyttäjän tietoteknisten laitetilojen, kuten ristikytkentä- ja serveritilojen jäähdytysenergia on otettu kiinteistön yleisestä jäähdytysvesiverkostosta tai toteutettu erillisillä vedenjäähdyttimillä. Energiansäästön kannalta olisi hyvä, että koko laitetalan jäähtyksen sijaan, joka saattaa olla tilavuudeltaan suuri, pitäisi mielestäni jäähdytys kohdistaa suoraan jäähdystarpeen omaavaan laitteeseen. Luonnollisesti jäähtyksen osalta on todettavissa, että laitetilojen ja prosessilaitteiden jäähtyksen ollessa kytkettynä kiinteistön ilmanvaihdon kanssa samaan vedenjäähdytyslaitteistoon tulee lämmityskaudella vapaajäähdytyksen olla maksimaalisesti hyödynnetty sekä oikein säädetty, jotta välttään kompressorien turhalta käynniltä ja näin turhalta sähköenergian kulutukselta.

Otaniemen alueella on myös harkittu kaukojäähdytyksen käyttöönottoa yhdessä Fortunin kanssa, mutta kaukojäähdytysvesi ei sovellu sellaisenaan suoraan tutkimuslaitteiden käyttöön lämpötilansa vuoksi, joten tämän ja kustannustensa vuoksi kaukojäähdytysverkoston toteutus Otaniemen alueella ja yliopistorakennuksissa on tällä hetkellä ajatuksena haudattu. Toisaalta mikäli kaukojäähdytysverkosto Otaniemeen jossain vaiheessa tuodaan, olisi syytä tarkastella tätä hiilijalanjäljen näkökulmasta, jolloin toimisto- ja opetustilojen sekä esimerkiksi tietotekniikan laitetilojen jäähtyksen aiheuttama hiilijalanjälkeä saataisiin pienennettyä. Kaukokylmä on ympäristönäkökulmasta erittäin hyödyllinen, koska sen jäähdytysveden valmistustapa on täysin toinen kuin kiinteistöistä normaalisti löytyvä kylmäaineinen ja sähkökäyttöisellä kompressorilla toimiva vedenjäähdytyskone, jonka käytetyt kylmäaineet ovat usein erittäin voimakkaita kasvihuonekaasuja. Vuonna 2011 arvioitu kiinteistöjen tarvitsema jäähdytysteho koko Otaniemessä oli noin 11 000 kW ja tarpeen on ajateltu kasvavan tulevana vuosina uusien

rakennusten myötä, joten tämän jäähdytysenergian tuottaminen kaukokylmällä perinteisten kylmälaitosten sijaan pienentäisi hiilijalanjälkeä Helen Oy:n kaukojäähdytyksen säästölaskurin [27.] mukaan 1 980 tCO₂/vuosi. Kuten edellä mainittiin, on kaiken jäähdytystarpeen korvaaminen kaukojäähdytyksellä mahdotonta, mutta osittaisellakin siirtymisellä vaikutettaisiin suuresti hiilijalanjälkeen.

9.2.3 Sähkölaitteet ja niihin liittyvät toimenpiteet

Kuten aikaisemmin on mainittu, kiinteistön sähkölaitteiden osalta eniten sähköenergiaa kuluttavat talotekniikkaan liittyvien laitteiden sähkönkulutuksen lisäksi valaistus ja käyttäjälaitteet. Valaistuksen osalta kiinteistökannassa on useita erilaisia valaistusratkaisuja eri aikakausilta. Aivan uusimmissa rakennuksissa ja remonteissa sekä energiansäästöinvestointitoimenpiteenä on valaistus toteutettu LED-tyyppisin valaistuksin. Näistä on esimerkkinä Sähkämiehentie 3:n kaikkien valaisimien vaihtaminen LED-tyyppisiin valaisimiin. Toisena ääripäänä on taas vanhat hehkulamput toimiviksi suunnitellut ja paikoin rakennusvalvonnan suojelemat valaisimet vanhoissa ja peruskorjaamattomissa rakennuksissa. Näkisin, että mikäli LED-valaistus täyttää odotukset kestävyys- ja valaistustehon sekä energiansäästön osalta niissä rakennuksissa, joihin ne on asennettu, tulee LED-tyyppisiä ja muita energiansäästölamppuja ottaa käyttöön kaikissa mahdollisissa rakennuksissa.

Käyttäjälaitteiden ja niiden käytön osalta, ja etenkin tietoteknisten laitteiden osalta, toimenpiteet ovat kiinteistön käyttäjän vastuulla. Yliopistolla on parhaillaan harkinnassa keskitetty IT-laitteiden energiansäästöjärjestelmän käyttöönotto ja aktiivista käyttäjäkoulutusta energia-asioissa yhdessä kiinteistönomistajan kanssa, joten suunta on siltä osin oikea.

9.2.4 Rakenteet ja ikkunat sekä niihin liittyvät toimenpiteet

Rakenteiden ja ikkunoiden osalta kiinteistökantaa rasittavat muun muassa suojelumääräykset. Tämän vuoksi julkisivuihin vaikuttavat muutokset ovat rakenteiden osalta hankalia ja vaativat tavallistakin tarkemman rakennuslupaprosessin. Kuitenkin rakenteiden osalta tulisi harkita mahdollisten lisäeristysmahdollisuuksien tarkastelua tietyissä rakennuksissa ja rakennuksen osissa mm. yläpohjan osalta. Tällaisia kiinteistöjä ovat muun muassa Vuorimiehentie 2, Betonimiehenkuja 3 ja 5 sekä muissakin harjapeltika-

tollisissa peruskorjaamattomissa rakennuksissa tai rakennuksissa joiden peruskorjauksesta on jo jonkin aikaa. Peruskorjausten yhteydessä voidaan vastaaventyypisiä toimenpiteitä harkita myös tasakattoisissa rakennuksissa.

Ikkunoiden uusimista koskevat samat rajoitukset suojelumääräysten ja samat haasteet rakennuslupien suhteen kuin muita julkisivurakenteiden osia. Vanhojen ikkunoiden kunnostuksen yhteydessä voisi tarkastella ikkunan sisälasin vaihtoa eristävyydeltään lämpölasiin, mutta ikkunoiden uusimisen ja korjausten kustannusten vuoksi tämä siirtyy kuitenkin yleensä peruskorjausten yhteyteen. Ikkunapinnat ja -liittymät ovat kuitenkin rakennuksen vaipassa kaikkein eniten lämpöhäviöitä aiheuttavat osat, joten vanhojenkin ikkunoiden suhteen pitäisi tarkastella jotain vaihtoehtoja, jotka saattaisivat parantaa sekä energiataloutta että sisäilmaolosuhteita. Tällaisena toimenpiteenä voisi pitää esimerkiksi ikkunoiden kalvotusta tai kaihtimien asennusta. Toimenpiteen hyödyn voisi nykyisillä simulointityökaluilla todeta ja tämän jälkeen tehdä päätökset toimenpiteistä ja niiden hyödyllisyydestä sisäilman ja energiatalouden kannalta.

9.2.5 Uusiutuvien energiamuotojen hyödyntäminen

Uudistuvien energiamuotojen käyttöönottoa tulisi tarkastella sekä peruskorjausten yhteydessä että miettiä niiden pohjalle tehtyjä perusparannuksia. Näin saisimme kiinteistöjen energiankulutuksen hiilijalanjälkeä pienemmäksi ja samalla toimenpiteet voisivat tukea sekä olla osana käynnissä olevaa projektia ”Energiomavarainen Otaniemi 2030”.

Aurinkokeräimien ja -kennojen asentamisen helppoutta tukevat kiinteistöissä mm. laajat tasakatto-osuudet, jolloin niiden asennukset rakenteiden kantavuuden rajoissa olisi teknisesti helppoa. Huomioon otettavia seikkoja ovat tällöin kattohuoltojen, mm. kattolumitöiden ja puhdistamisen vaikeutuminen.

Maalämmön käyttöönotto Otaniemessä olisi myös helppoa. Alueella on jo olemassa muutamassa kiinteistössä koekäytössä olleita tämäntyyppisiä järjestelmiä, joista osasta jouduttiin kuitenkin luopumaan metrotunnelin aiheuttamien esteiden vuoksi. Kauempana metrotunnelin reitiltä voitaisiin kuitenkin harkita kiinteistökohtaisia tai jopa keskitettyä lämmöntuotantoa maalämmöllä. Tämäntyyppiset toimenpiteet olisi hyvä ajoittaa myös peruskorjausten yhteyteen tai erillisten järjestelmäkohtaisten perusparannusten yhteyteen tai liittää Energiomavarainen Otaniemi 2030 -hankkeeseen.

Energiaomavarainen Otaniemi 2030 -projektissa on suunniteltu tarkasteltavaksi mahdollisuutta omalle CHP-laitokselle (lyh. Combined Heat and Power -laitos eli sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos), joka tuottaisi energiaa tämän hankkeen piirissä oleviin kiinteistöihin. Tämän vaihtoehdon toteutuminen edellyttää tarkkaa suunnittelua ja hallittuja toimenpiteitä sekä vaativia lupaprosesseja virallisten tahojen kanssa, mutta on ehdottoman kiinnostava ja hyödyllinen vaihtoehto tutkittavaksi.

Mikäli CHP-laitoksen yhteydessä biopolttoaineiden käyttöä voitaisiin hyödyntää lämmöntuotannossa koko Otaniemen alueen kiinteistökannassa, lämmöntuotannon hiilijalanjälki olisi Otaniemen kiinteistöissä nolla ja ainoat hiilidioksidipäästöt muodostuisivat sähköenergian käytöstä sekä työmatkaliikenteestä. Tämä mahdollistaisi hiilijalanjälki-tarkastelun näkökulmasta alueen kiinteistöjen kehittämisen keskittymisen suurimmaksi osaksi sähköenergian hiilijalanjäljen pienentämiseksi, koska lämmitysenergian hiilijalanjälki on biopolttoaineilla minimoitu. Toisaalta jos koko kiinteistökannan kaikki sähköenergia olisi vesivoimalla tuotettua ja näin sähköenergian hiilijalanjälki olisi saatettu nollassa, voisi kiinteistöjen kehittämisessä keskittyä lämmitysenergian hiilijalanjäljen pienentämiseen. Lämmitysenergian osuus hiilijalanjäljen muodostumisessa koko kiinteistökannassa vaikuttaisi olevan työn laskennan mukaan hallitsevampi, joten tämä tukee CHP-laitoksen tai muiden lämmitysenergian hiilijalanjäljen pienentämiseen tähtävien toimien harkitsemista.

10 Yhteenveto

Tässä työssä laskettiin Aalto-yliopistokiinteistöt Oy:n koko kiinteistökannan sekä kiinteistökohtainen energiankulutuksen aiheuttama hiilijalanjälki Motiva Oy:n laskentaohjeen mukaan. Työssä vertailtiin kiinteistökannan eri rakennusten hiilijalanjälkiä keskenään ja ryhmiteltiin niitä mm. niiden ominaisuuksien, käyttötarkoituksen ja iän mukaan.

Kiinteistökannan energiankulutuksen hiilijalanjälki oli vuonna 2013 yhteensä 17 839 tCO₂ ja tämä muodostui käytetyn lämpöenergian 10 294 tCO₂:n ja sähköenergian 7 545:n tCO₂ osuuksista. Vertailutietona työhön otettiin mukaan arvioitu yliopiston henkilökunnan työmatkaliikkumisen hiilijalanjälki, joka oli 2 200 tCO₂.

Tarkasteltaessa kiinteistöjen energiankulutuksen hiilijalanjälkeä niiden peruskorjausajankohdan ja iän perusteella huomattiin, että kiinteistökannan rakennusten peruskorja-

tut ja uudet tai uudehkot rakennukset olivat keskimääräiseltä ominaishiilijalanjäljeltään pienempiä kuin osin peruskorjatut, vanhemmat ja alkuperäisessä kunnossaan olevat rakennukset. Alkuperäisessä kunnossaan olevat rakennukset olivat keskimääräiseltä ominaishiilijalanjäljeltään suurimmat ja siten myös energiankulutukseltaan vähiten ympäristöystävällisimpiä. Nämä erot eivät keskimäärin olleet kuitenkaan niin suuret kuin vertailtaessa kiinteistöjä käyttötavan mukaan ja keskimääräinen vaihtelu oli välillä 51,7–58,4 kgCO₂/m².

Tarkasteltaessa kiinteistöjä niiden käyttötarkoituksen perusteella olivat erot energiankulutuksen keskimääräisen ominaishiilijalanjäljen osalta suuremmat. Kaikkein suurin ominaishiilijalanjälki oli rakennuksilla, joissa oli laajoja laboratorio- ja erikoistiloja. Näiden ominaishiilijalanjälki oli 70,4 kgCO₂/m². Pelkkiä toimistotiloja ja toimisto- ja opetustiloja sekä pieniä aloja erikoistiloja sisältävät rakennukset olivat keskimääräisiltä ominaishiilijalanjäljiltään 46,3 ja 49,8 kgCO₂/m².

Lämmitysenergian osuus hiilijalanjäljestä oli suurempi kuin sähköenergian, kun tarkasteltiin kiinteistökannan kokonaishiilijalanjälkeä tai hiilijalanjälkeä kiinteistötyypeittäin. Tämän vuoksi kiinteistökannan tulevaisuuden ratkaisuissa voitaisiin keskittyä lämmitysenergian hiilijalanjäljen nopeaan pienentämiseen, koska sen vaikutus kokonaisuuteen on suurempi kuin sähköenergian hiilijalanjäljen pienentämisellä ja tämä johtopäätös tukisi Otaniemen omaa CHP-laitoshanketta. Sähköenergian hiilijalanjäljen osuus oli kokonaisuudesta kuitenkin niin huomattava, että sitä ei voi jättää huomioitta.

Kiinteistökohtaisesti tarkasteltuna yksittäisen kiinteistön ominaishiilijalanjälki vaihteli vuoden 2013 energiankulutustiedoilla laskettuna välillä 30,6 kgCO₂/m²–108,5 kgCO₂/m², mutta nämä molemmat ääriarvot esiintyivät pienikokoisissa kiinteistöissä, joten niiden vaikutus koko kiinteistökannan hiilijalanjälkeen oli pieni. Absoluuttiset kiinteistökohtaiset energiankulutuksen hiilijalanjäljet vaihtelivat vuonna 2013 välillä 21 tCO₂/a–2 720 tCO₂/a, joista pienempi arvo oli koko kiinteistökannan pienimmällä rakennuksella ja suurempi arvo koko kiinteistökannan toiseksi suurimmalla rakennuksella.

Energiankulutuksen hiilijalanjälkeen voi vaikuttaa sekä kiinteistökohtaisilla toimenpiteillä suora energiansäästö tavoitteena että keskitetysti energianhankinnan kautta. Kiinteistökohtaiset energiansäästötoimet vaikuttavat aina kyseisen kohteen energiatehokkuuteen ja sitä myötä kulutetun energian hiilijalanjälkeen pienentävästi. Näitä toimenpi-

teitä voidaan suorittaa jo olemassa olevaan rakennuskantaan sekä uudisrakennuksiin suunnittelu ja rakennusvaiheessa.

Energianhankinnassa voidaan taas strategisesti valita ostoenergiaksi vaihtoehtoja, jotka ovat mahdollisesti kalliimpia, mutta ympäristöystävällisempiä ja hiilijalanjäljeltään pienempiä. Mahdollisuuksia on siirtyä muun muassa vesivoimalla tuotettuun sähköenergiaan tai biopolttoaineiden poltolla tuotettuun lämpöenergiaan, joiden ominaispäästökerroin on jopa $0 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$ ja näin koko saadaan koko kiinteistökannan energiankulutuksen hiilidioksidipäästöt lähelle nollaa. Todellisuudessa kaikkea käytettyä energiaa ei voida tuottaa kuitenkaan päästöttömästi, joten nollatason laskennallinen arvo on vain teoreettinen.

Energiankulutuksen hiilijalanjälkeä laskettaessa on tärkeää huomioida lähtöarvojen oikeellisuus, jos halutaan oikeita ja todellisia absoluuttisia arvoja. Koin työssäni ongelmaksi sen, että näiden lähtöarvojen löytäminen ja oikeellisuuden varmistaminen oli vaikeaa. Sain eri tahoilta erilaisia ominaispäästökertoimia ja jopa energialaitoksen itselleni ilmoittamissaan kertoimissa oli eroja. Mikäli hiilijalanjälkilaskentaa otetaan tässä muodossa joskus käyttöön, tulisi olla jokin virallinen taho, joka lähtötiedot asettaa.

Kaiken kaikkiaan tämän työn lopputuloksena voisi pitää, että jokainen rakennus on yksilö sekä fyysisiltä ja teknisiltä ominaisuuksiltaan että toteutukseltaan. Tämän vuoksi samat toimenpiteet energiankulutuksen hiilijalanjäljen pienentämiseksi, jotka toimivat toisessa kiinteistössä, eivät välttämättä toimi toisessa kiinteistössä tai ovat mahdottomia toteuttaa. Tämä aiheuttaa sen, että jotta energiankulutuksen hiilijalanjälkeä voitaisiin suunnitelmallisesti pienentää, pitäisi lähteä harkitusti sekä tarkkaan, keskitettyyn kiinteistökohtaiseen selvitystyöhön toimenpiteiden osalta ja samalla toiseen selvitystyöhön, joka keskittyy energianhankinnan hiilijalanjäljen pienentämiseen. Vain näin voidaan päästä tilanteeseen, jossa tehostetaan kiinteistön energiatehokkuutta ja samalla pienennetään energiatuotannon hiilijalanjälkeä. Kriittisenä osana tässä kaikessa on yhteistyö kiinteistön omistajan ja kiinteistöjen käyttäjien kanssa, koska heidän toimintansa ja tarpeensa monilta osin määrittelee kiinteistön muut ominaisuudet ja toiminnan ja siten suuresti myös energiankulutustarpeet. Tämä kaikki edellyttää pitkäjänteistä ja suunnitelmallista etenemistä asioiden kehittämisen kanssa, mutta samalla nopeita ja johdonmukaisia päätöksiä etenemisen suunnasta. Kaikkien tahojen tulisi vetää samaa köyttä yhteistä päämäärää kohti.

Lähteet

- 1 Ympäristöministeriö. 2009. Kestävän kehityksen indikaattorit. Verkkodokumentti. <<http://www.ymp.fi/download/noname/%7BCF660950-2266-44E6-AE67-042CAA6B51D9%7D/56497>> 10.12.2009. Luettu 31.11.2013
- 2 Työ- ja elinkeinoministeriö. 2011. Suomen toinen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma, NEEAP-2. Verkkodokumentti. <http://www.tem.fi/files/30406/NEEAP_2.pdf> 27.6.2011. Luettu 11.1.2014
- 3 Tutkija Mia Ala-Juusela, VTT. Ilmastonmuutoksen hillintä. Verkkodokumentti, kalvosarja. <www.vtt.fi/proj/ipcc/files/6_Rakennukset.pdf> Luettu 11.1.2014.
- 4 Talotekniikan Elinkaaritarkastelut. Talotekniikan käsikirja. 2001. ISBN 952-5411-07-09.
- 5 German Sustainable Building Council (DGNB). 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.pe-international.com/company/partnerships/dgnb/>> Luettu 21.1.2014
- 6 Sustainable construction in the UK & Sweden. 2006. Verkkodokumentti. <<http://www.ukswedensustainability.org/bestpractice/bestpractice01.jsp>> Luettu 21.1.2014
- 7 Sara Peach. 22.8.2013. How Sweden Decarbonized Its Buildings (Almost),. Verkkodokumentti. <<http://www.yaleclimatemediaforum.org/2013/08/how-sweden-decarbonized-its-buildings-almost/>> Luettu 22.1.2014
- 8 Elisabeth Beusker, Christian Stoy, Spiro N. Pollalis. 2012. Estimation model and benchmarks for heating energy consumption of schools and sport facilities in Germany. Building and Environment volume 49. 2012. S. 324–335.
- 9 IPCC. IPCC Raportti 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.climatechange2013.org/>> 27.9.2013. Luettu 2.2.2014
- 10 Jarek Kurnitski. 2009. Rakennusten energiatehokkuus ja päästöt. Verkkodokumentti. <https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5oJ5FjIGF/5F2ULJqjW/Kurnitski_Rakennusfoorumi_030309.pdf> 3.3.2009. Luettu 3.2.2014
- 11 IPCC:n viides arviointiraportti. 31.3.2014. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. Verkkodokumentti. <[http://www.environment.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/IPCCn_uusin_raportti_Ilmastonmuutos_aihe\(28795\)](http://www.environment.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/IPCCn_uusin_raportti_Ilmastonmuutos_aihe(28795))> 31.3.2014. Luettu 4.4.2014.

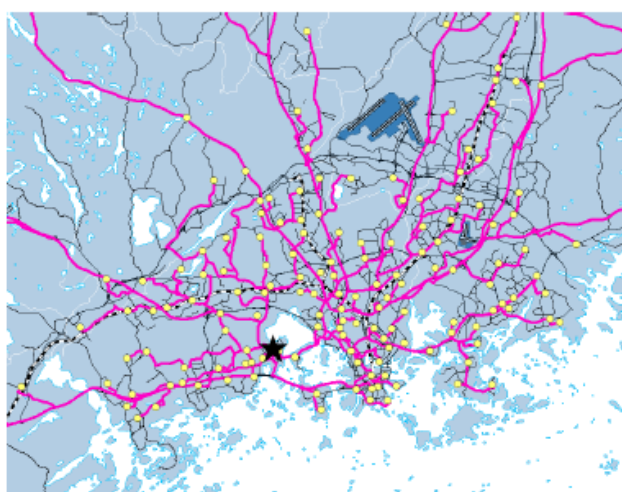
- 12 Niko Wirgentius / Timo Ahonen, Fortum. Sähköposti 21.2.2014. Fortum. 2013. Verkkodokumentti.
<<http://www.fortum.com/countries/fi/yksityisasiakkaat/sahkosopimus/sahkon-alkupera/pages/default.aspx>> 25.10.2013. Luettu 21.2.2014.
- 13 Helsingin Energia. 2014. Energian alkuperä. Verkkodokumentti.
<<https://www.helen.fi/Kotitalouksille/Neuvoa-ja-tietoa/Energia-ja-ymparisto/Energiantuotanto/Energian-alkupera>> Luettu 21.2.2014.
- 14 VTT. 2007 ja 2008. Verkkodokumen-
tit.<http://www.vtt.fi/proj/ipcc/ipcc_yhteenvedot.jsp> ja
<http://www.vtt.fi/liitetiedostot/uutta/yhteenvedo_suomeksi1.pdf> 4.5.2007 ja
27.10.2008. Luettu 3.3.2014,
- 15 Kurnitski, Jarek. 2012. Energiamääräykset 2012. Helsinki: Suomen Rakennus-
media Oy
- 16 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma,
osa D3. Helsinki, ympäristöministeriö
- 17 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2012. RIL 259-2012 Matalaenergiara-
kentaminen toimitilat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- 18 Beck, W. (toim.);ym. 2011. Aurinkosuojaus, Rehva ohjekirja no. 12. Forssa:
Suomen LVI-liitto ry.
- 19 Helsingin Energia Oy. 2014. Energiatehokasta jäähdytystä. Verkkodokumentti.
<[http://www.helen.fi/Kotitalouksille/Palvelumme/Tutustu-
kaukojaahdytykseen/Energiatehokasta-jaahdytysta/](http://www.helen.fi/Kotitalouksille/Palvelumme/Tutustu-kaukojaahdytykseen/Energiatehokasta-jaahdytysta/)> Luettu 1.4.2014.
- 20 Green Building Council Finland. 2013. Rakennusten elikaarimittarit. Verkko-
dokumentti. <[http://figbc.fi/wp-
content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf](http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf)> Luettu
26.3.2014.
- 21 Motiva Oy. 2013. Hiilidioksidipäästöjen laskenta. Verkkodokumentti.
<[http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energiankulutuksen_hiili-
dioksidipaastojen_laskenta](http://www.motiva.fi/taustatietoa/energiankaytto_suomessa/energiankulutuksen_hiili-dioksidipaastojen_laskenta)> 29.1.2013. Luettu 10.2.2014.
- 22 Tilastokeskus. 2013. Suomen kasvihuonepäästöt. Verkkodokumentti.
<https://tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki_2012_2013-05-16_kat_001_fi.html>
16.5.2013. Luettu 15.3.2014.
- 23 Paperikuutio Oy. 2012. Verkkajulkaisu.
<<http://www.paperikuutio.fi/Pages/Hiilijalanjalki.aspx>> Luettu 12.11.2013

- 24 Metropolia. 2010. Ilmanvaihto-oppimateriaali, Module 1: Natural & Hybrid Ventilation.
- 25 Hakala, Pertti ja Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Opetushallitus.
- 26 Työ- ja elinkeinoministeriö. 2008. Päästöoikeuksien myöntämispäätös vuosille 2008 – 2012, Liite 1. Verkkodokumentti.
<http://www.tem.fi/files/18534/LIITE_1.pdf> Luettu 22.3.2014
- 27 Helen Oy, Kaukojäähdytyksen päästölaskuri. Verkojulkaisu.
<http://www4.helen.fi/hf/kaukojaahdytys/kj_co2_fi.html> Luettu 31.3.2014
- 28 Finnish Green Building Council. 2014. Rakennetun ympäristön tulevaisuus.
<http://figbc.fi/wpcontent/uploads/2014/02/20130830_Rakennetun_ymp%C3%A4rist%C3%B6n_tulevaisuus_final.docx> 20.2.2014. Luettu 2.4.2014.

Aalto-yliopiston liikenneselvitys

Newsec Oy:n tekemän Aalto-yliopiston henkilöstön liikenneselvityksen hiilijalanjälkilaskennan osuus.

NYKYTILA: TYÖMATKALIIKENTEEN PÄÄSTÖT 1/2



KOKOPÄIVÄISET TYÖNTEKIJÄT	YHTEENSÄ
KOKO AALTO	4728
TKK	3841
HSE	475
TAIK	412

- Päivittäisen työmatkaliikenteen määrää arvioitiin määrittämällä tie-etäisyys työntekijöiden asuinpaikkojen ja Otaniemen välillä.
 - Keskimääräinen Aalto-yliopiston työntekijän työmatka Otaniemen kampusalueelle on n. **14,2 km** yhteen suuntaan lyhintä reittiä.
 - Päivässä työmatkaliikennettä kertyy siis keskimäärin n. **28 km** per työntekijä.
- Päivittäisen liikenteen kokonaismäärää laskettaessa käytettiin seuraavia oletuksia:
 - Aineistosta rajattiin pois työntekijät, joiden osoitetieto oli yli 2h ajomatkan päässä Otaniemestä.
 - Kaksi osa-aikaista työntekijää laskettiin yhdeksi.
 - Nykytilanteessa Otaniemen kampusalueelle päivittäin matkustavia työntekijöitä on siis 3841 kpl.
- Päivittäinen työmatkaliikenne Otaniemen kampusalueelle nykytilanteessa on yhteensä n. **110.000 km**.
 - Mikäli kaikki Aalto-yliopiston työntekijät siirtyisivät Otaniemeen, on päivittäinen työmatkaliikenne yhteensä n. **135.000 km**.

NYKYTILA: TYÖMATKALIIKENTEEN PÄÄSTÖT 2/2

Työmatkaliikenteen hiilijalanjälki:

- Päästöjä päivässä n. **9,2 tCO₂e** (n. 2,4 kg per työntekijä)
- Päästöjä vuodessa n. **2200 tCO₂e** (n. 600 kg per työntekijä)

KULKUVÄLINE	OSUUS HENKILÖSTÖSTÄ %	tCO ₂ e PÄÄSTÖT/PÄIVÄ	tCO ₂ e PÄÄSTÖT/MUOSI
JULKINEN LIIKENNE	36 %	2,2	534
HENKILÖAUTO	35 %	6,9	1681
JALAN	9 %	0,0	0
POIKIIPYÖRIÄ	20 %	0,0	0
PÄÄSTÖT YHTEENSÄ		9,2	2215

Oletukset:

- Kaikki joukkoliikenteen käyttäjät tulevat bussilla
- Bussin päästö perustuu VTT:n laskelmiin (56 gCO₂e/km) (<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaasto/henkiloliikenne/tieliikenne/henkilotie.htm>)
- Henkilöauton päästö perustuu rekisterissä olevan autokannan keskimääräiseen CO₂-lukemaan (180 gCO₂e/km) (http://www.autoliitto.fi/testit_ ja_ ajoneuvot/ autoilun_ verotus/ ajoneuvovero/ vuoden_ 2010_ uudistus/)
- Päivittaiset hiilidioksidipäästöt laskettu työntekijämäärällä 3841 ja päivittäisellä työmatkalla 28 km per työntekijä.
- Työpäiviä vuodessa 242 kpl

Kiinteistöjen energiankulutustiedot ja hiilidioksidipäästöt

Liitteen taulukossa on kerätty energiankulutustiedot vuosilta 2010 – 2013. Lisäksi tähän taulukkoon on laskettu hiilidioksidipäästöt energiankulutusten perusteella sekä kiinteistökohtainen ominaispäästö bruttoalan perusteella.

	Lämpöenergia (MWh)	Lämpö tCO2	Sähköenergia (MWh)	Sähkö tCO2	CO2 -päästöt yhteensä ton	Bruttoala m2	Ominaispäästö kgCO2/m2
302 Kemistintie 1							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	5638	1224	3098	651	1874		
2011	5058	1097	3069	644	1742		
2012	5052	1096	3089	649	1745		
2013	4748	1030	3056	642	1672	19847	84,25
304 Otaniementie 9							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1232	267	690	145	412		
2011	1210	263	774	163	425		
2012	1409	306	776	163	469		
2013	1157	251	551	116	367	9864	37,18
306 Otakaari 4							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	855	186	791	166	352		
2011	767	166	807	170	336		
2012	815	177	764	160	337		
2013	895	194	803	169	363	8616	42,11
308 Puumiehenkuja 3							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	907	197	409	86	283		
2011	788	171	385	81	252		
2012	865	188	383	80	268		
2013	788	171	449	94	265	3232	82,07
310 Puumiehenkuja 5							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1519	330	827	174	503		
2011	1420	308	894	188	496		
2012	1538	334	946	199	532		
2013	1456	316	860	181	497	7229	68,68
312 Sähkömiehentie 4							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1771	384	639	134	518		
2011	1503	326	568	119	446		
2012	1769	384	613	129	513		
2013	1668	362	709	149	511	9166	55,72
314 Tietotie 1							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1277	277	1321	277	555		
2011	1333	289	1606	337	626		
2012	1517	329	1467	308	637		
2013	1332	289	1300	273	562	11834	47,49
316 Sähkömiehentie 3							
Aika	Kulutus		Kulutus				

2010	332	72	604	127	199		
2011	292	63	609	128	191		
2012	309	67	657	138	205		
2013	318	69	598	126	194	3770	51,58
318 Vuorimiehentie 2							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	2624	569	1180	248	817		
2011	2246	487	1186	249	737		
2012	2418	525	1083	228	752		
2013	2171	471	1135	238	710	12650	56,09
320 Puumiehenkuja 2							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	2032	441	2252	473	914		
2011	1665	361	2327	489	850		
2012	1641	356	2263	475	831		
2013	1497	325	2407	505	830	8553	97,08
322 Vuorimiehentie 1							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	2111	458	1264	265	724		
2011	1679	364	1109	233	597		
2012	1977	429	1039	218	647		
2013	1810	393	1051	221	614	7905	77,62
324 Tekniikantie 3							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	483	105	749	157	262		
2011	387	84	637	134	218		
2012	434	94	560	118	212		
2013	426	92	498	105	197	4567	43,12
326 Otakaari 1							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	8260	1792	6274	1318	3110		
2011	6534	1418	5842	1227	2645		
2012	6505	1412	5546	1165	2576		
2013	4379	950	4973	1044	1995	47985	41,57
328 Rakentajanaukio 4							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1700	369	868	182	551		
2011	1451	315	852	179	494		
2012	1564	339	846	178	517		
2013	1379	299	836	176	475	11151	42,57
330 Konemiehentie 1							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	80	17	42	9	26		
2011	75	16	34	7	23		
2012	81	18	27	6	23		
2013	77	17	23	5	21	469,9	45,69
332 Otakaari 5-7							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	8510	1847	4984	1047	2893		
2011	6636	1440	4877	1024	2464		
2012	8135	1765	4474	940	2705		
2013	8167	1772	4514	948	2720	41419	65,67
334 Rakentajanaukio 2							
Aika	Kulutus		Kulutus				

2010	2978	646	2491	523	1169		
2011	2364	513	2377	499	1012		
2012	2535	550	2252	473	1023		
2013	2400	521	2186	459	980	15799	62,03
336 Konemiehentie 2							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	2087	453	2113	444	897		
2011	1687	366	2085	438	804		
2012	1773	385	2029	426	811		
2013	1852	402	2021	424	826	12990	63,61
338 Konemiehentie 4							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	136	30	Sisältyy Kmt 2:n kulutuk- seen		30		
2011	104	23			23		
2012	107	23			23		
2013	132	29			29	716	40,14
340 Otaniementie 17							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1648	358	1962	412	770		
2011	1436	312	1937	407	718		
2012	1477	320	2043	429	749		
2013	1671	363	2095	440	803	18112	44,32
342 Tietotie 1 E							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	640	139	215	45	184		
2011	516	112	261	55	167		
2012	529	115	239	50	165		
2013	480	104	212	44	149	2731	54,39
344 Lämpömiehenkuja 2							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	867	188	434	91	279		
2011	814	177	627	132	308		
2012	1028	223	660	139	362		
2013	939	204	650	137	340	7379	46,11
346 Lämpömiehenkuja 3							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	527	114	226	47	162		
2011	411	89	237	50	139		
2012	475	103	268	56	159		
2013	456	99	272	57	156	5109	30,55
348 Metallimiehenkuja 10							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	162	35	108	23	58		
2011	129	28	103	22	50		
2012	151	33	101	21	54		
2013	134	29	130	27	56	1479	38,10
350 Betonimiehenkuja 1							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	365	79	56	12	91		
2011	360	78	59	12	90		
2012	371	80	62	13	94		
2013	358	78	58	12	90	1642	54,66

352 Betonimiehenkuja 3							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	487	106	252	53	159		
2011	391	85	252	53	138		
2012	439	95	261	55	150		
2013	437	95	278	58	153	3624	42,24
354 Betonimiehenkuja 5							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	558	121	364	76	198		
2011	435	94	307	65	159		
2012	510	111	365	77	187		
2013	487	106	414	87	193	3497	55,08
358 Otakaari 26							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	687	149	427	90	239		
2011	686	149	303	64	213		
2012	653	142	383	80	222		
2013	950	206	322	68	274	6951	39,39
362 Otaniementie 19							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010		0		0	0		
2011		0		0	0		
2012	267	58	602	126	184		
2013	642	139	1269	266	406	11403	35,59
395 Metsähovintie 114							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	arvio	60	229	48	108		
2011	229	60	228	48	108		
2012	230	60	223	47	107		
2013	221	58	222	47	104	961	108,48
402 Runeberginkatu 14-16							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	3192	693	1338	281	974		
2011	2639	573	1287	270	843		
2012	2831	614	1257	264	878		
2013	2353	510	1243	261	771	14831	52,02
404 Runeberginkatu 22-24							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1187	257	566	119	376		
2011	977	212	579	122	334		
2012	1024	222	485	102	324		
2013	863	187	398	84	271	8104	33,40
406 Arkadiankatu 24							
Aika	Kulutus		Kulutus				
2010	1073	233	482	101	334		
2011	870	189	480	101	290		
2012	933	202	459	96	299		
2013	752	163	399	84	247	7999	30,87

