

CitiCAP-päästökauppamallin simulaatio

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Digitaaliset teknologiat
Opinnäytetyö (ylempi AMK)
Kevät 2019
Auli Yli-Kaitala

Lahden ammattikorkeakoulu
Digitaaliset teknologiat (YAMK)

YLI-KAITALA, AULI:

CitiCAP-päästökauppamallin
simulaatio

61 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2019

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö toteutettiin Lahden CitiCAP-hankkeelle. CitiCAP-hankkeen tavoitteena on vähentää liikenteen päästöjä, koota ja avata digitaalista tietoa liikkumisesta sekä kehittää uusia liikennepalveluja kaupunkilaisille. Hanke sisältää liikkumiseen keskittyvän henkilökohtaisen päästökauppakokeilun, joten hankkeen tulee määritellä kokeilun päästökaupan säännöstö. Säännöstön tulee määritellä päästöoikeuksien jako kokeilun osallistujien kesken. Miltä valittu säännöstö näyttäisi lahtelaisilla? Koska vastaavanlaista kokeilua ei tässä mittakaavassa ole, ei voida käyttää ennalta määriteltäviä säännöstöä tai määrittelytietoja. Hankkeen kokeilun kannalta olisi hyvä päästä näkemään ennalta miltä eri määrittelyarvot ja päästöoikeuksien määrät näyttäisivät erilaisilla lahtelaisilla. Tutkimuskysymykset kiteytettynä ovat: Miten simuloidaan päästökauppamallia CitiCAP-hanketta varten? Kuinka henkilökohtainen päästökauppa voisi toimia CitiCAP-hankeessa?

Opinnäytetyönä valmistui työkalu hankkeen kokeilun suunnittelua varten. Sen esimerkkilogikalla voidaan simuloida säännöstöä ja muita määriteltäviä arvoja etukäteen. Työkalulla voidaan esittää visuaalisesti, miten eri arvot vaikuttaisivat erilaisiin käyttäjiin ja heidän kuvitteellisiin päästökaupan virtuaalivaluuttasaldoihin. Opinnäytetyö sisältää kolmen kuvitteellisen lahtelaisen henkilön päästökauppasimulaatiot muutamalle eri skenaarioille.

Henkilökohtaisessa päästökauppakokeilussa tulee määritellä ja ottaa huomioon useita eri asioita. Monia asioita tuli esille työtä tehdessä, mutta varmasti monta jäi vielä identifioimatta, ja niitä tulee vastaan kokeilun myötä. Päästöoikeuksien määrän ja määrittelyarvojen muutoksilla on iso vaikutus virtuaalivaluuttasaldoihin. On hyvin vaikea tehdä säännöstöä, joka olisi mahdollisimman tasapuolinen ja oikeudenmukainen kaikille. Päästökauppasimulaatio osoittaa, että henkilö, joka tekee isoimman muutoksen liikkumistottumuksiinsa ei välttämättä olekaan se henkilö, joka hyötyisi eniten hyödyke mielessä.

Asiasanat: Henkilökohtainen päästökauppasimulaatio, simulaatiotyökalun rakentaminen

Lahti University of Applied Sciences
Master's Degree Programme in Digital Technologies

YLI-KAITALA, AULI:

Simulation of the CitiCAP Emission
Trading Model

61 pages, 1 page of appendices

Spring 2019

ABSTRACT

This thesis was carried out for the CitiCAP project of the City of Lahti. The goal of the CitiCAP project is to reduce carbon emissions, to collect and share digital information on mobility and to develop new transport services for urban residents. The project includes a personal carbon trading trial so the rules for this trial should also be defined by the project. What is the defined emission allocation? Is the emission allocation the same for everyone? What would the chosen carbon allocation look like for Lahti residents? A similar experiment on this scale has never been conducted so there is no set of predefined rules or specification data available. For the trial, it would be good to see how a set of defined values and emission allocations would reflect on different residents of Lahti. The research questions are: How to simulate the personal carbon trading model for the CitiCAP project? How could personal carbon trading work in the CitiCAP project?

As a result of the thesis, a tool for the project's design phase was built, with example logic that can be used to simulate rules, carbon allocations and other definable values in advance. The tool can visually represent how different values would affect different users and their imaginary virtual trading currency balances. The thesis includes emission simulations for a few different scenarios for three imaginary people in Lahti.

A number of factors have to be defined and taken into account in the personal carbon trading trial. Many factors came up when working, but certainly many remained unidentifiable. Changes in carbon allocation and specification values have a big impact on virtual currency balances. It is very difficult to make rules that are as fair and equitable as possible for everyone. Emissions Trading Simulation shows that the person who makes the biggest change in their mobility behavior is not necessarily the person who would benefit the most.

Keywords: personal carbon trading simulation, building simulation tool

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	CitiCAP henkilökohtainen päästökauppakokeilu	1
1.2	Opinnäytetyön tarkoitus	2
1.3	Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset	3
2	PÄÄSTÖT JA PÄÄSTÖKAUPPA	5
2.1	Lahden päästöt ja liikenne	8
2.2	Liikenteen muut vaikutukset	7
2.2.1	Tilastotietoa Lahden liikenteestä	9
2.3	Päästökauppa ja EU ETS	13
2.4	Henkilökohtainen päästökauppa	14
2.5	Henkilökohtaiset päästökauppakokeilut	18
2.6	Päästölaskurit ja applikaatiot	19
3	CITICAP PÄÄSTÖKAUPPASÄÄNNÖSTÖN SIMULOINTITYÖKALU	22
3.1	Alkupohdinta	22
3.2	Kehitysprosessi	23
3.3	Määrittelytiedot	28
3.4	Laskenta	30
4	CITICAP PÄÄSTÖKAUPPASIMULAATIOT	33
4.1	Case 1 – kaikilla sama päästökatto	36
4.1.1	Henkilö 1	38
4.1.2	Henkilö 2	39
4.1.3	Henkilö 3	43
4.2	Case 2 – eri päästökatot käyttäjäröymän mukaan	47
4.2.1	Henkilö 1	48
4.2.2	Henkilö 2	49
4.2.3	Henkilö 3	50
5	JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA YHTEENVETOA	52
5.1	CitiCAP päästökauppasäännösten simulaatiotyökalu	52
5.2	CitiCAP päästökauppasimulaatio	55

1 JOHDANTO

CitiCAP-hankkeessa (Citizens' cap-and-trade co-created) suunnitellaan ja toteutetaan liikkumiseen keskittyvää henkilökohtaista päästökauppaa ja kehitetään uusia liikennepalveluja Lahteen. Hankkeen tavoitteena on vähentää liikenteen päästöjä ja koota tietoa liikkumisesta digitaalista teknologiaa hyödyntäen. Hankkeessa rakennetaan myös älyratkaisuihin pohjautuva pyörätie Lahteen. Suunniteltua henkilökohtaista päästökauppaa testataan hankkeessa liikkumismuodon tunnistukseen perustuvan mobiilisovellukselluksen ja vähintään 1300 hengen kaupunkilaisista koostuvan testiryhmän avulla. (LUT 2017; Lahden kaupunki 2018.)

CitiCAP-hanketta toteuttavat Lahden kaupunki, Lappeenrannan ja Lahden teknillinen yliopisto (LUT), Lahden ammattikorkeakoulu, Lahden seudun kehitys LADEC sekä viisi yritystä: Future Dialog, Good Sign, Infotripla, Mattersoft ja Moprim. Hanke rahoitetaan pääosin EU:n Urban Innovative Actions -ohjelmasta, josta sille myönnettiin 4,7 miljoonan euron suuruinen hankerahoitus. (LUT 2017; Lahden kaupunki 2018.)

1.1 CitiCAP henkilökohtainen päästökauppakokeilu

Lahden CitiCAP-hankkeen henkilökohtainen kotimaan liikkumiseen keskittyvä päästökauppakokeilu perustuu vapaaehtoisuuteen ja kannustavuuteen. Jos kokeiluun osallistuminen voisi johtaa sanktioihin, paljon autoilevia lahtelaisia voisi jäädä pois kokeilusta mahdollisten sanktioiden takia ja näin ollen antaa vääristyvää kuvaa hankkeessa kerättävälle liikkumisdatalle. Kokeilu on siis pelkästään kannustinpohjainen. Ajatuksena on, että käyttäjät voisivat vaihtaa päästökauppakokeilussa kerryttämänsä virtuaalivaluuttasaldoa erilaisiin hyödykkeisiin. Henkilöt, joiden virtuaalivaluutan saldo menee negatiiviseksi, jäävät vaille näitä hyödykkeitä. Koska sanktiomahdollisuutta ei ole, eivät henkilöt käy kauppaa päästöoikeuksista keskenään, vaan kauppaa käydään ainoastaan hyödykkeistä palvelun toteuttajan toimesta.

Hankkeen tavoitteena on myös lisäkannustaa kokeilussa joukkoliikenteen käyttöä ja terveellisimpiä liikuntamuotoja. Hankkeessa keskitytään kotimaan liikkumismuotoihin pois lukien lentoliikenne.

CitiCAP-hankkeessa suunniteltava henkilökohtainen päästökauppa pohjautuu eri liikkumismuodot tunnistavaan mobiilisovellukseen. Mobiilisovellus tunnistaa eri liikkumismuodot, eli onko kulkuvälineenä esimerkiksi bussi, henkilöauto tai pyörä, ja kerää liikutut matkakilometrit per liikkumismuoto. Nämä liikkumismuodot ja -määrät tallennetaan keskitetysti ja niiden avulla saadaan jokaiselle henkilölle omat liikkumisesta aiheutuneet laskennalliset päästöt. Nämä tiedot toimivat keskeisenä datalähteenä CitiCAPin kauppapaikalle ja sitä voidaan käyttää hyväksi myös muuhun analysointiin ja oppimiseen.

Näitä keskitetysti tallennettuja liikkumistietoja käytetään kauppapaikassa. Kauppapaikalla tarkoitetaan sovellusta, jossa käyttäjä pääsee näkemään omat laskennalliset päästönsä ja niistä lasketun virtuaalivaluuttasaldon. Kauppapaikassa käyttäjä voi käyttää kerryttämäänsä virtuaalivaluuttasaldoa tarjolla oleviin hyödykkeisiin. Esimerkiksi, jos käyttäjä on onnistunut alittamaan hänelle määritellyn päästöoikeuden ja näin ollen saamaan positiivisen virtuaalivaluuttasaldon, voi hän kauppapaikassa vaihtaa tätä virtuaalivaluuttoa tarjolla oleviin hyödykkeisiin. Näitä hyödykkeitä voi olla esimerkiksi eri yritysten tarjoamat kannusteet kuten ilmaiset elokuva liput ja alennetut hinnat liikuntapaikkoihin.

1.2 Opinnäytetyön tarkoitus

Hankkeen kokeilussa kerättävää henkilöiden liikkumisdataa käytetään kauppapaikan pohjana, mutta millä logiikalla? Oliko kaikilla yhteiset vai erilliset päästökotot ja miten niiden muutokset mahdollisesti näyttäisivät henkilöiden kauppapaikan virtuaalivaluuttasaldoissa? Koska tämäntyyppistä kokeilua ei ole aikaisemmin tehty, on vaikea pohjata aikaisempiin logiikoihin tai raja-arvoihin. Olisi siis hyvä kokeilla erilaisia raja-arvoja jollain esimerkki kauppapaikkalogiikalla, jotta nähtäisiin niiden

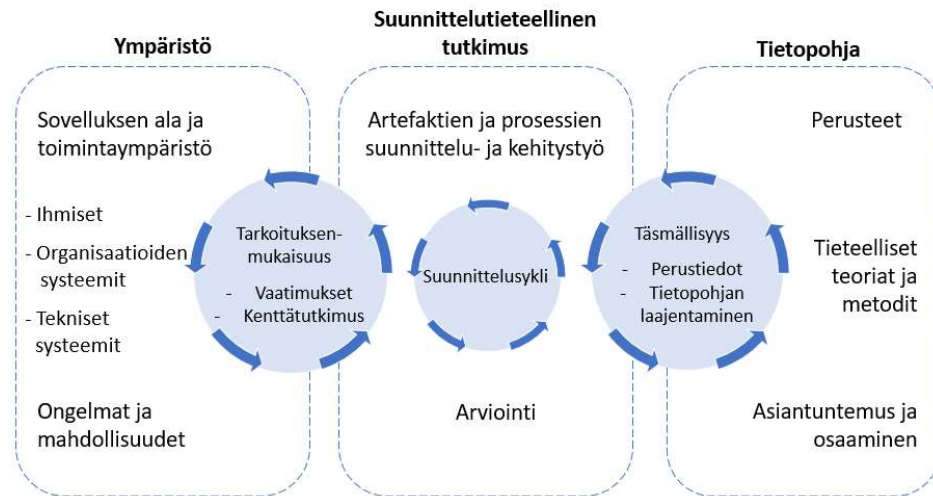
vaikutuksia. Esimerkiksi jos henkilön X päästöoikeus seurantakaudella on A ja hän alittaa sen määrällä F, niin mikä on hänen saldonsa kauppapaikassa?

Opinnäytetyön tarkoituksena on siis rakentaa työkalu, jolla voidaan simuloida kauppapaikkaa ennalta, miten eri lähtöhinnat ja päästöoikeuksien määrät vaikuttaisivat erilaisiin käyttäjiin ja heidän kuvitteellisiin päästökaupan virtuaalivaluuttasaldoihin. Simuloimalla erilaisia kattoarvoja ja päästöhinnan muutoslogiikkaa voitaisiin nähdä niiden vaikutukset kuvittellisiin esimerkkihenkilöihin. Näin voidaan myös rakentaa mahdollinen esimerkkivaihtoehto siitä, miten kauppapaikan logiikka voitaisiin toteuttaa. Tätä voisi käyttää hyödyksi hankkeessa toteutettavan henkilökohtaisen päästökauppakokeilun suunnittelussa. Työssä käytettävät kaavat, raja-arvot ja kauppapaikan logiikka on yksi vaihtoehto, ja siten ne eivät ole siis suoranaisesti hankkeessa käytettävä säännöstö ja logiikka.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja -kysymykset

Opinnäytetyön tilaajana toimi CitiCAP-hankkeen projektiosuus, jonka vastuualueena oli hankkeen päästökauppakokeilu. Opinnäytetyön tuloksena syntynyt simulaatiotyökalu toteutettiin yhteistyössä Lappeenrannan ja Lahden teknillinen yliopiston (LUT) kanssa. Tutkimusmenetelmänä työssä käytetään suunnittelutieteellistä (design science) tutkimusmenetelmää. Kuviossa 1 on yleisluontoinen kuvaus suunnittelutieteellisestä tutkimusmenetelmästä, jossa kuvataan menetelmän eri kategoriat ja niiden suhteet. Tietopohjakategoriassa perehdytään aiheen tietopohjaan eli sisältäen aiheeseen liittyvät perusteet ja muun tarvittavan tiedonkeruun. Ympäristökategoriassa perehdytään suunnitteluprosessin lähtökohtiin ja sieltä esille tuleviin vaatimuksiin. Näiden kahden kategorian tiedot yhdistyvät keskimmaisessä kategoriassa, jossa tapahtuu suunnittelu- ja kehitystyö. Opinnäytetyössä ympäristönä toimii CitiCAP-hanke. Kappaleessa 2 perehdytään perustietoihin ja aiheen tietopohjaan. Kappaleessa 3 pureudutaan suunnittelutieteellisen

tutkimusosuuteen eli suunnitellaan ja kehitetään simulointityökalu ja esimerkki henkilökohtaisesta päästökaupparamallista CitiCAP-hanketta varten.



KUVIO 1. Suunnittelutieteellinen tutkimus (Hevner & Chatterjee 2010)

Tutkimuskysymyksinä ovat: Miten simuloidaan päästökaupparamallia CitiCAP-hanketta varten? Kuinka henkilökohtainen päästökauppa voisi toimia CitiCAP-hankeessa?

2 PÄÄSTÖT JA PÄÄSTÖKAUPPA

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä vapautuu kasvihuonepäästöjä, jotka kerääntyvät ilmakehään aiheuttaen ilmastonmuutosta. Ilmakehään kerääntyessään ne estävät auringon lämpösäteilyn pääsyä takaisin avaruuteen ja siten aiheuttavat ilmaston lämpenemistä. Näistä kasvihuonepäästöistä merkittävin on hiilidioksidi (CO₂). (Liikenne- ja viestintäministeriö, Liikennevirasto, Trafi, Ilmatieteen laitos 2017.)

Suomessa tilastokeskuksen pikaennakkotietojen mukaan kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt vuonna 2017 olivat 56,1 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (milj. t CO₂ekv.), mikä on lähes viisi prosenttia vähemmän kuin vuonna 2016. Näissä kokonaispäästöissä ei kuitenkaan ole mukana maankäyttö, maankäytön muutokset ja metsätalous -sektori, joka nielullaan vähentäisi Suomen kokonaispäästöjä. Suomessa liikenteen osuus on noin viidennes maan kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. (Suomen virallinen tilasto 2017; Liikenne- ja viestintäministeriö, Liikennevirasto, Trafi, Ilmatieteen laitos 2017.)

EU:n päästötavoitteena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjään vähintään 40 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2030 mennessä. Päästövähennystavoite jaetaan päästökauppasektorille ja sen ulkopuoliselle sektorille, jossa päästökauppasektorin osalta vähennystavoite on 43 prosenttia verrattuna vuoteen 2005 ja päästökaupan ulkopuolisen sektorin osalta se on 30 prosenttia. Suomen osalta tämä tarkoittaa, että päästöjä pitäisi vähentää päästökaupan ulkopuolella eli liikenteessä, talokohtaisessa lämmityksessä ja maataloudessa vähintään 39 prosenttia vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoden 2005 tasoon. (Ympäristöministeriö 2018.)

2.1 Yksikköpäästöt

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n toteuttama ja ylläpitämä LIPASTO on Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. LIPASTO-yksikköpäästötietokannasta löytyy eri

liikennevälineiden päästökertoimet eli käytönaikaiset päästömäärät kuljetettua massa- tai henkilöyksikköä ja pituusyksikköä kohden (g/tkm, g/hkm). Taulukosta 1 nähdään, että henkilöautoille keskimääräiset CO₂ päästöt ovat 89 g/hkm kohden, kun kuormitus on laskettu 1,7 henkilöllä. Taulukosta 2 nähdään bussien ja linja-autojen keskimääräisiä päästötasoja vuodelta 2016. Matkustajajunaliikenteen keskimääräisiksi päästöiksi tietokanta ilmoittaa 76 g/hkm. (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2017.)

TAULUKKO 1. Henkilöautojen päästöt keskimäärin (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2017)

	[g/km]	[g/hkm]
CO	0.44	0.26
HC	0.025	0.015
NO _x	0.33	0.19
PM	0.011	0.0065
CH ₄	0.0013	0.00079
N ₂ O	0.0031	0.0018
SO ₂	0.00067	0.00039
CO ₂	151	89
CO ₂ e	152	89
CO = hiilimonoksidi, HC = hiilivedyt (sisältää metaanin CH ₄), NO _x = typen oksidit, PM = hiukkaset, CH ₄ = metaani, N ₂ O = typpioksiduuli, SO ₂ = rikkidioksidi, CO ₂ = hiilidioksidi, CO ₂ ekv. = kasvihuonekaasut CO ₂ ekvivalentteina (CH ₄ kerroin 25 ja N ₂ O kerroin 298), MJ = megajoule, kWh = kilowattitunti, tkm = tonnakilometri, hkm = henkilökilometri		

TAULUKKO 2. Bussien ja linja-autojen päästötasot keskimäärin Suomessa vuonna 2016 (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 2017)

	Suoriteosuus 38 %		Suoriteosuus 62 %	
	Linja-auto (pitkän matkan)		Kaupunkibussi	
	14 matkustajaa		18 matkustajaa	
Päästötaso	[g/km]	[g/hkm]	[g/km]	[g/hkm]
--> 1993	674	48	1069	59
EURO I (1994 - 1995)	596	43	1008	56
EURO II (1996 - 2000)	583	42	1008	56
EURO III (2001 - 2005)	582	42	1009	56
EEV	563	40	915	51
EURO IV (2006 - 2008)	563	40	915	51
EURO V (2009 - 2014)	563	40	914	51
EURO VI (2015 -->	558	40	913	51
keskimäärin v. 2016	568	41	939	52

2.2 Liikenteen muut vaikutukset

Kaupunkien ilmanlaatuun suurin vaikuttava tekijä on liikenne, koska pakokaasut purkautuvat lähelle hengityskorkeutta, ja liikenne nostaa ilmaan myös katupölyä. Liikennemäärät, ruuhkaisuus ja liikenteen rytmi sekä raskaan liikenteen määrä vaikuttavat liikenteen tuottamiin ilman epäpuhtauksiin. Näihin laimentavina tekijöinä vaikuttavat sääolot ja ilman vaihtuvuus alueella. Terveydelle haitallisimpia liikenteen pakokaasupäästöistä ovat pienhiukkaset ja typpidioksidi. Terveyshaittojen kannalta on ratkaisevaa se, kuinka kauan ihminen altistuu korkeille hiukkaspitoisuuksille. Korkeimmille pitoisuuksille altistutaan autossa ja sisätiloissa, jonne ulkoilman epäpuhtaudet kulkeutuvat. Liikenne aiheuttaa myös meluhaittaa. (Helsingin kaupunki 2018; Tilastokeskus 2008.)

Korkeat pienhiukkaspitoisuudet lisäävät astmakohtauksia, heikentävät keuhkojen toimintakykyä, lisäävät hengitystietulehduksia ja jopa kuolleisuutta. Korkeat pitoisuudet lisäävät myös hengitys- ja

sydänsairaiden hakeutumista sairaalahoitoon. (Tilastokeskus 2008; YTV 2000.)

2.3 Lahden päästöt ja liikenne

Lahdessa päästötavoitteena on saavuttaa hiilineutraalisuus vuoteen 2040 mennessä. Lahti pyrkii edistämään kestävästä kaupunkiliikenteen muotoja muun muassa joukkoliikenneuudistuksella 2014, jossa otettiin käyttöön Suomen vähäpäästöisin liikennekalusto. Lahden kaupunki aikoo vähentää päästöjään uusiutuvalla energialla, energiatehokkuudella ja liikenteen kulkutapaosuuksien muutoksilla. (Lahden kaupunki 2018.)

TAULUKKO 3. Lahden CO₂-raportti viikolla 34/2018 (CO₂-raportti 2018)

Yhteensä (kton CO ₂ ekv)	6 kton
Maatalous	3 %
Jätehuolto	6 %
Kaukolämpö	9 %
Erillislämmitys	2 %
Sähkölämmitys	0,60 %
Muu sähkönkulutus	9 %
Tieliikenne	71 %
Osuus maakunnan päästöistä	33 %
Asukasta kohden (kg CO ₂ ekv/as)	50 kg
Asukasta kohden vrt. koko Suomeen	-41 %
Muutos edelliseen viikkoon	-1 %

CO₂-raportti.fi sivuston mukaan Lahden kasvihuonekaasujen päästöistä 71% on liikenteestä aiheutuvaa, kuten taulukosta 3 nähdään.

Laskennassa eivät ole mukana teollisuuden päästöt. Vertailuna koko Suomen CO₂-raportti taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Suomen CO₂-raportti viikolla 34/2018 (CO₂-raportti 2018)

Yhteensä (kton CO ₂ ekv)	449 kton
Maatalous	19 %
Lämmitys	8 %
Kuluttajien sähkönkulutus	6 %
Tieliikenne	57 %
Asukasta kohden (kg CO ₂ ekv/as)	85 kg
Muutos edelliseen viikkoon	+2 %

2.3.1 Tilastotietoa Lahden liikenteestä

Vuonna 2016 tehdystä valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen aineistosta löytyy liikkumistilastoa Lahden alueelle. Tutkimus on toteutettu monimenetelmätutkimuksena, jossa vastauksia on saatu puhelimitse, verkossa ja kirjeitse. Tutkimusaineistosta löytyy paljon erilaisia keski- ja prosenttiarvoja lahtelaisten ja Päijät-Hämäläisten liikkumisesta ja liikkumismuodoista.

TAULUKKO 5. Auton omistus asutokunnittain (WSP Finland Oy 2016 D022)

	ei autoa	1 auto	2 autoa	useampi auto	kaikki
Lahti	28 %	52 %	19 %	1 %	100 %

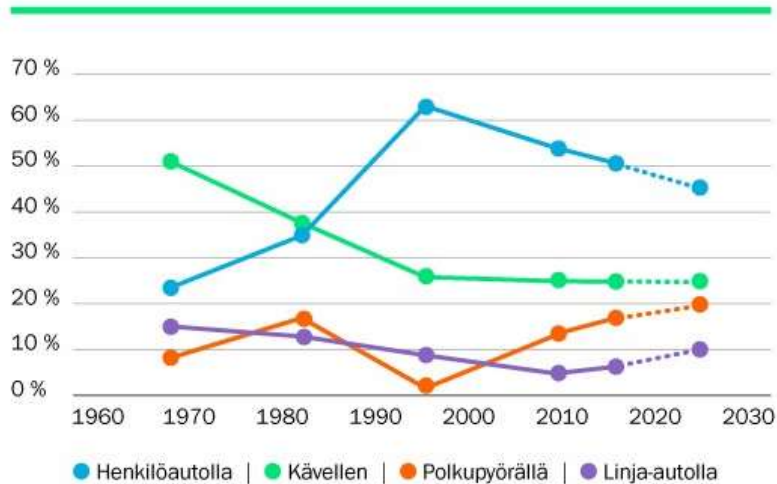
Tutkimusaineiston mukaan Lahden asutokunnista 72-prosenttia omistaa yhden tai useamman auton, kuten taulukosta 5 nähdään.

TAULUKKO 6. Kuljetapojen käyttö kotimaanmatkoilla
asuinkuntaryhmittäin (WSP Finland Oy 2016 D032)

	jalankulku	pyöräily	joukko- liikenne	henkilöauto, kuljettaja	henkilöauto, matkustaja	muu
Lahti	26 %	9 %	5 %	43 %	16 %	1 %

Lahtelaiset käyttävät 59% henkilöautoa kulkutapaosuuksillaan (taulukko 6). Joukkoliikenne on vain 4 prosenttia kaupungin kulkutapaosuuksista.

Lahden kulkumuotojakauma eri vuosikymmenillä



KUVIO 2. Lahden kulkumuotojakauma eri vuosikymmenillä (Lahden kaupunki 2017)

Lahden kulkumuotojaukaumassa henkilöauton osuus on kuitenkin laskusuuntainen 90-luvun jälkeen, kuten nähdään kuviosta 2. Polkupyöräily on nousussa 90-luvun laskennan jälkeen. Tosin tämä kuva ei täysin vastaa valtakunnallisen henkilöliikennetutkimuksen aineistoa vuoden 2016 osalta.

TAULUKKO 7. Jalankulun ja pyöräilyn pituusjakaumat Päijät-Hämeessä
(WSP Finland Oy 2016 D053)

	jalankulku	pyöräily
0- 1 km	59 %	27 %
1- 2 km	20 %	29 %
2- 3 km	8 %	15 %
3- 5 km	7 %	18 %
5- 7 km	4 %	4 %
7- 10 km	2 %	4 %
10- 20 km	0 %	2 %
yli 20 km	0 %	1 %

Taulukosta 7 nähdään jalankulun ja pyöräilyn pituusjakaumat Päijät-Hämeessä. Valitettavasti tätä tietoa ei ollut tutkimuksessa pelkälle Lahden alueelle. Kuvasta nähdään kuitenkin, että jalankulusta reilusti suurinosa matkoista on kaksi kilometria tai alle. Pyöräilyssä suurin osa matkoista osuu 0-5 kilometrin pituisiin matkoihin.

TAULUKKO 8. Päijät-Häme, Joukkoliikenteen pituusjakaumat (WSP
Finland Oy 2016 D073)

	joukkoliikenne
0- 1 km	2 %
1- 2 km	1 %
2- 3 km	8 %
3- 5 km	18 %
5- 7 km	11 %
7- 10 km	11 %
10- 20 km	15 %
20- 50 km	9 %
50-100 km	9 %
yli 100 km	14 %
kaikki	100 %

Taulukossa 8 nähdään prosentuaalinen jakauma joukkoliikenteen matkustuspituusjakaumista. Suurin osa joukkoliikennematkoista sijoittuu 3-20 kilometrin matkoille, mutta 14 prosenttia joukkoliikennematkoista on yli 100 kilometrin pituisia.

TAULUKKO 9. Kotimaanmatkat seudun alueryhmyksen mukaan, Matkasuorite, km/henkilö/vrk (WSP Finland Oy 2016 D151)

	jalan- kulku	pyöräily	joukko- liikenne	henkilö- auto, kuljettaja	henkilöauto, matkustaja	muu	kaikki
Lahti	1,246	0,945	5,518	19,244	10,05	0,564	37,567

Taulukossa 9 nähdään lahtelaisten keskiarvoiset matkasuoritteet per liikkumistyyppi. Keskimääräisesti lahtelaiset käyttävät kävelyä matkustusmuotonaan 1,246 kilometria päivässä, pyöräilyä sitäkin vähemmän 0,945 kilometria päivässä. Selvästi suurinosa matkoista tehdään Lahdessa kuljettajana henkilöautossa. Taulukosta 10 näkyy, että suurin osa matkasuoritteista tehdään vapaa-ajan tarkoituksessa. Vaikka yhdistetään työ ja työasia, niin silti jääetään yli 6 km vuorokaudessa vapaa-ajan matkasuoritekilometreista.

TAULUKKO 10. Kotimaanmatkat seudun alueryhmyksen mukaan, Matkasuorite, km/henkilö/vrk (WSP Finland Oy 2016 D151)

	työ	työasia	koulu, opiskelu	vapaa- aika	saattaminen, kyyditseminen	ostos	asiointi, muu	kaikki
Lahti	6,476	3,583	1,202	16,722	3,146	3,35	3,086	37,567

TAULUKKO 11. Kotimaanmatkojen vuodenaikavaihtelu Päijät-Hämessä
(WSP Finland Oy 2016 D051)

	jalankulku	pyöräily	muu	kaikki
kevät	22 %	9 %	69 %	100 %
kesä	21 %	11 %	68 %	100 %
syksy	25 %	10 %	65 %	100 %
talvi	28 %	2 %	70 %	100 %
koko vuosi	24 %	8 %	68 %	100 %

Taulukossa 11 näkyy Päijät-Hämeessä esiintyvä vuodenaikavaihtelu pyöräilyssä ja kävelyssä. Talvikaudella pyöräilyn osuus laskee, kun taas kävelyosuudet hieman kasvavat.

Yhteenvedona lahtelaisista kotitalouksista yli 70-prosentilla on auto ja heidän kulkutapaosuuksista melkein 60-prosenttia tapahtuu henkilöautolla. Keskimäärin lahtelaiset kulkevat keskimääräisestä vajaasta 38 kilometristä päivässä reilu 16 kilometria vapaa-aikaan liittyvissä asioissa ja melkein 30 kilometria henkilöautolla. Iso osa liikkumisesta Lahdessa tapahtuukin siis henkilöautolla, joten muutosta kestävämpiin liikkumismuotoihin olisi mahdollista tehdä. Henkilöliikennetutkimuksen aineiston liikkumistietoja tullaan myöhemmin käyttämään hyväksi simulointityökalun kuvitteellisissa liikkumistiedoissa.

2.4 Päästökauppa ja EU ETS

Päästökaupassa jaetaan päästöoikeuksia ja käydään niillä kauppaa. EU ETS (EU emissions trading system) on EU:n rakentama maailman ensimmäinen ja suurin päästökauppajärjestelmä. Se luotiin vähentämään kasvihuonepäästöjä ja taistelemaan ilmastomuutosta vastaan mahdollisimman kustannustehokkaasti ja markkinapohjaisesti. EU ETS koskettaa 31 maata ja yli 11000 raskasta energian käyttötahoa (kuten energian tuotanto) ja lentoliikennettä. Suomessa EU:n päästökauppaan

kuuluvien laitosten osuus oli noin 45 prosenttia Suomen kokonaispäästöistä vuonna 2017 (SVT 2017). (EU ETS 2018.)

Päästökauppajärjestelmä EU ETS rajoittaa päästöjen kokonaismäärän. Järjestelmässä olevat tahot saavat tai ostavat päästöoikeuksia, joilla he voivat tarvittaessa käydä kauppaa. Näin ollen ne voivat päättää tuleeko kannattavammaksi pyrkiä vähentämään päästöjä, jolloin on tarve pienempään päästöoikeuteen vai hankkia päästöoikeuksia kattamaan nykyiset ja tulevat päästöt. Toimijan aiheuttamat kasvihuonepäästöt tulee olla katetut noilla päästöoikeuksilla sakkojen uhalla. Järjestelmän päästöoikeudet vähenevät ajansaatossa johtaen siten päästöjen vähenemiseen. (EU ETS 2018.)

Päästöoikeuksien pääasiallinen jakotapa EU:n päästökaupassa on ollut huutokauppa vuodesta 2013 lähtien. EU:n jäsenmaiden yhteinen tavoite päästökauppasektorilla vuodelle 2020 on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 21 prosenttia verrattuna vuoden 2005 tasoon. (Ympäristöministeriö 2018.)

2.5 Henkilökohtainen päästökauppa

Yksinkertaistettuna henkilökohtaisessa päästökaupassa yksilöt saavat tietyn verran päästöoikeuksia, mitkä he käyttävät haluamallaan tavalla. Yksilöt, jotka ylittävät päästöoikeutensa, joutuvat ostamaan lisää päästöoikeuksia kattamaan kaikki päästönsä. Yksilöt, jotka puolestaan alittavat päästöoikeutensa, voivat myydä ylijäämän. Päästöjen väheneminen kiteytyy kysymykseen, miksi joku maksaisi lisää päästöoikeuksista, jos on halvempaa vähentää niitä (Roberts & Thumim 2006). Henkilökohtaisella päästökaupalla on muutamia ehdotettuja malleja, muttei kuitenkaan mitään vakiintunutta toimintamallia. Henkilökohtainen päästökauppa pitää sisällään erilaisia ideoita menettelytavoista, joissa tähdätään vähentämään yksilön hiilidioksidipäästöjä antaen yksilölle itselleen enemmän näkyvyyttä ja vastuuta omista päästövalinnoistaan. (Capstick & Lewis 2009; Fawcett 2012.)

Henkilökohtaisen päästökauppamallin valituista säännöistä ja suunnittelusta riippuvat sen hyödyt, tehokkuus ja vaikutukset. Myös sosiaalinen ja poliittinen hyväksyttävyyys riippuu päästökauppamallin ehdoista (Fawcett 2012). Henkilökohtaista päästömallia mietittäessä tuli ottaa huomioon muun muassa seuraavia pääkohtia:

- Mallin rajat ja laajuus
- Päästöoikeuksien allokointi
- Päästöhinnat ja niiden hallinta
- Päästöjen seuranta, raportointi ja valvonta
- Päästöjen ja päästöoikeuksien yhteensovittaminen ja seuraamukset

(Brohé 2010.)

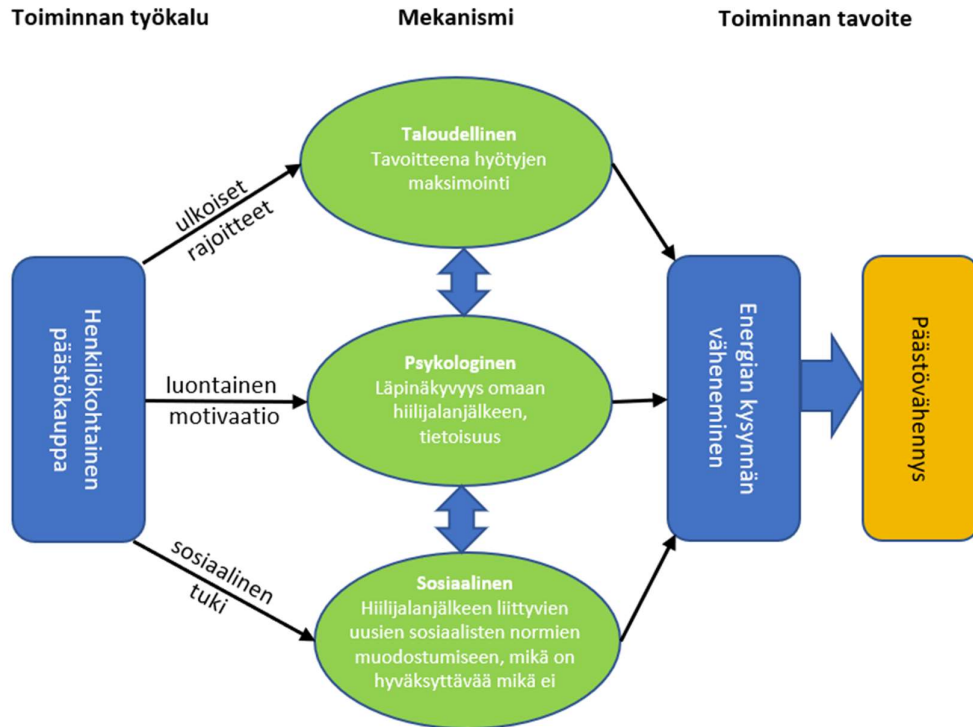
Henkilökohtaisessa päästökauppamallissa rajoja ja laajuutta määriteltäessä pitää rajata osallistujat kuten se, että osallistuvatko yksilöiden lisäksi organisaatiot ja muut tahot. Yksilöistä puhuttaessa on pohdittava, otetaanko lapset mukaan vai rajataanko malli johonkin tiettyyn ikärajaan. Jos lapset rajataan pois, tulee mietittäväksi, otetaanko lapsiluku kuitenkin huomioon vanhempien päästöoikeuksissa. Osallistujien lisäksi tulee määritellä laajuus, eli mitä kaikkea otetaan mukaan henkilökohtaiseen päästökauppaan. Edellisten lisäksi on huomioitava, otetaanko mukaan kaikki päästöjä tuottava toiminta vai rajataanko päästöt liittyen esimerkiksi lämmitykseen, sähkönkulutukseen ja liikkumiseen. Tulee myös ottaa huomioon, otetaanko mukaan yksilön mahdolliset päästönielut, kuten esimerkiksi yksilön omistamat metsät. (Roberts & Thumim 2006.)

Henkilökohtaisessa päästökaupassa tulee määritellä päästöoikeudet ja niiden jakaminen. Tällöin on arvioitava, jaettaisiinko päästöoikeudet tasan osallistujien kesken vai millä perusteella jako tapahtuu, jotta jakotapa olisi mahdollisimman tasapuolinen ja reilu. Esimerkiksi otetaanko huomioon vähätuloisia kotitalouksia, jotka tuottavat paljon hiilidioksidipäästöjä elannon hankinnan takia. Entä perustuisiko henkilökohtainen päästökauppa vapaaehtoisuuteen, jolloin yksilö itse saisi päättää

osallistuuko vai eikö. Toisaalta voidaan miettiä perustuisiko se lainsäädäntöön eli olisi pakotettu. (Roberts & Thumim 2006.)

Roberts ja Thumim tuovat myös esille kysymyksen, ovatko kaikki ihmiset edes kykeneväisiä päästökauppaan? Ja vaikka yksilöt olisivat valmiit ja motivoituneet vähentämään päästöjään, mutta jos ympärillä oleva infrastruktuuri ja muut vaikuttavat tekijät eivät sitä tue, on yksilön sitä vaikea toteuttaa. (Roberts & Thumim 2006.)

Verrattuna päästöverotukseen, henkilökohtaisen päästökaupan kannattajat näkevät hyötyinä oikeudenmukaisuuden ja tehokkuuden. Henkilökohtaisen päästökaupan vastustajien suurimmat huolet olivat toteutus ja epäoikeudenmukaisuus. Robertsin ja Thumimin mukaan suurimmat kiistat henkilökohtaisesta päästökaupasta liittyvät petosten ehkäisyyn sekä lapsien ja lentomatkailun mukaan ottoon. (Roberts & Thumim 2006; Fawcett 2012.)



KUVIO 3. Henkilökohtaisen päästökaupan kolme vaikutusmekanismia (Parag & Strickland 2009)

Henkilökohtainen päästökauppa tarjoaa kattavan lähestymistavan yksilön omiin päästöihin. Kuviossa 3 on esitettyä henkilökohtaisen päästökaupan kolme perustoimintamekanismia muuttamaan käyttäytymistä päästökaupalle suotuisampaan suuntaan: taloudellinen, psykologinen ja sosiaalinen. Taloudelliset mekanismit voivat ohjata yksilöä henkilökohtaisessa päästökaupassa ympäristön kannalta kestävämpiin valintoihin, yksilön tavoitellessa maksimaalista taloudellista hyötyä päästökaupasta. Psykologisessa mekanismissa pyritään lisäämään yksilöiden tietoisuutta omista hiilidioksidipäästöistä ja sen vaikutuksista. Täten voidaan ohjata yksilön valintoja kohti ympäristöystävällisempiä valintoja. Sosiaalinen mekanismi pitää sisällään uusien normien rakentumisen hyväksyttävillä päästöillä ja päästötasoilla. (Parag & Strickland 2009.)

2.6 Henkilökohtaiset päästökauppakokeilut

Kokeiluja henkilökohtaisesta päästökaupasta on toistaiseksi ollut vähän ja sitä on vaikea kokeilla käytännössä, ainakin laajassa mittakaavassa.

Laajan mittakaavan kokeilu, jossa käytettäisiin päästöoikeuksien ostoon sekä myyntiin tapahtuvaa kauppaa, tarkoittaisi pakollisuutta ja taloudellisia seurauksia osallistujille. Yksilöillä tulisi olla hiilijalanjälkitilit, jotka sisältäisivät tiedot kaikista yksilön hiilijalanjälkeen vaikuttavista tekijöistä, kuten esimerkiksi talouksien lämmitys, sähkön kulutus ja autoilu. (Fawcett 2012.)

Vuonna 2006 Oxfordissa perustettiin CRAG (carbon rationing action groups) kannustamaan ryhmiä ja yhteisöjä vähentämään hiilidioksidipäästöjään ja kasvattamaan heidän tietoisuuttaan eri tavoista ja valinnoista, joilla päästöjä voidaan alentaa. CRAG antoi suuntaa antavat ohjeet, mutta jokainen ryhmä sai kuitenkin valita sääntönsä ja hintansa. Pääperiaatteena oli, että jokainen yhteisössä seuraa omia päästöjään ja raportoi niistä säännöllisesti. Vuoden päätteeksi yksilöiden kokonaishiilidioksidipäästöjä verrattiin ennalta määriteltyihin rajoihin. Ryhmät saivat kuitenkin itse päättää säännöt ja hinnat. Monissa ryhmissä oli sovittu taloudellisia seuraamuksia päästötavoitteiden ylittämisestä. (Howell 2012.)

CRAGiin osallistuneille toteutetun kyselytutkimuksen perusteella nähtiin isoja käytösmuutoksia ja hiilidioksidipäästöjen vähennyksiä. Monet haastatelluista eivät uskoneet, että rahalliset sanktiot vaikuttivat heidän käytökseensä, tosin osittain koska sanktiot olivat hyvin pienet. Toiset taas kokivat mahdolliset rahalliset hyödyt pienempänä motivointitekijänä kuin sanktiot. Tosin tutkimuksessa korostettiin, että tulokset pohjautuivat pieniin itsevalikoituneisiin yhteisöihin, joissa ihmiset ovat usein jo ympäristöasioihin valveituneita. Siten tutkimustuloksia ei voi yleistää suoraan suurempaan väestöön ja mahdollisiin pakollisiin henkilökohtaisiin päästökauppoihin. (Howell 2012.)

Norfolkinsaarella aloitettiin vuonna 2011 NICHE (The Norfolk Island Carbon and Health Evaluation) -tutkimus, joka keskittyi hiilipäästöjen vähentämiseen. Tutkimuksessa otettiin huomioon kaasun, sähkön ja polttoaineen kulutus, joista jälkimmäinen taltioitiin ostoista. Kulutusta seurattiin kuusi kuukautta ilman vähennystavoitetta, jonka jälkeen julkaistiin 10% vähennystavoite. Yhteensä kulutusta seurattiin 15 kuukauden ajan. Saaren noin 1800 asukkaasta 27% kotitalouksista osallistui tutkimukseen. Myös asenteita, terveyttä, ympäristötietoisuutta, kulutustottumuksia ja ruumiinpainoa seurattiin tutkimuksessa. Lopputuloksena kotitalouksien hiilidioksidipäästöt laskivat keskimäärin 18%. Polttoaineisiin liittyvät hiilidioksidipäästöt vähenivät 25,1% ja sähköön liittyvät 12,3%. Kaasun kulutuksessa ei nähty huomattavia muutoksia. NICHEN tutkimuksen yhteydessä tehtyjen kyselytutkimusten tulosten mukaan ihmiset, jotka ovat kiinnostuneita omasta terveydestään ovat myös enemmän kiinnostuneita ympäristön hyvinvoinnista (Webb et al. 2014). (Webb 2018.)

2.7 Päästölaskurit ja applikaatiot

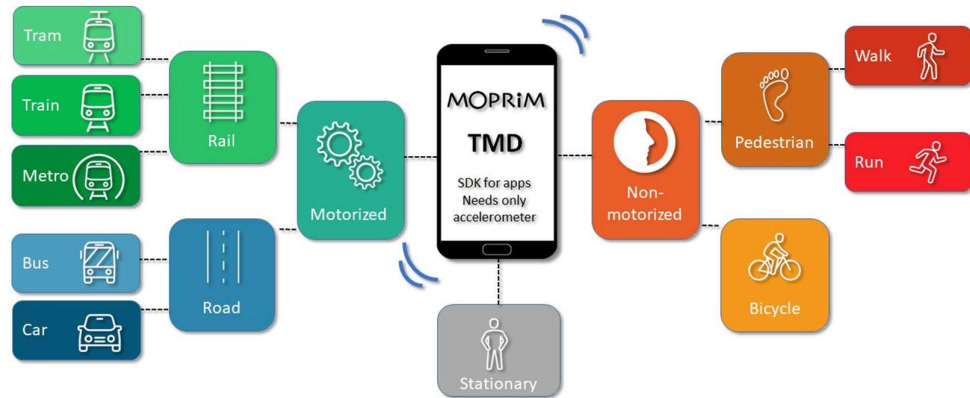
Internetistä löytyy useita erilaisia päästölaskureita sekä puhelimeen ladattavia applikaatioita, joilla voi seurata omaa henkilökohtaista hiilijalanjälkeä. Laskurit ja applikaatiot perustuvat vapaaehtoisuuteen niin applikaation lataamisessa kuin oman hiilijalanjälkeen vaikuttamisessa tai kompensoinnissa. Päästökauppalaskurit ja applikaatiot auttavat ihmisiä ymmärtämään omien liikkumis- ja kulutustottumuksien muutosten vaikutuksen omaan henkilökohtaiseen hiilijalanjälkeen.

Ilmastodieetti.fi on työkalu käyttäjän syöttämien tietojen perusteella henkilökohtaisen hiilijalanjäljen laskemiseen sisältäen asumisen, liikkumisen, syömisen sekä muiden tavaroiden ja palveluiden kulutuksen. Liikkumisen hiilijalanjälkilaskennan osalta se keskittyy moottoriliikennevälineisiin. Työaikana syntyneet kilometrit rajataan pois, sillä ne lasketaan työpaikan päästöiksi, mutta työmatkaan kuluvat kilometrit lasketaan. Laskuri ottaa huomioon myös auton valmistuksen

päästöt ja huomioi myös yhteiskäyttöautovaihtoehdon ja käyttää näitä tietoja jyvittäessään päästöjä kilometrille. Palvelussa voidaan syöttää ajoneuvon tarkemmat tiedot, jolloin autoilun tuottaman päästöt tarkentuvat. Ellei auton tietoja ole syötetty, työkalu käyttää yksinkertaistettua mallia 200 CO₂ekv /ajoneuvokm. Arvio perustuu laskentoihin LIPASTO- tietokannan tietoihin perustuen ja siihen on lisätty polttoaineen valmistuksen päästöt ja auton valmistus. Kaupunkiliikenteen linja-autolle työkalu arvio CO₂ekv päästöiksi 68 g/hkm ja pitkänmatkanliikenteen linja-autolle 54 g/hkm. Junalle arvioitu CO₂ekv päästö määrä on 1 g/hkm. (Salo et al. 2019; Suomen ympäristökeskus 2019.)

Karbonautti on suomalainen palvelu, jonka kautta yritykset ja yksityishenkilöt voivat tukea kestävästä kehitystä ja täten kompensoida omaa hiilijalanjälkeä. Hiilijalanjäljen kompensointi tapahtuu palvelun kautta tukemalla WWF:n Golden Standard sertifioituja yrityksiä. Sertifikaatti ottaa huomioon paikallisen vaikuttavuuden ja vaatimukset päästövähennysten todentamiselle. (Karbonautti 2018.)

Älypuhelimeen ladattavat sovellukset eroavat hieman ominaisuuksiltaan ja toimintavoiltaan. Oroeco sovellus perustuu eri tavoin pelillisyyteen. Käyttäjät saavat pisteitä ja voivat voittaa erilaisia palkintoja omien päästöjen vähentyessä. Applikaation toiminta perustuu henkilön kulutustottumusten analysointiin ja käyttäjän antamaan informaatioon. Ostettujen tuotteiden ja palveluiden ja käytettyjen yhtiöiden perusteella saadaan tietoa niiden vastuullisuudesta, joita käyttäjä voi linkittää sosiaaliseen mediaan lisäten yritysten painetta ympäristövastuullisiin valintoihin. Sovelluskaupoista löytyy useita applikaatiota, jotka kysyvät käyttäjän elämiseen ja liikkumiseen liittyviä asioita ja laskee näistä oman hiilijalanjäljen. Sovelluksen usein opastavat erilaisin vinkein, miten käyttäjä voisi vähentää omia päästöjä. (Oroeco 2015; Google Play 2019.)



KUVIO 4. Moprimin kehittämä sovellus tunnistaa eri liikumismuotoja (Moprin Oy 2018)

Moprinin kehittämä sovellus, jota käytetään CitiCAP-hankkeessa, tulkitsee millä tavoin käyttäjä liikkuu ja laskee automaattisesti erityyppiset liikuntamuodot, jota havainnollistetaan kuviossa 4. Applikaatio perustuu kiihdytysanturiin ja algoritmeihin, joiden avulla eri liikumismuotojen tulkinta tapahtuu. Käyttäjä voi seurata matkojensa aikoja ja pituuksia kartalla ja vertailla aikaisempiin. Sovellus tullaan myöhemmin hankkeessa liittämään osaksi varsinaista päästökauppasovellusta Kulkukauppaa. (Lahden kaupunki 2018.)

3 CITICAP-PÄÄSTÖKAUPPASÄÄNNÖSTÖN SIMULOINTITYÖKALU

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa työkalu, jolla voidaan simuloida CitiCAP-hankkeen kauppapaikkasäännöstöä ennalta, miten eri lähtöhinnat, määrittelyarvot ja päästöoikeuksien suuruudet vaikuttaisivat erilaisten henkilöiden virtuaalivaluuttasaldoihin. Käytännössä päästökauppa voidaan toteuttaa eri tavoin, mutta yleisesti se perustuu muutamiin peruselementteihin. Näihin peruselementteihin kuuluvat päästökaupan laajuus, päästöoikeuksien jakomalli sekä kannustimien ja sanktioiden päättäminen. CitiCAP-päästökauppasäännöstö on kannustinpohjainen ja rajautuu ainoastaan kotimaan liikkumisen eri muotoihin. Tässä työssä liikkumismuodot on jaoteltu henkilöauto-, linja-auto-, juna-, jalankulku- ja pyöräilykilometreihin, eli esimerkiksi moottoripyöräilyistä tai -veneilyistä syntyneet kilometrit on rajattu pois. Näistä kolmelle ensimmäiselle tulee määritellä päästökertoimet, jotta kilometrit voidaan muuntaa laskennallisiksi päästöiksi. Päästökertoimet siis määrittelevät paljonko kukin liikuntamuoto tuottaa laskennallisia päästöjä. Toiveena simulointityökalulle oli sen ottavan huomioon edellisen seurantajakson toteutuneet kokonaispäästöt päästöjen yli- ja alijäämähinnoissa. Jos kokonaispäästöoikeus on ylittetty, päästöhinnan tulisi nousta, jotta ylitetyt päästöt kallistuisivat entisestään. Vastaavasti, jos kokonaispäästöoikeus on alitettu, päästöhinnan tulisi laskea.

3.1 Alkupohdinta

Alkuperäinen idea oli rakentaa simulointityökalua käyttäen skriptausta, tietokantaa ja raportointityökalua. Lopulta simulointityökalu rakennettiin kuitenkin Excelissä, koska sen lyhytaikaisesta käyttötarkoituksesta johtuen tekoon käytettävä aika haluttiin minimoida. Lisäsyynä kallistumiseen Exceliin oli se, että tietokanta olisi ollut haasteellisempi jakaa eri käyttäjien kesken ja tämä olisi vaatinut liikkumis- ja määrittelytietojen päivittämiseltä jonkin verran tietokantaosaamista tai vaihtoehtoisesti enemmän aikaa yksinkertaisen käyttöliittymän rakentamiseen. Exceliin pohjautuva työkalu olisi helppo jakaa sähköpostin välityksellä ja siinä peruskäyttäjän on

helppo muutella määrittelytietoja tai liikkumisdatoja eri käyttäjäryhmien simulointiin.

3.2 Kehitysprosessi

Simulointityökalun kehitysprosessi alkoi lähtöpalaverista, jossa kartoitettiin tarve ja ideoitiin toteutustapaa. LUT toimitti sadan kuvitteellisen henkilön vuotuiset henkilöauto- ja joukkoliikennekilometrimäärät, sekä kulkumuotojen henkilökilometrin mukaiset keskiarvopäästöt ja niistä lasketut laskennalliset CO₂-yhteispäästöt. Tästä muodostui simulointityökalun alkutilanne. Kehitysprosessin edetessä pidettiin koostepalavereja, jonka palautteen ja ideoinnin perusteella muodostettiin aina uusi versio simulointityökalusta.

Versio 1 sisältö piti sisällään sadan kuvitteellisen käyttäjän päivittäiset kilometrimäärät henkilöautolla ja joukkoliikenteellä. Kuukausidata jaettiin neljään viikon pituiseen seurantajaksoon. Jokaiselle seurantajaksolle laskettiin käyttäjäkohtaiset laskennalliset päästöt kulkuneuvojen päästökertoimien perusteella. Päästökertoimet sijoitettiin työkalun määrittelytietoihin, jossa määriteltiin myös päästöoikeus. Simulointityökalussa päästöoikeuden kattomäärää kuvataan päästökatonalla. Päästökaton arvoa hyödyntäen jokaiselle henkilölle laskettiin seurantajakson päästöjäännös. Kaikkien henkilöiden seurantajakson yhteenlasketun päästökaton ja yhteenlasketun päästötoteutuman perusteella määriteltiin manuaalisesti hintakerroin, joka vaikutti seuraavan jakson päästöjen hintoihin. Seurantajaksokohtaiset laskennalliset päästöt ja virtuaalivaluuttasaldot esitettiin kuvaajilla.

Versio 2:ssa seurantajaksojen määrää lisättiin 26:een, jotta nähtäisiin pidemmältä ajalta hinnankehitystä eri lähtöarvoilla ja hintakertoimilla ja miten eri käyttäjien virtuaalivaluuttasaldot kehittyisivät. Pyöräily ja kävelykilometrit lisättiin erillisiin kenttiin kuvaamaan paremmin oletettua kokeilussa kerättävää dataa. Näitä kilometrejä ei toistaiseksi otettu huomioon vielä laskennassa mitenkään, koska ne ovat päästöttömiä kulkumuotoja. Ei myöskään ollut selvillä, miten käyttäjien suurempi

kannustus päästöttömiin liikuntamuotoihin toteutettaisiin kokeilun päästökaupassa. Epäsuorana kannustimena päästöttömiin liikuntamuotoihin toimisivat vähemmät päästöt seurantajakson aikana.

Koska hankkeessa toivottiin päästökauppaan kannustusta terveyttä edistäviin liikuntamuotoihin, niin päädyttiin kokeilemaan erillisiä aktiivisuuspisteitä *versiossa 3*. Aktiivisuuspisteitä käyttäjä voi kerryttää maksimimäärään asti per seurantajakso riippuen liikunnan määrästä. Aktiivisuuspisteet mahdollistavat erilaisten kannustimien toteuttamisen kauppapaikassa, esimerkiksi arvonnat tai jakson aktiivisimpien palkitseminen. Aktiivisuuspisteet voidaan myös muuttaa suoraan virtuaalivaluutaksi.

Koska käyttäjiä halutaan ohjata vahvemmin käyttämään joukkoliikennettä, lisättiin simulaatioon myös erilliset joukkoliikennepisteet. Joukkoliikennepisteiden määrä riippuisi käyttäjän seurantajaksoilla käyttämisestä joukkoliikennekilometreistä, eli kuinka paljon käyttäjä on käyttänyt joukkoliikennettä. Näin ollen, jos käyttäjä siirtyy omalla autolla ajamisesta joukkoliikenteeseen, hän vähentää päästöjään ja kasvattaa siten virtuaalivaluuttasaldoaan ja myöskin kerryttää joukkoliikennepisteitä, joilla voidaan toteuttaa lisähyödykkeitä, arvontoja tai saldobonus.

Koska edellisten seurantajaksojen päästöjen haluttiin vaikuttavan seuraavan seurantajakson hintaan, luotiin hintakertoimelle laskentakaava. Hintakertoimen laskentakaava määräytyi kokeilemalla eri laskentavaihtoehtoja ja niiden hintamuutoskuvaajia vertailemalla. Hintakerroin koostuu useamman seurantajakson päästökatoista ja nykyisen seurantajakson päästötoteutuman keskiarvon suhteesta seurantajakson kokonaispäästökattoon. Päädyttiin myös lisäämään eri muuttujien keskiarvo- ja summatietoja, kuten virtuaalivaluuttasaldoja per seurantajakso sekä kuvaajia havainnollistamaan muuttujia.

Versiossa 4 simulointityökalu jaettiin kahteen eri variaatioversioon. Alkuperäisen mukaiseen, jossa on kaikilla käyttäjillä yhtäläiset päästöoikeudet ja vaihtoehtoiseen variaatioversioon, joissa käyttäjät

jaettiin ensimmäisen seurantajakson perusteella eri päästöluokkiin. Päästökaton määrä riippuu päästöluokasta. Yksilöiden päästöjä verrattiin tähän oman ryhmänsä päästökattoon. Hintakertoimeen kuitenkin edelleen vaikuttivat kokonaispäästömäärät ja kokonaispäästötoteutumat.

Versiossa 5 kuvitteellisten henkilöiden liikkumisdata muutettiin vastaamaan lahtelaisten 2016 vuoden henkilöliikennetutkimuksen aineiston keskiarvolikkumismääriä. Eli siis kuvitteellisten henkilöiden päivittäiset liikumiskilometrimäärät per liikkumismuoto muutettiin siten, että joka liikkumismuodon keskimääräinen kilometrimäärä vastasi henkilöliikennetutkimuksen tutkimusaineistossa kerrottuja määriä. Näin joukkoliikennekilometrit jaettiin linja-auto- ja junakilometreiksi ja niille lisättiin omat laskennalliset päästöarvot. Lisäksi tehtiin yhteenveto, joka sisälsi koosteen koko seuranta-ajanjaksolta eli yhteenveto yli seurantakausien.

Lopullisen, *version 6*, määrittelyvälilehti sisältää kuvan 1 mukaisesti aktiivisuus- ja joukkoliikennepisteiden luokitukset ja niiden vastaavat pistemäärät, päästöarvot kulkumuodottain, päästökaton, seurantajakson määrän ja aloitushinnat. Nämä arvot ovat muuteltavissa, ja siten pystytään katsomaan eri arvojen vaikutuksia koostekuvaajiin. Variaatioversiossa, joissa käyttäjät on jaoteltu eri päästöluokkiin, päästökatto oli ilmoitettuna luokittain. Aktiivisuuspisteiden kerrytysasteikot nähdään kuvan 1 sarakkeissa F-I. Jos käyttäjä liikkuisi seurantajakson aikana 15 kilometria kävelleen ja 25 kilometria pyörällä, hän saisi kuvassa olevilla raja-arvoilla 2 aktiivisuuspistettä.

	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K
1					Kävely		Pyöräily		Joukkoliikennepisteet	
2	Henkilöauto	94 g/hkm			km per viikko	pisteet	km per viikko	pisteet	km per viikko	pisteet
3	Bussi	55 g/hkm			10	1	20	1	10	1
4	Juna	11 g/hkm			20	2	30	2	20	2
5					30	3	40	3	30	3
6	Päästökatto per hlö/v	900 kgCO2			40	4	50	4	40	4
7	Päästökatto per hlö/kk	75 kgCO2			50	5	60	5	50	5
8	Päästökatto per hlo/vk	17,3077 kgCO2								
9		Päästöhinta								
10	Hinta ylimenevältä	1 virtuaalisyksikköä								
11	Hyvitys alimenevältä	0,8 virtuaalisyksikköä								
12										
16	Seurantajaksoja tässä excelis	26								

KUVA 1. Määrittelytiedot

Kuvan 2 mukainen hintalaskentavälilehti sisältää hintalaskennan seurantajaksoittain. Aloitushinnat (B7 ja B8) ja seurantakohtaiset päästökattot (rivi 3) määräytyvät määrittelyvälilehdellä olevista tiedoista. Päästötoteutuma (rivi 4) saadaan seurantajaksokohtaisista liikkumatiedoista kaikkien käyttäjien yhteissummalla, joiden laskennassa käytetään määrittelyissä annettuja päästöarvoja per liikkumismuoto. Hintakerroin koostuu valitusta hintakerroin kaavasta, jonka perusteella aina seuraavan seurantajakson hinnat lasketaan. Esimerkiksi sarakkeessa B, joka kuvaa ensimmäistä seuranta-jaksoa, kaikkien käyttäjien yhteenlaskettu päästökatto on 1730769. Toteutuneet päästöt seurantajaksolle olivat 1363668. Eli päästöt olivat 367101 pienemmät verrattuna päästökattoon. Näistä laskettiin hintakerroin (hintakertoimen laskennasta lisää kappaleessa 3.4). Kertomalla B6 ja B7 saadaan arvo sarakkeeseen C7, joka on seuraavan seurantajakson ylimenevien päästöjen hinta. Vastaavasti alimenevä hyvityshinta seuraavalle seurantakaudelle saadaan kertomalla B6 ja B8.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	Jakso	1	2	3	4	5	6	7
3	Päästökatto seurantajaksolla	1730769	1730769	1730769	1730769	1730769	1730769	1730769
4	Toteutuma seurantajaksolla	1363668	1401906	1568706	1465274	1393712	1411182	1297950
5	Jäännös	367101	328863	162063	265495	337057	319587	432819
6	Hintakerroin	0,99214	0,99296	0,99653	0,99432	0,99279	0,99316	0,99074
7	Hinta ylimenevältä	1	0,992144	0,985162	0,981746	0,976168	0,969127	0,962499
8	Hyvitys alimenevältä	0,8	0,793715	0,78813	0,785397	0,780934	0,775302	0,769999
9								
10	Seurantajaksoja	26						
11	Seurantajaksoja vuodessa	52						
12	Henkilölukumäärä	100						

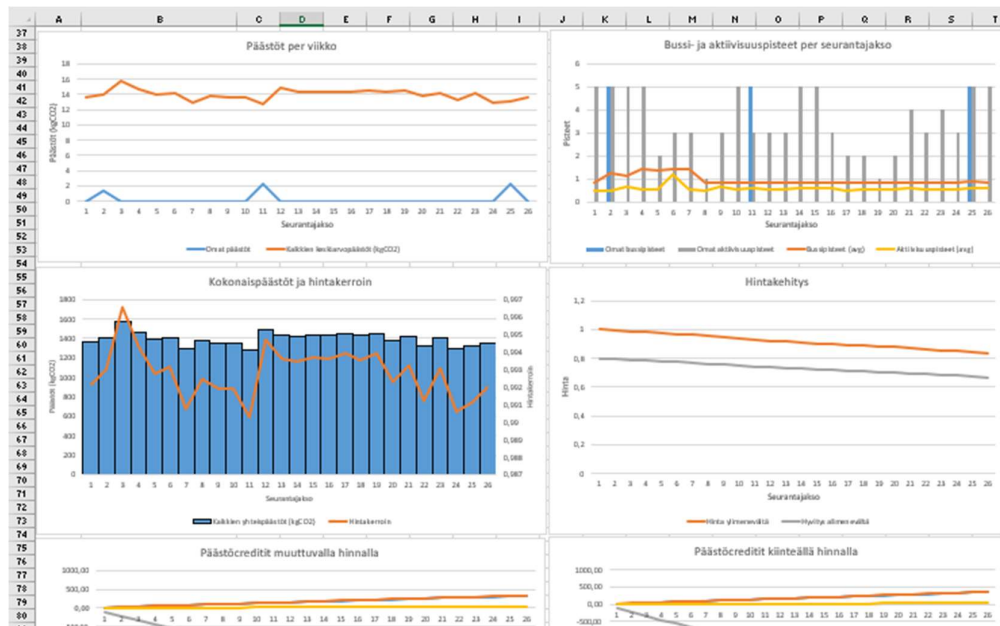
Kuva 2. Hintalaskenta

Kuvan 3 mukainen seurantajaksokohtaiset liikkumistiedot sisältävät käyttäjäkohtaiset seurantajakson aikaiset kilometrimäärät ja niihen laskennalliset päästöarvot määriteltyjen arvojen mukaisesti. Päästöarvoja verrataan päästökattoon ja näin saadaan henkilön seurantajaksokohtainen päästöjäämä, josta määriteltyä hintaa käyttämällä saadaan käyttäjän päästökaupan virtuaalivaluuttasaldon kyseiselle seurantajaksolle (sekä kiinteää, että hintalaskentavälilehdellä laskettua muuttuvaa hintaa käyttämällä).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Henkilöt	Henkilö- auto	Bussi	Juna	Jalan- kulk	Pyöräily	Päästöt	Päästö- jäämä	Creditit (kh)	Creditit (mh)	Joukkoliik- enne- bonus	Activity
2	Jakso	1										
3		km / v	km / v	km / v	km / v	km / v	gCO2eq	kgCO2eq	€	€	pisteet	pisteet
4	1	0	0	0	0	0	0	17,30769	13,84615	13,84615	0	0
5	2	0	0	0	75	0	0	17,30769	13,84615	13,84615	0	5
6	3	0	0	0	30	0	0	17,30769	13,84615	13,84615	0	3
7	4	0	0	0	15	0	0	17,30769	13,84615	13,84615	0	1
8	5	0	10	0	10	0	550	16,75769	13,40615	13,40615	1	1
9	6	0	40	0	10	10	2200	15,10769	12,08615	12,08615	4	1
10	7	14	10	0	35	60	1866	15,44169	12,35335	12,35335	1	5
11	8	14	65	0	35	35	4891	12,41669	9,933354	9,933354	5	5
12	9	7	75	0	10	10	4783	12,52469	10,01975	10,01975	5	1
13	10	7	75	0	5	5	4783	12,52469	10,01975	10,01975	5	0

Kuva 3. Seurantajaksokohtaiset liikkumistiedot

Kuvan 4 mukainen koostokuvaajat per henkilö sisältää yhteenvedon seurantajaksokohtaisista tiedoista ja niistä tehdyt kymmenen kuvaajaa. Henkilöä pystyy vaihtamaan yläreunassa olevasta alavetovalikosta. Näin ollen määrittelyarvojen muutoksien vaikutuksia on helppo katsoa päivittyvistä kuvaajista.



KUVA 4. Koostokuvaajat per henkilö

Henkilökohtaisien koostokuvaajien lisäksi työkalu sisältää koostokuvaajat per seurantajakso ja koostetaulukon koko ajalta. Näissä kaikkien kuvitteellisten käyttäjien arvot ovat yhdistetty. Koostokuvaajista nähdään esimerkiksi positiivisten virtuaalivaluuttasaldojen yhteenvedot tai käyttäjien suurimmat ja pienimmät virtuaalivaluuttasaldot.

3.3 Määrittelytiedot

Määrittelytietoina päästökauppasimulaatiossa ovat seuraavat asiat:

- Kulkuneuvokohtaiset päästöt

- Päästökatto eli päästöoikeuden kattoarvo
- Hinta / hintakerroin
- Seurantajakson pituus
- Aktiivi- ja joukkoliikennepisteiden määrät ja portaikko
- (Aktiivi- ja joukkoliikennepisteiden mahdollinen muutosarvo valuutaksi)

Määrittelyarvoilla tarkoitetaan ei mitattavaa dataa, kuten esimerkiksi päästökatto. Päästökatto on asia, mitä ei saada mittaamalla, vaan se tulee määritellä. Päästökatto on joko kaikille yhteinen, ryhmiin perustuva tai henkilökohtainen. Jos päästökatto ei ole yhteinen, tulee siihen sisältyä tieto, millä kukin henkilö liitetään haluttuun päästökattoon.

Simulaatiotyökalusta on kaksi vaihtoehtoista versiota. Toisessa käytetään kaikille samaa päästökattoa ja toinen, jossa henkilöt jaotellaan päästöryhmiin. Päästöryhmillä on eri päästökatot.

Vaikka kulkuneuvokohtainen päästö olisi mitattavissa, käytetään tässä määriteltäviä päästökerroin-arvoja yksinkertaistamisen vuoksi.

Simulaatiotyökalussa määriteltiin henkilöautoille yksi yhteinen päästökerroin. Jos kulkuneuvokohtaiset päästöt haluttaisi laskea tarkemmalla tasolla esimerkiksi auton päästötaso tai käyttövoima huomioiden, tulee kuitenkin huomioida, että kauppapaikan määrittelytiedon tulee sisältää informaatio, miten käyttäjä linkitetään oikeaan päästömäärään per matkasuorite.

Päästöjäännöksille tulee olla määriteltynä hinta, jolla henkilöiden päästöjäännös linkitetään virtuaalivaluuttaan. Koska haluttiin eri hinta ylimenevältä kuin hyvitys alimenevältä, määriteltiin molemmille omat lähtöarvonsa. Riippuen myös kuinka isoa hintamuutoksen halutaan olevan, voidaan säätää laskennassa olevien seurantakausien määrää. Virhetapauksien eliminointi tulisi ottaa huomioon, joten hintakertoimen laskentaa varten on hyvä antaa raja-arvot maksimi- ja minimimuutokselle, mutta tämä ei ollut simulaatiossa tarpeen.

Jos aktiivisuus- ja tai joukkoliikennepisteet halutaan muuttaa valuutaksi, niin pisteiden muutoskaava virtuaalivaluutaksi tulee olla määriteltynä. Toisinsanottuna, mikä on pisteiden arvo. Halutaanko esimerkiksi, että joukkoliikennepisteet kumoavat joukkoliikenteen päästöistä aiheutunut kustannus. Simulaatiotyökalussa pisteitä ei muutettu virtuaalivaluutaksi.

3.4 Laskenta

Hintalaskenta suoritettiin seurantajaksoittain kunkin seurantajakson päätyttyä. Vaikka kauppapaikassa näytettäisiin arviot nykyisestä seurantajaksosta, näitä ei oteta huomioon virtuaalivaluuttasaldoissa ennen kyseisen seurantajakson päättymistä.

Henkilöiden eri kulkuneuvojen kilometrit lasketaan päästöiksi määrittelyjen mukaisilla gramma per henkilökilometriarvoilla, jotka summataan yksilökohtaisiksi päästöiksi per seurantajakso. Tätä seurantajakson yksilökohtaista päästösummaa verrataan henkilön seurantajakson päästökattoon (gCO_2), josta saadaan käyttäjän päästöjännös seurantajaksolle. Päästöjännös muunnetaan gCO_2 arvosta kgCO_2 muotoon jakamalla päästöjännös tuhannella. Päästöjännöksen ollessa negatiivinen, se kerrotaan päättyneen seurantajakson ylimenevällä hinnalla ja tuloksena saadaan päättyneen seurantajakson virtuaalivaluutan määrä, johtaen virtuaalivaluuttasaldon pienemiseen. Päästöjännöksen ollessa positiivinen, se kerrotaan päättyneen seurantajakson alijäämän hyvityshinnalla ja tuloksena saadaan päättyneen seurantajakson virtuaalivaluutan määrä, joka lisätään virtuaalivaluuttasaldoon. Esimerkiksi henkilön eri kulkuneuvojen kilometrimäärät muunnetaan laskennallisiksi päästöiksi. Henkilön päästökaton arvosta vähennettäessä laskennalliset päästöt saadaan päästöjännös. Jos päästöjännös on positiivinen, se kerrotaan hyvityshinnalla ja näin saadaan kyseiseltä seurantajaksolta ansaittu valuuttamäärä, jotka lisätään henkilön virtuaalivaluuttasaldoon.

Aktiivisuuspisteisiin oikeuttavat liikkumismuodot ovat jalankulku ja pyöräily sekä niihin rinnastettavat. Seurantajakson jalankulkukilometrimäärää verrataan määritelyihin pisteportaisiin, eli esimerkiksi yli 10

jalankulkukilometristä seurantajaksoilla saa yhden pisteen ja yli 20 km 2 pistettä ja niin edelleen. Henkilö ansaitsee sen pistemäärän, minkä hänen kyseisen seurantajakson jalankulkukilometrimäärä ylittää.

Pyöräilykilometreihin pätee vastaava käytäntö. Jalankulusta ja pyöräilystä ansaitut pisteet lasketaan yhteen. Seurantajakson aktiivisuuspisteiden määrä ei kuitenkaan voi ylittää yksittäistä aktiivisuuspisteiden liikkumismuotoon määriteltyä maksimipistemäärää. Esimerkiksi jos henkilö ansaitsee sekä jalankululla että pyöräilyllä maksimipisteet, eli henkilö saisi 5 pistettä jalankulusta ja 5 pistettä pyöräilystä, pistemäärä on silti 5, koska se ei voi ylittää yksittäisen aktiivisuuspisteihin oikeuttavan liikkumismuodon maksimipistemäärää.

Joukkoliikennepistemologiikka seuraa samaa logiikkaa eli henkilön seurantajakson eri joukkoliikennekilometrimäärät summataan yhteen ja niitä verrataan määriteltyihin raja-arvoihin. Henkilö ansaitsee sen pistemäärän, mikä vastaa suurinta kilometrirajaa, minkä hänen kyseisen seurantajakson joukkoliikennekilometrimäärä ylittää. Esimerkiksi jos käytetään taulukkoa 15 (sivu 35), henkilö, jolla tulisi seurantajakson aikana 34 joukkoliikennekilometriä, saisi 3 joukkoliikennepistettä. Henkilön seurantajakson aktiivisuus- ja joukkoliikennepistemäärä voidaan muuntaa haluttaessa virtuaalivaluutaksi kertomalla pistemäärä määritellyillä pisteiden arvolla ja lisäämällä tulos henkilön virtuaalivaluuttasaldoon. Simulaatiotyökalussa ei toteutettu pistemuunnosta valuutaksi.

Jokaiselta seurantajaksoilta lasketaan hintakerroin, joka vaikuttaa seuraavan seurantajakson päästöhintaan ja päästöhyvityshintaan. Hintakertoimeen vaikuttaa seurantajakson kaikkien henkilöiden päästökattojen summa ja päästötoteutumien yhteismäärä. Hintakerroin lasketaan kuvassa 5 olevan kaavan mukaisesti eli hintakerrointa laskettaessa kerrotaan seurantajakson kaikkien yhteenlaskettu päästökatto seurantajaksojen määrällä, johon lisätään seurantajakson kaikkien yhteenlaskettu päästötoteutuma, tämän tulos jaetaan seurantajaksojen määrällä, johon on lisätty yksi. Tämä tulos jaetaan vielä seurantajakson kaikkien yhteenlasketulla päästökatoilla ja näin saadaan hintakerroin. Hintakertoimella lasketaan alkaneen seurantajakson

päästöhyvitys- ja päästöhinta kertomalla edellisen seurantajakson vastaavat hinnat hintakertoimella.

$$\text{Hintakerroin} = \frac{a * b + c}{b + 1} \div a$$

a = seurantajakson kaikkien käyttäjien yhteenlaskettu päästökatto

b = seurantajaksojen määrä

c = seurantajakson kaikkien käyttäjien yhteenlaskettu päästötoteutuma

KUVA 5. Hintakertoimen laskentakaava

4 CITICAP-PÄÄSTÖKAUPPASIMULAATIOT

Miltä kauppapaikan virtuaalivaluuttasaldot näyttäisivät kolmella eri elämäntilanteissa olevilla kuvitteellisella henkilöllä, kun kaikilla on yhtäläiset päästöoikeudet? Entä jos heillä olisikin eriävät päästöoikeudet?

Simulaatiotyökaluun syötetään kolmelle kuvitteellisille henkilöille 26 viikon liikkumiskilometrit per liikuntamuoto ja katsotaan, miltä heidän päästökaupan virtuaalivaluuttasaldo näyttäisi muutamilla eri skenaarioilla.

Nämä skenaariot ovat seuraavat:

1. Kaikilla on yhtäläiset päästöoikeudet
 - a. Henkilö ei tee muutoksia liikuntatottumuksiinsa
 - b. Henkilö muuttaa liikkumistottumuksiaan kestävämpiin liikkumismuotoihin kokeilun edetessä
2. Henkilöt jaettu kolmeen eri päästöluokkaan, joilla on eri päästöoikeudet
 - a. Henkilö ei tee muutoksia liikuntatottumuksiinsa
 - b. Henkilö muuttaa liikkumistottumuksiaan kestävämpiin liikkumismuotoihin kokeilun edetessä

Kummassakin päästöoikeuksien jakovaihtoehdossa otetaan siis kaksi eri tapausta huomioon. Ensimmäisessä skenaariossa henkilö ei muuta liikkumistottumuksiaan ja toisessa hän muuttaakin liikkumistottumuksiaan kestävämpiin liikkumismuotoihin kokeilun edetessä. Molempien päästöoikeusvaihtoehtojen vastaavissa skenaariossa henkilön liikkumisdata ja laskennalliset päästöt ovat samat. Näin ollen myös molempien muutosskenaariossa henkilön liikkumismuutokset ovat identtiset. Tästä johtuen skenaariossa, jossa henkilöt on jaettu erillisiin päästöluokkiin, keskitytään henkilöiden osalta ainoastaan virtuaalivaluuttasaldon muutoksiin.

Taulukoissa 12-15 näkyvät määrittelyarvot, jotka ovat yhteisiä kaikille skenaariolle. Seurantajakson pituus on yksi viikko. Lähtötilanteessa päästöhintana oli yksi virtuaaliyksikkö ja hyvityshintana 0,8 virtuaaliyksikköä. Liikkumismuotojen käytetyt päästöt näkyvät taulukosta

13. Kävely- ja pyöräilykilometrien pistemuunnostaulukon arvot löytyvät taulukosta 14. Taulukosta 15 löytyy joukkoliikennekilometrien pistemuunnostaulukko.

TAULUKKO 12. Päästöhintojen lähtötilanne

Päästöhinta		
Hinta ylimenevältä	1	virtuaaliyksikköä
Hyvitys alimenevältä	0,8	virtuaaliyksikköä

TAULUKKO 13. Päästöt per liikkumismuoto

Henkilöauto	94	g/hkm
Bussi	55	g/hkm
Juna	11	g/hkm

TAULUKKO 14. Aktiivisuuspisteiden raja-arvot

Kävely		Pyöräily	
km per viikko	pisteet	km per viikko	pisteet
10	1	20	1
20	2	30	2
30	3	40	3
40	4	50	4
50	5	60	5

TAULUKKO 15. Joukkoliikenteen raja-arvot

Joukkoliikennepisteet	
km per viikko	pisteet
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5

Havainnollistamiseksi näiden kolmen keksityn henkilön elämäntilanteet ovat seuraavat:

Henkilö 1: Keskustassa asuva yksineläjä, jonka työpaikka ja harrastukset ovat kaikki kävelymatkan päässä. Hän käyttää satunnaisesti julkisia kulkuneuvoja kavereilleen kulkemiseen ja Kouvolaan vanhempiaan tapaamaan. Hän on aktiivinen liikkuja, joka harrastaa paljon pyöräilyä ja kävelyä. Kaupassa asiointit hän hoitaa kävellen. Johtuen hänen jo vähäisistä liikkumispäästöistä, häneltä on jätetty pois muutosta kuvaava skenaario.

Henkilö 2: Nikkilässä avopuolisonsa kanssa asuva henkilö, joka käy töissä keskustassa. Hän käy muutaman kerran viikossa toisella puolella Lahtea sijaitsevissa harrastuspaikossa ja käy viikonloppuisin vapaa-ajan asunnollaan tai kavereiden ja sukulaisten luona. Hän omistaa henkilöauton ja käyttää sitä kaikkeen liikkumiseen. Hän harrastaa jonkin verran liikuntaa. Henkilöautokilometrejä hänelle kertyy noin 10000 kilometria vuodessa.

Muutoskenaariossa kuvitteellisen kokeilun edetessä henkilö siirtyy käyttämään linja-autoa ja pyörää työmatkailuun ja lopulta kulkee kaikki työmatkansa pyörällä. Vapaa-ajallaan ja satunnaisiin viikonloppumatkoihin hän käyttää edelleen autoa, mutta suurimmat matkat hän lopulta kulkee junalla. Muutoksen jälkeen hänen henkilöautokilometrinsa ovat noin 4000 kilometrin luokkaa vuodessa.

Henkilö 3: Kolmen lapsen ja vaimonsa kanssa Mukkulassa asuva perheenisä, joka käy Helsingissä henkilöautolla töissä. Hänen lapsensa ovat kovia harrastamaan ja tarvitsevat niihin paljon kyytejä, myös viikonloppuisin tapahtuville pelireissuille. Liikuntaa tämä perheenisä ei harrasta. Perhe käy kaksi kertaa viikossa ruokaostoksilla isoissa marketeissa autolla. Henkilöautokilometrejä hänelle kertyy noin 70000 kilometria vuodessa.

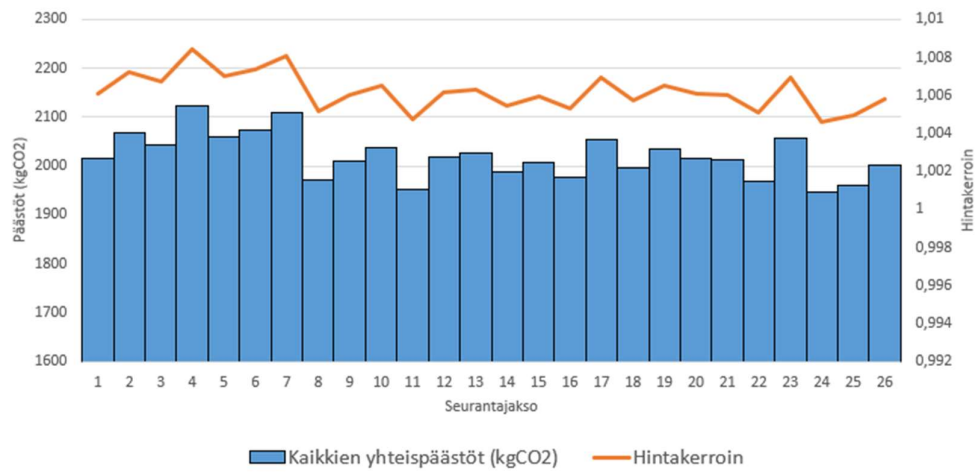
Muutoskenaariossa kuvitteellisen kokeilun edetessä henkilö alkaa kokeilemaan julkisia kulkuneuvoja työmatkan tekoon. Muutaman viikon kokeilun jälkeen hän siirtyy kulkemaan pyörällä juna-asemalle, josta junalla työpaikalle. Junalla kuljettujen matkojen määrä kasvaa kerran viikosta kahteen tai useampaan kertaan viikkoon ja lopulta työmatkat mennään pelkästään junalla. Hän myös alkaa tehdä joitain päiviä etätöitä aina tilaisuuden salliessa. Harrastuksiin edelleen kuljetaan autolla ja viikonloppuna autolla liikkuvat perheen kanssa. Muutoksen jälkeen hänen henkilöautokilometrinsa ovat noin 15000 kilometrin luokkaa vuodessa.

4.1 Case 1 – kaikilla yhtäläiset päästöoikeudet

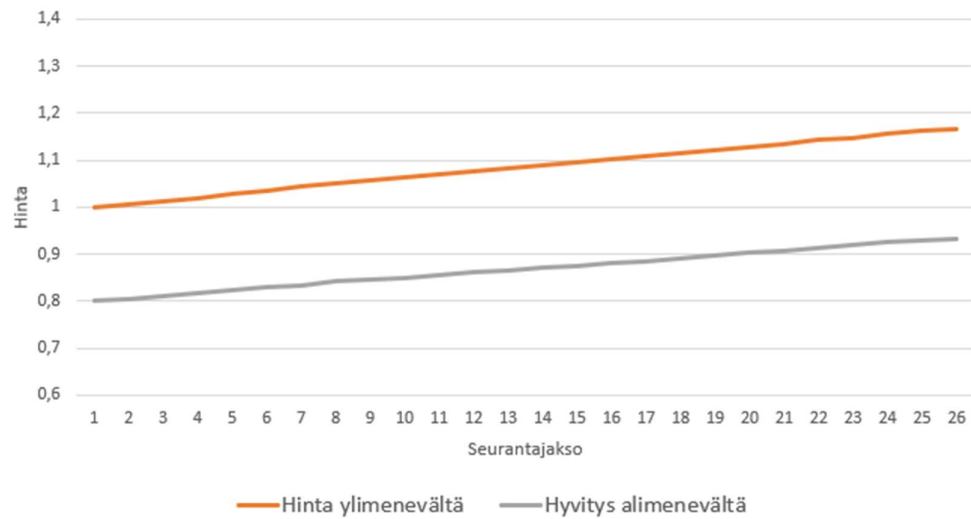
Tässä tapauksessa tarkastellaan miltä näiden kolmen kuvitteellisen henkilön päästösaldot näyttäisivät 26 viikon mittaisella kokeilukaudella, jossa jokaisella on yhtäläiset päästöoikeudet. Päästöoikeuden kattoarvona eli päästökattona on 900 kgCO₂ per henkilö vuodessa eli viikon pituisen seurantajakson päästökatto on 17,3 kgCO₂ henkilöä kohden. Sadalle testihenkilön kokonaispäästökatto on silloin 1730 kgCO₂ per seurantajakso.

Tässä tapauksessa kuvitteellisten sadan henkilön yhteispäästöt ylittävät 1730 kgCO₂ kokonaispäästökaton jokaisella seurantajaksolla, kuten kuviosta 5 nähdään. Kokonaispäästöjen ylittäessä kokonaispäästökaton, hintakerroin on yli yhden jokaisella seurantakaudella. Tästä johtuen

päästökaton ylittävä hinta sekä päästökaton alittava hyvityshinta nousee joka seurantajaksoilla, kuten nähdään kuviosta 6.



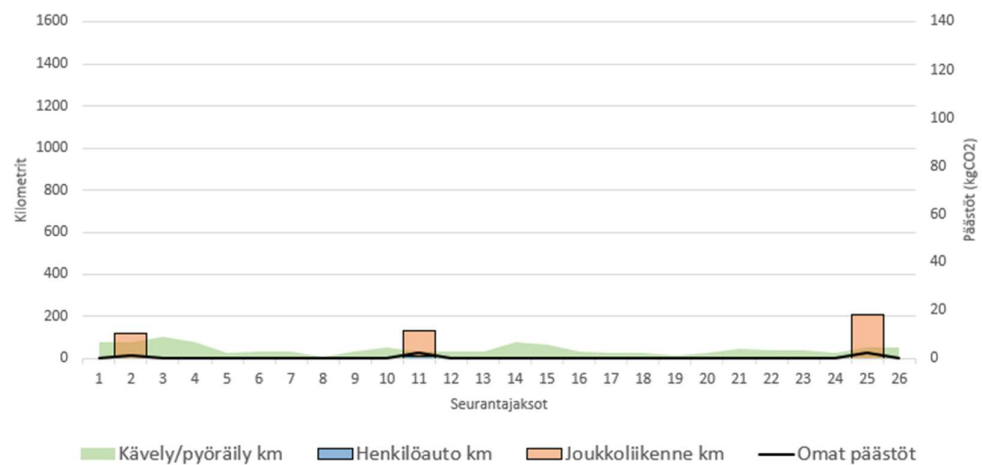
KUVIO 5. Kokonaispäästöt ja hintakerroin



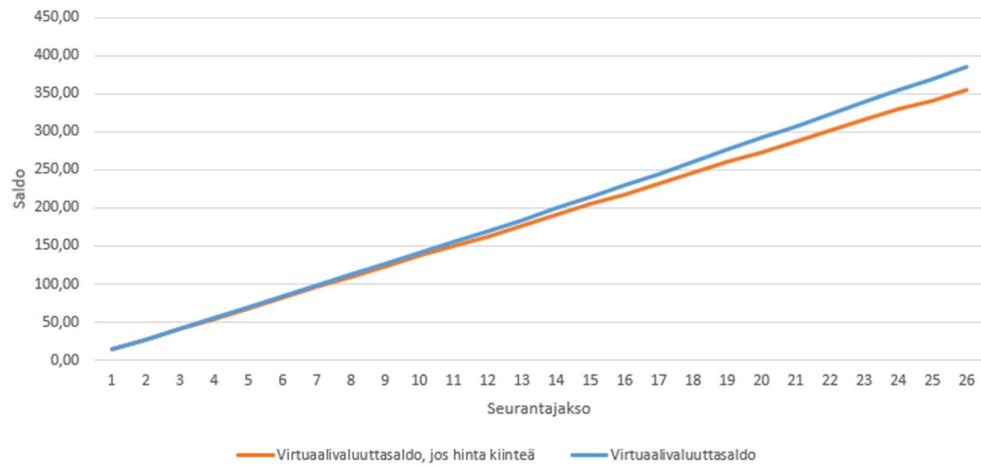
KUVIO 6. Hintakehitys

4.1.1 Henkilö 1

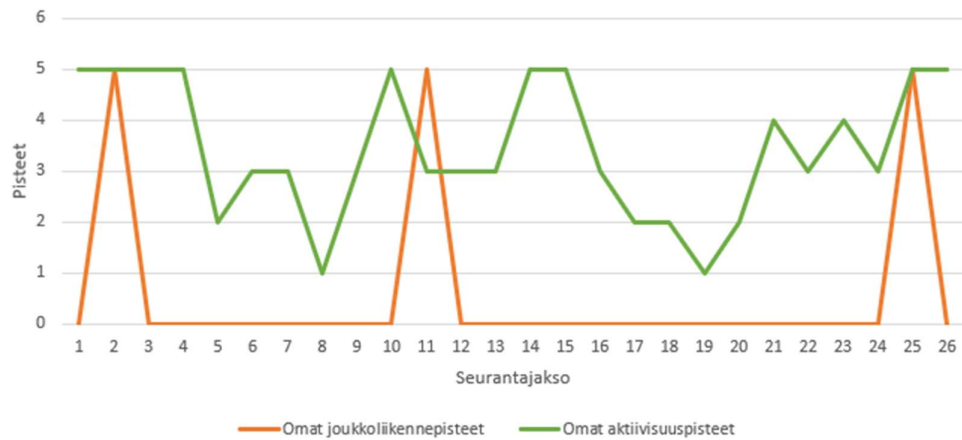
Henkilön liikkumiskilometrien ollessa hyvin pienet on laskennalliset päästöt suurimmillaan 2,31 kgCO₂ per seurantajakso, kuten kuviosta 7 nähdään. Henkilön laskennallisten päästöjen alittaessa seurantajaksokohtainen päästökatto 17,3 kgCO₂, kasvaa hänen virtuaalivaluuttasaldonsa melkein 400 kuvion 8 mukaisesti. Kuvioon on vertailun vuoksi lisätty virtuaalivaluuttasaldo ilman hintamuutoksia. Henkilön joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteet on kuvattu kuviossa 9.



KUVIO 7. Kilometrit ja laskennalliset päästöt



KUVIO 8. Virtuaalivaluuttasaldo

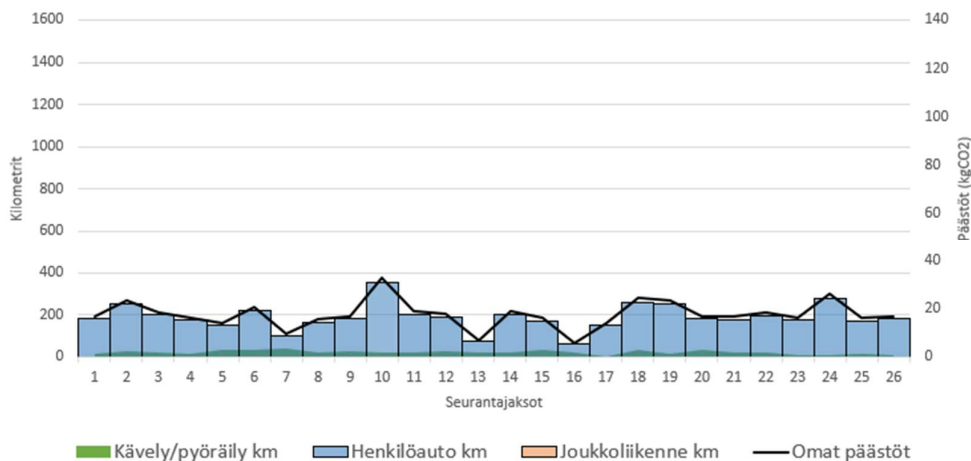


KUVIO 9. Joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteet

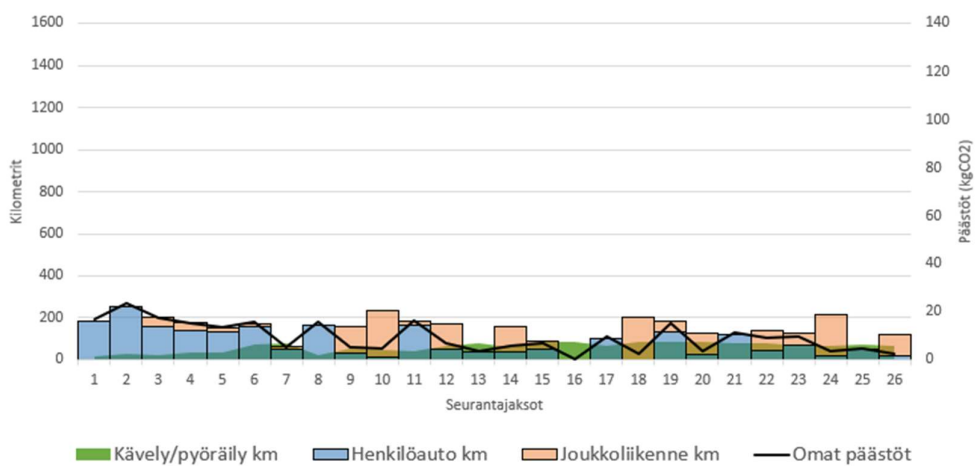
4.1.2 Henkilö 2

Skenaariossa, jossa henkilö ei tee muutoksia omaan liikuntatottumuksiin, laskennalliset päästöt ovat päästökaton (17,3 kgCO₂) molemmin puolin riippuen seurantajaksosta kuvion 10 mukaisesti. Muutosskenaariossa

laskennalliset päästöt painuvat alle päästökaton ja pysyvät siellä melkein jokaisella seurantajaksolla, kuten kuviosta 11 nähdään.



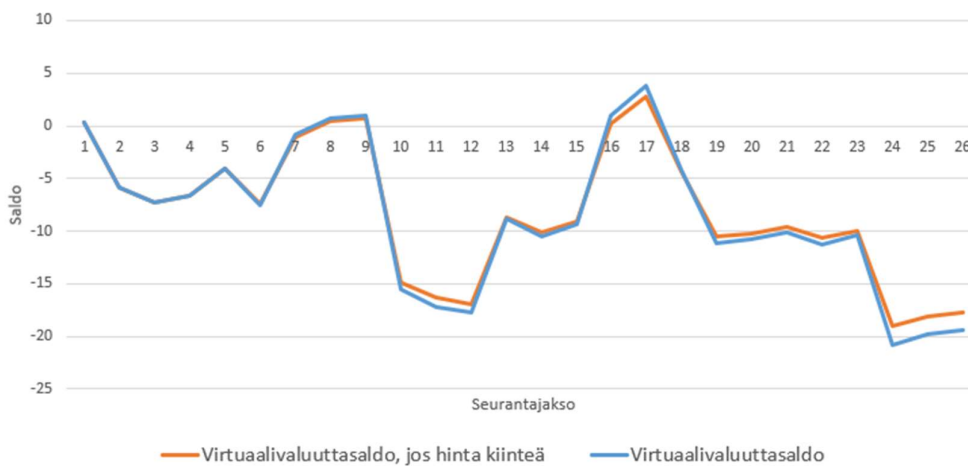
KUVIO 10. Kilometrit ja laskennalliset päästöt



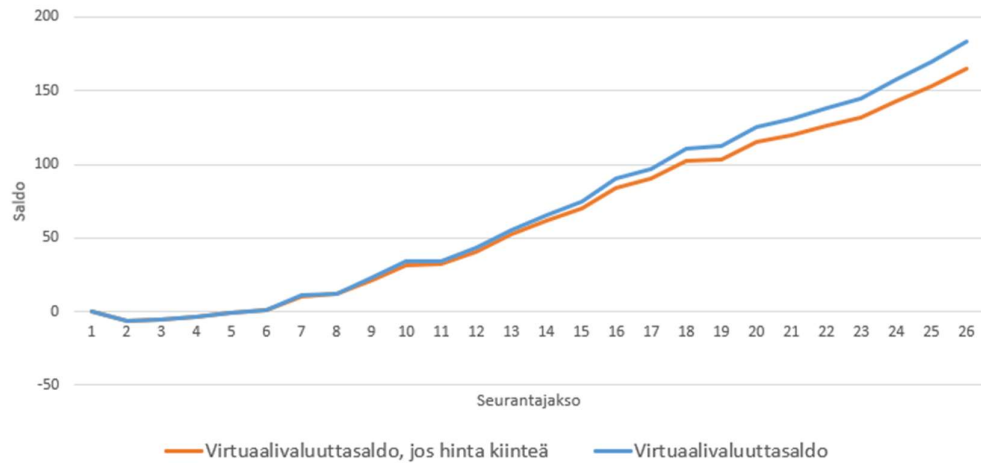
KUVIO 11. Kilometrit ja laskennalliset päästöt liikenumuotojen muutoksilla

Kuviosta 12 nähdään, että ilman liikkumismuotojen muutoksia henkilön virtuaalivaluuttasaldo olisi kokeilun päätteeksi melkein -20.

Muutoskenaariossa henkilön virtuaalivaluuttasaldo olisi kuvion 13 mukainen eli kokeilun päättyttyä se olisi hieman yli 180. Tällöin virtuaalivaluuttasaldo olisi noin 200 enemmän kuin ilman muutosta. Kuvioihin on vertailun vuoksi lisätty virtuaalivaluuttasaldot ilman hintamuutoksia.

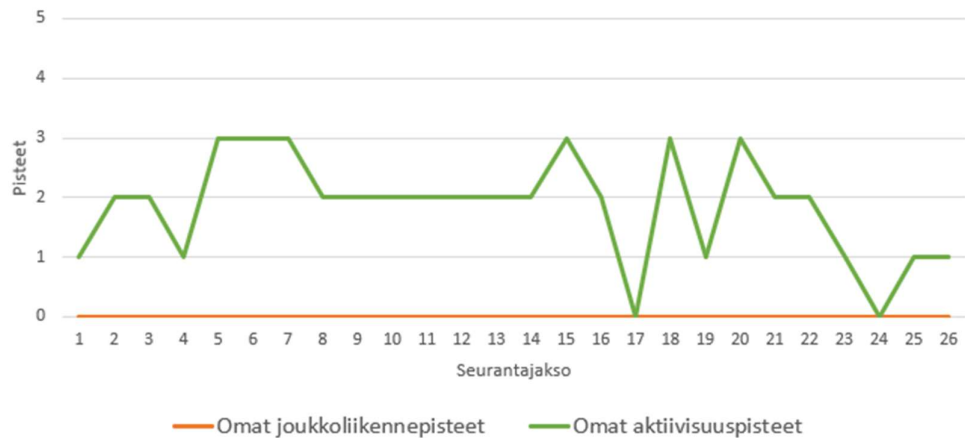


KUVIO 12. Virtuaalivaluuttasaldo

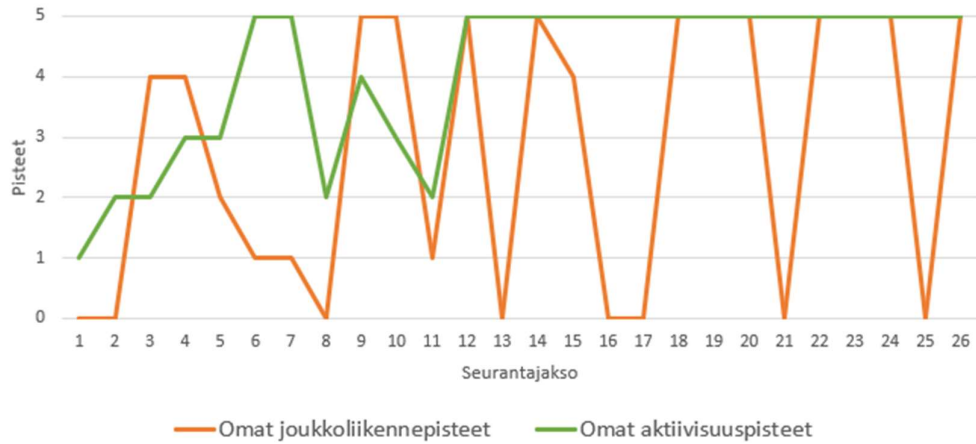


KUVIO 13. Virtuaalivaluuttasaldo liikkumismuotojen muutoksilla

Henkilön joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteiden erot muutosskenaarioon vasten nähdään vertailtaessa kuvioita 14 ja 15. Muutosskenaariossa henkilö ansaitsee maksimimäärän aktiivisuuspisteitä kokeilun puolen välin jälkeen jokaisella seurantajakso ja monena seurantajaksona myös maksimi joukkoliikennepisteet.



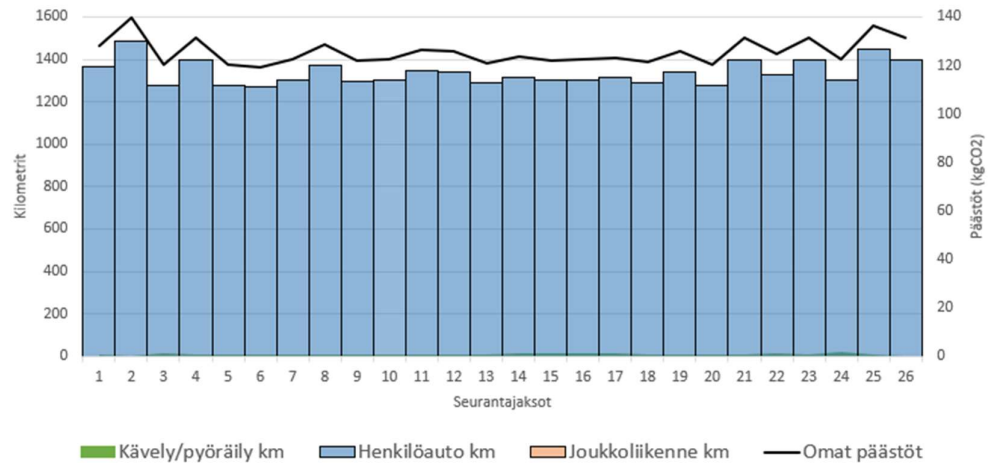
KUVIO 14. Joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteet



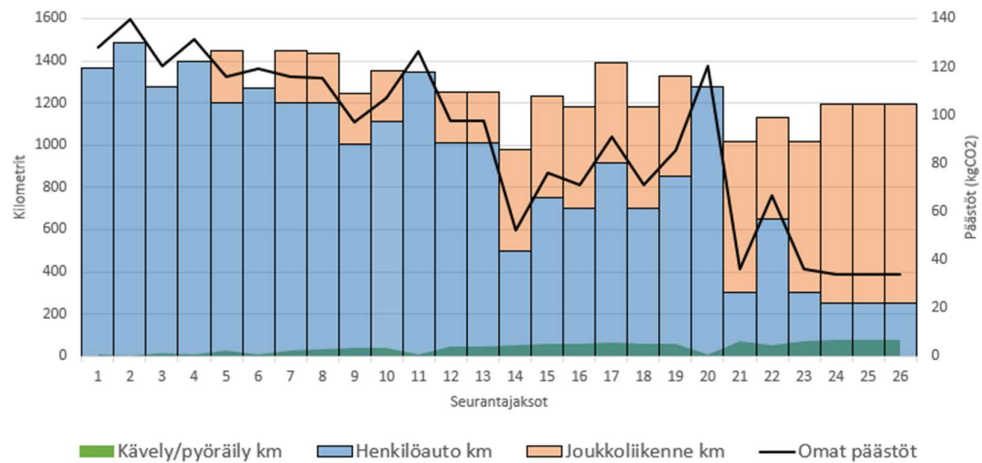
KUVIO 15. Joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteet liikkumismuotojen muutoksilla

4.1.3 Henkilö 3

Henkilön laskennalliset päästöt ylittävät päästökaton (17,3 kgCO₂) reilusti molemmissa skenaarioissa, kuten kuvioista 16 ja 17 nähdään. Ilman muutosta laskennalliset päästöt liikkuvat 120 kgCO₂ tuntumassa per seurantajakso. Vaikkei muutosskenaariossa aliteta päästökattoa, vähenee laskennalliset päästöt huomattavasti, alimmillaan alle 40 kgCO₂ viikon mittaisella seurantajaksolla.

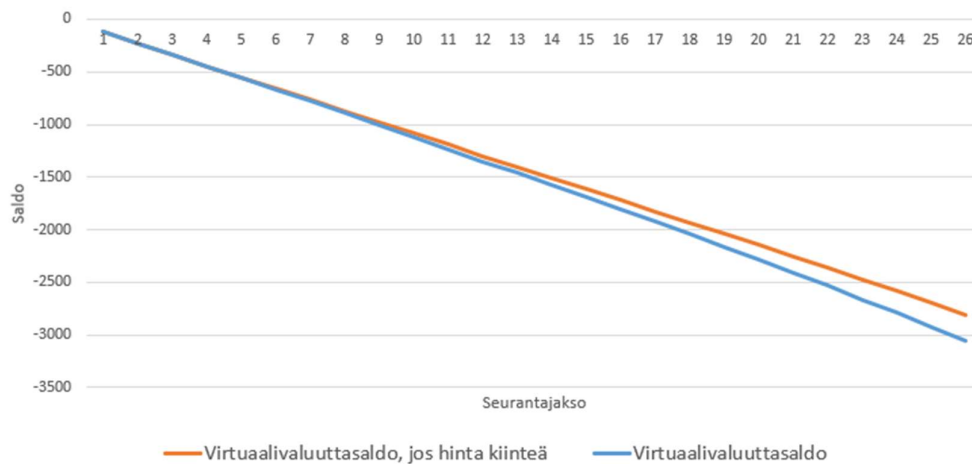


KUVIO 16. Henkilö 3 kilometrit ja laskennalliset päästöt

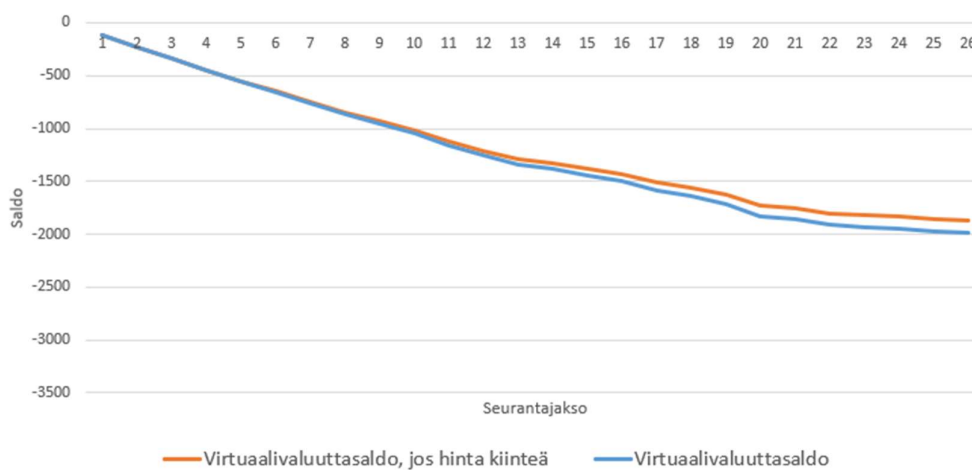


KUVIO 17. Henkilö 3 kilometrit ja laskennalliset päästöt liikumismuotojen muutoksilla

Henkilön virtuaalivaluuttasaldo ilman muutosta kokeilun aikana nähdään kuviosta 18 ja muutosskenaariossa kuviosta 19. Kokeilun päätteeksi ilman muutosta virtuaalivaluuttasaldo painuu yli -3000. Muutosskenaariossa virtuaalivaluuttasaldon määrä kokeilun päätteeksi on lähes -2000, eli noin 1000 vähemmän miinuksella.



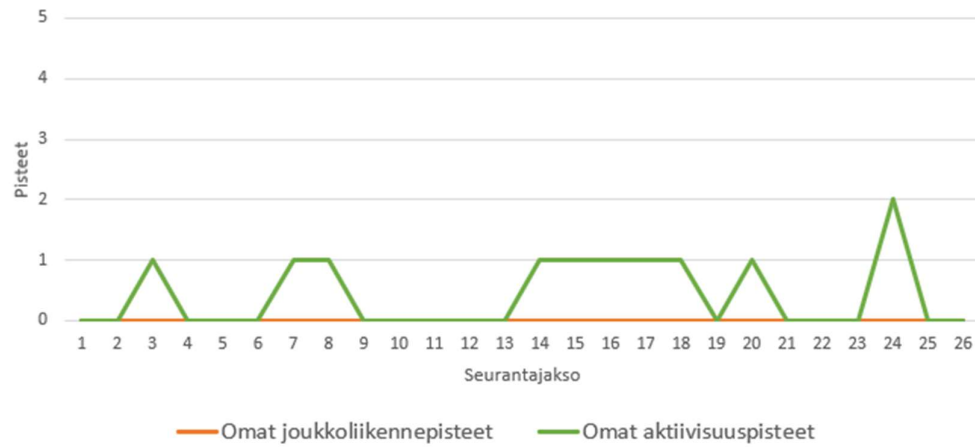
KUVIO 18. Virtuaalivaluuttasaldo



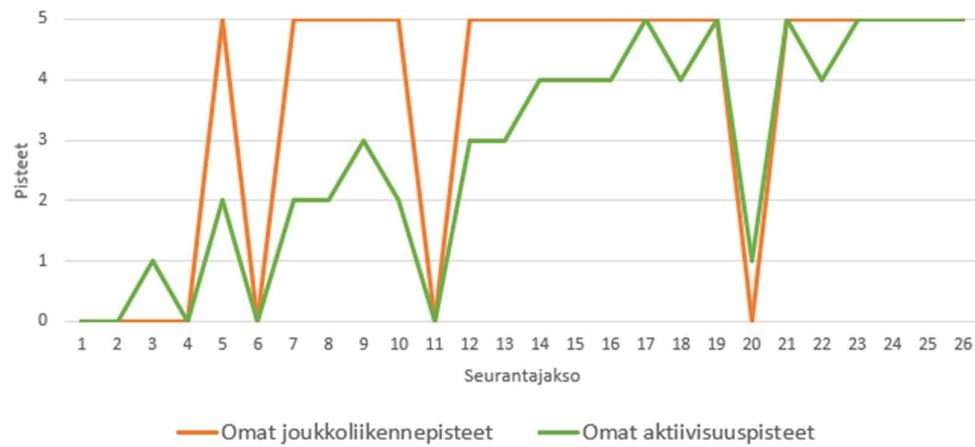
KUVIO 19. Virtuaalivaluuttasaldo liikkumismuotojen muutoksilla

Henkilön joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteiden erot muutosskenaarioon vasten nähdään vertailtaessa kuvioita 20 ja 21. Muutosskenaariossa henkilö ansaitsee maksimimäärän joukkoliikennepisteitä kokeilun puolen

välin jälkeen melkein jokaisella seurantajaksolla ja kasvattaa myös paljon aktiivisuuspisteiden määrää.



KUVIO 20. Joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteet



KUVIO 21. Joukkoliikenne- ja aktiivisuuspisteet liikkumismuotojen muutoksilla

4.2 Case 2 – eri päästökattot käyttäjärymän mukaan

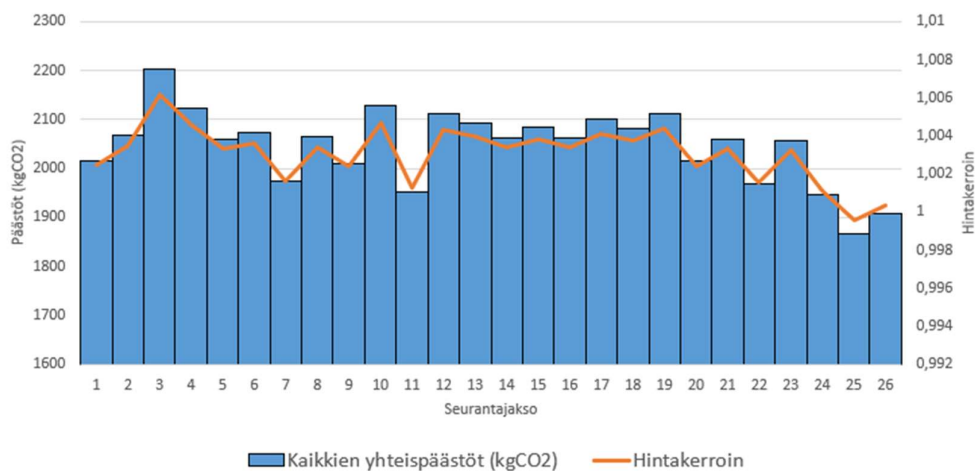
Tässä tapauksessa tarkastellaan, miltä näiden kolmen kuvitteellisen henkilön virtuaalivaluuttasaldot näyttäisivät 26 viikon mittaisella kokeilukaudella, kun päästökatto vaihtelee ryhmittäin. Simulaatiotyökalun sata kuvitteellista käyttäjää on jaettu eri päästöryhmiin ensimmäisen seurantajakson liikkumisdatan perusteella. Käyttäjät jaettiin kolmeen eri päästöluokkaan:

Vähäpäästoiset, joille tässä tapauksessa käytetään 260 kgCO₂ per henkilöä vuodessa eli viikon pituisen seurantajakson päästökatto on 5 kgCO₂ henkilöä kohden. Simulaatiotyökalun sadasta kuvitteellista henkilöstä kuusi kuuluu tähän ryhmään, joista yksi on henkilö 1.

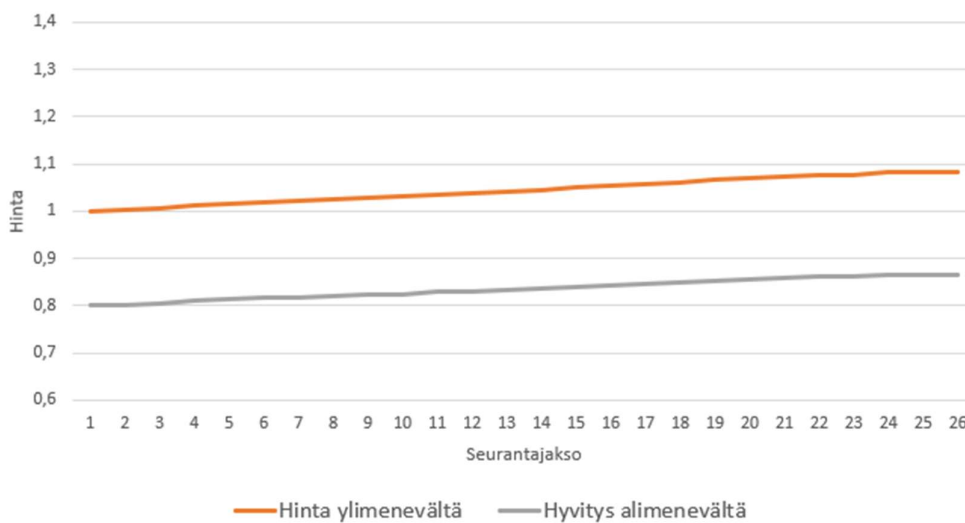
Keskipäästoiset, joille tässä tapauksessa käytetään 780 kgCO₂ per henkilöä vuodessa eli viikon pituisen seurantajakson päästökatto on 15 kgCO₂ henkilöä kohden. Simulaatiotyökalun sadasta kuvitteellista henkilöstä 64 kuuluu tähän ryhmään, joista yksi on henkilö 2.

Isopäästoiset, joille tässä tapauksessa käytetään 1560 kgCO₂ per henkilöä vuodessa eli viikon pituisen seurantajakson päästökatto on 30 kgCO₂ henkilöä kohden. Simulaatiotyökalun sadasta kuvitteellista henkilöstä 30 kuuluu tähän ryhmään, joista yksi on henkilö 3.

Kyseisillä valituilla raja-arvoilla ja käyttäjäjaoilla yhteiseksi päästökatoksi muodostui 1890 kgCO₂ per seurantajakso. Kokonaispäästöt tässä tapauksessa ylittävät kokonaispäästökaton jokaisella seurantakaudella yhtä lukuun ottamatta, kuten nähdään kuviosta 22, joten hintakerroin on yli yhden paitsi seurantajaksolla 25. Tästä johtuen päästökaton ylittävä hinta ja päästökaton alittava hyvityshinta on noususuuntainen kuvion 23 mukaisesti.



KUVIO 22. Kokonaispäästöt ja hintakerroin

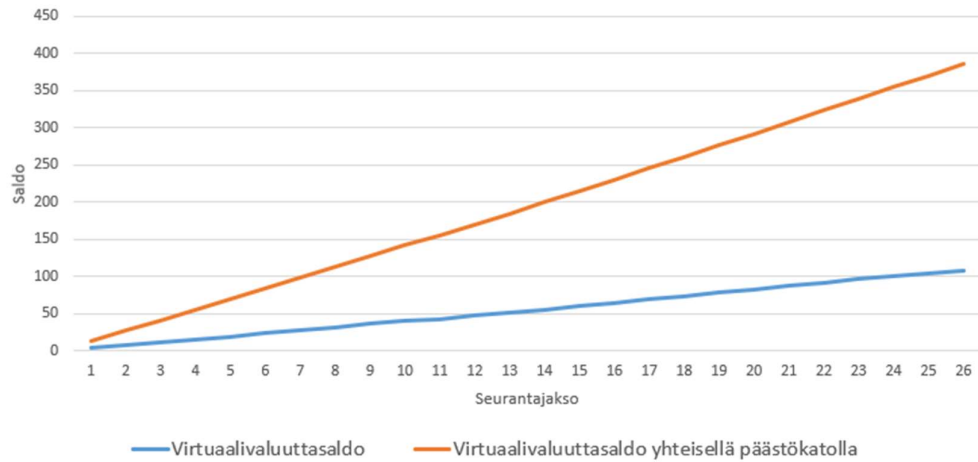


KUVIO 23. Hintakehitys

4.2.1 Henkilö 1

Henkilöiden liikkumisdatan ja laskennallisten päästöjen pysyessä samana päästökatoista riippumatta, keskitymme tässä skenaariossa siis ainoastaan

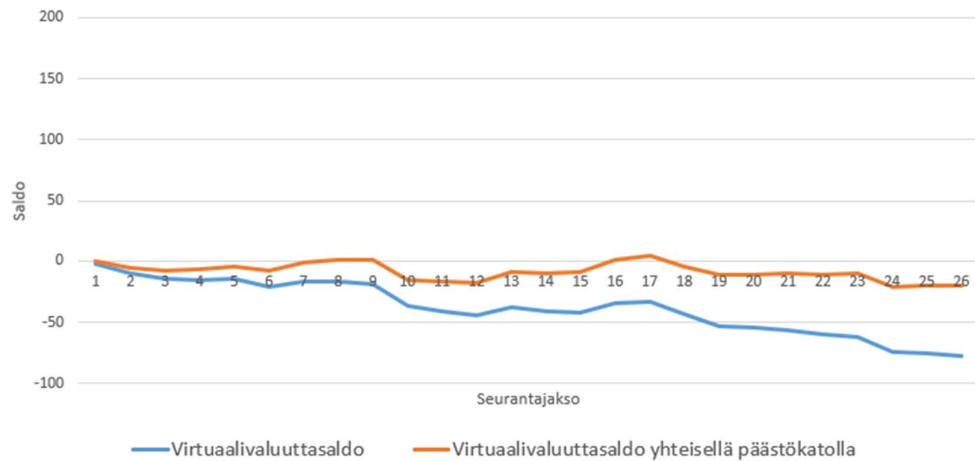
virtuaalivaluuttasaldoon. Kuviosta 24 näemme henkilölle ison eron virtuaalivaluuttasaldossa verrattuna yhteiseen päästökattotilanteeseen. Erot ovat lähemmäs kolmesataa.



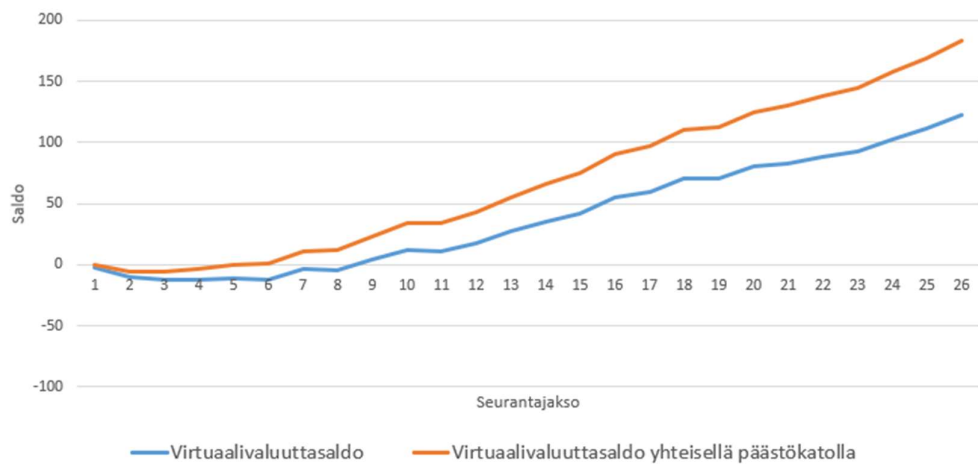
KUVIO 24. Virtuaalivaluuttasaldot

4.2.2 Henkilö 2

Henkilöllä 2 virtuaalivaluutan saldot eroavat päästökatoista riippuen eroavat noin 60:llä, kuten kuvioista 25 ja 26 nähdään. Vaihtelevalla päästökätolla ilman muutosta henkilön virtuaalivaluuttasaldo menee lähelle -80:tä, kun yhteisellä päästökätolla henkilön saldo on noin -20.



KUVIO 25. Virtuaalivaluuttasaldot

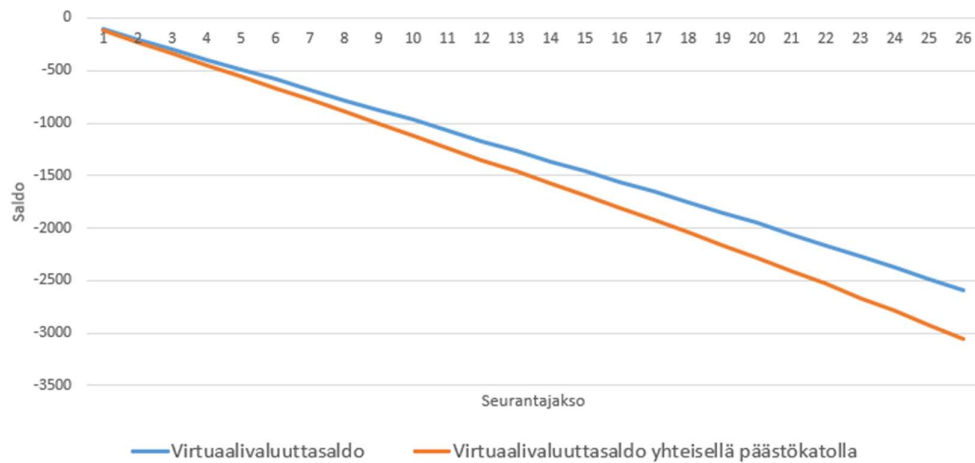


KUVIO 26. Virtuaalivaluuttasaldot liikkumismuotojen muutoksilla

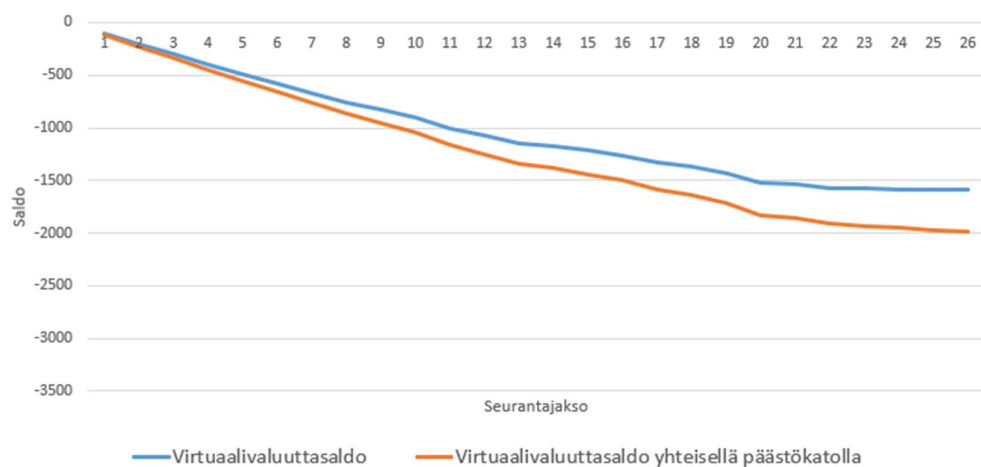
4.2.3 Henkilö 3

Henkilöllä 2 virtuaalivaluutan saldot eroavat päätökästä riippuen eroavat reilulla 400:lla, kuten kuvioista 27 ja 28 nähdään. Vaihtelevalla päätöksellä muutosskenaariossa henkilön virtuaalivaluuttasaldo menee

lähemmäs -1600:n, kun yhteisellä päästökätolla henkilön saldo on noin -2000 luokkaa. Henkilön suurista laskennallisista päästöistä johtuen henkilön tulisi tehdä vielä suurempia muutoksia liikkumistottumuksiinsa, jotta hän pääsisi hyötymään tässä skenaariossa hyödykkeistä.



KUVIO 27. Virtuaalivaluuttasaldot



KUVIO 28. Virtuaalivaluuttasaldot liikkumismuotojen muutoksilla

5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA YHTEENVETOA

Lahtelaisten päästöt ovat hyvin pieni osa koko maailman päästöistä ja vaikka koko Lahti lakkaisi muodostamasta päästöjä, se ei silti ilmastonmuutokseen suoranaisesti vaikuta. Tämä ei silti tarkoita, etteikö mahdolliset toimenpiteet olisi arvokkaita. Jos on valmiita toimenpiteitä ja hyväksihavaittuja toimintamalleja, niin ne auttavat myöhemmin päästövähennykseen herääviä. Myös tietoisuuden kasvulla saadaan muutosta ihmisten asenteisiin. Mitä enemmän ihmiset ovat kiinnostuneita asiasta, niin sitä todennäköisemmin uusia innovaatiotakin syntyy.

Vaikka lahtelaiset olisivat motivoituneita vähentämään päästöjään, kaupungin tulee mahdollistaa tätä. Riippuen kuinka hankalaa yksilölle on vähentää liikkumisesta aiheutuneita päästöjä tekemättä kohtuuttoman suuria muutoksia, vaikuttaa se todelliseen päästövähennykseen. Jos henkilö kokee julkisen liikenteen käytön toimimattomaksi tai kohtuuttoman vaivalloiseksi, täytyisi motivaation olla hyvin korkea tai hyödyn todella suuri, jotta henkilö sitä käyttäisi.

5.1 CitiCAP-päästökauppasäännöstön simulaatiotyökalu

Tässä kappaleessa kerrotaan simulointityökalua tehdessä esille tulleet johtopäätökset, huomiot ja haasteet kokeilua ajatellen. Työtä tehdessä *haasteina* esille tuli päästöoikeuksien jako. Jos kaikilla on yhtäläiset päästöoikeudet, niin virtuaalivaluuttasaldoissa on huomattavia eroja henkilöiden kesken. Jos valmiiksi pienipäästöisen henkilön virtuaalivaluuttasaldo kasvaa kovasti ilman minkäänlaisia päästövähennyksiä, tai isopäästöisen ihmisen pitäisi tehdä todella radikaaleja tekoja hyötyäkseen niistä, ei kannustin mekanismi ole toimiva kaikille. Jos on taas useampia päästökattoja, niin ongelmaksi tulee, miten ihmiset jaotellaan eri päästökattoihin. Haasteeksi tulee pohtia, minkä tekijöiden mukaan ihmiset jaoteltaisiin: asuinpaikan, iän, lasten lukumäärän, tulotason vai ammattikunnan tai nykyisen käyttäytymisen mukaan (tällöin ongelmana on se, miten mitataan lähtötaso mahdollisimman "hujausvapaasti"). Jos ihmiset jaotellaan eri

käyttäjryhmiin, joilla on omat päästökotot, niin jotkut ihmiset tulisivat aina sijoittumaan rajatapauksiksi. Tällöin he olisivat eri asemassa toisiinsa nähden. Miten siis toteutetaan reilu jako päästöluokkiin? Toisin sanoen, miten käyttäjille asetetaan oikeudenmukaiset päästökotot, jos huomioidaan eri tekijät. Miten motivoidaan isopäästöisiä henkilöitä, jotka ylittävät reilusti päästökotot ja virtuaalivaluuttasaldot menevät paljon miinukselle?

Miten työhön velvoittama liikkuminen rajataan pois? Esimerkiksi jos henkilö ajaa työkseen taksia, hänen työssä syntyneillä kilometreilla olisi iso vaikutus henkilön laskettavaan päästöihin, jollei niitä saada rajattua pois. Jos rajataan pois liikkumiskilometrejä tai päästöjä manuaalisesti tai muuten syöttämään tietoja manuaalisesti käyttäjän toimesta, niin haasteeksi tulee, voidaanko käyttäjän itse antamiin tietoihin luottaa. Miten saadaan minimoitua epärehellinen toiminta? On muutenkin haasteellista tehdä aukoton järjestelmä, jossa epärehellisyyden mahdollisuus olisi hyvin pieni. Mobiilikeräysapplikaatio tuo omat rajoitteensa. Kuinka luotettava käyttäjiltä kerätty liikkumisdata on, ja kuinka luotettavasti se tunnistaa eri liikkumismuodot. Koska kyseessä on mobiiliapplikaatio, edellyttää se myös, että käyttäjällä on mobiililaitte aina mukana. Kokeilun kannalta myös haasteena saada osallistuvat vastaamaan Lahden kaupungin läpileikkausta, ettei esimerkiksi jo päästökaupasta kiinnostuneista tule suhteellisen suuri edustusmäärä kokeiluun verrattuna Lahden todelliseen asukaskuntaan.

Päästöjen laskennassa käytettävä päästö määrä per kulkuneuvo, erityisesti yksityisautoilussa tuo haasteen. Kuinka todenmukaisiksi halutaan päästöt saada ja miten päästökauppa-applikaatiossa voidaan joko automaattisesti tai manuaalisesti määritellä auton tuottaman päästön tason. Myös autossa oleva henkilömäärä vaikuttaa päästöihin per henkilö kilometri. Koska on haasteellista tunnistaa automaattisesti, kuinka monta henkilöä autossa matkustaa, tulee käyttäjän syöttää henkilömäärä manuaalisesti tai laskennassa käyttää oletusarvoja.

Huomioina nousi esille vuodenaikojen ja säiden tuomat muutokset ihmisen hyötyliikkumiseen. Kuten valtakunnallisesen liikkumistutkimuksen datasta nähdään eri liikuntamuodoilla, on vaihtelua eri vuodenajoilla. Tämäkin asia vaikuttaa hankkeen päästökauppakokeiluun, ja tulee ottaa huomioon siinä saadussa datassa.

Huomiona myös, että on hyvä määritellä raja-arvoja esimerkiksi hintakertoimelle. Jos esimerkiksi lähtödataan tulee puutteita mobiilikeraäysaplikaation ongelmista johtuen, niin on hyvä olla määriteltynä maksimi ja minimi hintakertoimen muutokselle.

Kauppapaikan vaihdantatalouden perustuessa hyödykkeiden hankintaan varsinaisen vaihdantatalouden sijaan tulee esille siihen liittyvät huomiot. Eli ovatko tarjottavat hyödykkeet esimerkiksi lahjoituksia hankkeelle paikallisilta palveluntarjoajilta vai ostaako hanke hyödykkeet. Jos hanke ostaa hyödykkeet, joista käyttäjät käyvät kauppaa, on hyvä pitää mielessä hankkeen taloudelliset rajoitteet.

Esille tullessa *ideana* joukkoliikennepisteet voisivat perustua suhteelliseen liikkumismäärään, eli jos käyttäjä liikkuu seurantajakson aikana 10 kilometriä, mutta kaikki päästöjä muodostavat liikkumismuodot on toteutettu joukkoliikennettä käyttäen, saisi seurantajaksolta täydet joukkoliikennepisteet. Eli ei seurattaisi varsinaista kilometrimäärää vaan suhdelukua, kuinka paljon prosentuaalisesti käyttäjä liikkuu joukkoliikenteellä kaikista päästöjä aiheuttaneesta liikkumisesta.

Päästöoikeuksille vaihtoehtoinen toteutus voisi olla se, että vertailtaisiin liikennekäyttäytymistä ja päästöjä jokaisen käyttäjän omaan henkilökohtaiseen historiaan. Eli seurattaisiin tietty aika käyttäjän liikkumistottumuksia, jonka jälkeen päästökaupan alkaessa käyttäjä voisi kartuttaa virtuaalivaluuttasaldoaan vähentämällä omia päästöjään verrattuna omaan aikaisempaan päästöhistoriaan.

Lisäkannustimena voitaisi myös käyttää erilaisia jaksottaisia arvontoja. Esimerkiksi viikon päästövähentäjät, johon osallistuisivat automaattisesti

edellisen viikon kolmekymmentä eniten sillä viikolla päästöjään vähentänyttä henkilöä.

5.2 CitiCAP-päästökauppasimulaatio

Päästökauppasimulaatiossa kolmelle eri elämäntilanteessa oleville kuvitteellisille henkilöille tuli isoja eroja virtuaalivaluuttasaldoissa. Vaikka henkilö 3 teki suurimpia muutoksia liikkumistottumuksiinsa, henkilö 1 oli selvästi suurin hyötyjä. Päästökauppapaikassa, joka perustuu vapaaehtoisuuteen, on vaikea määrittää päästökattoa, jolla motivoitaisiin kaikkia. Tämä nähtiin henkilön 3 osalta, suurista laskennallisista päästöistä johtuen henkilön olisi pitänyt tehdä vielä suurempia muutoksia liikkumistottumuksiinsa, jotta hän olisi päässyt nauttimaan hyödykkeistä. Tai vastaavasti päästökattoa pitäisi säätää paljon korkeammalle. Päästökaupassa ei ole kuitenkaan järkeä, jos päästökatto asetetaan niin korkealle, että jokainen pääsisi hyötymään huolimatta suurista laskennallisista päästöistä. Tästä syystä hankkeen kannustavuuden pohjautuvassa kokeilussa olisi hyvä sisällyttää myös muita vaihtoehtoisia kannustimia ja motivaatitekijöitä. Näitä voisi olla tietoisuuden lisääminen, eli omaa tilastotietoa eri liikkumismuodoista ja kilometristä ja kuinka paljon ne tuottavat päästöjä ja mikä tämä verrattuna keskiarvo suomalaiseseen tai keskiarvo lahtelaiseen. Kuinka paljon viikon vähentäjä on pystynyt vähentämään päästöjään ja entä kokeiluun osallistuneiden kokonaispäästöt ja liikkumismuotojakaumat. Erilaiset lisäpalkinnot tai arvonnat viikon vähentäjien kesken tai viikon aktiiviset kuntoliikkujat ja julkisten kulkuneuvojen käyttäjät eikä pelkästään virtuaalivaluutan kautta hyötyminen. Kauppapaikka voisi kertoa faktatietoa lahtelaisten päästöjakaumista ja vaikutuksista terveyteen ja ilmanlaatuun. Mitä jos kaikki liikkuisivat kuten sinä ja tuottaisivat päästöjä kuten sinä, niin mitä Lahden ilmanlaatu olisi ja mitä se olisi tulevilla jälkipolvella.

Kauppapaikan tulisi olla kuitenkin käyttäjille ymmärrettävä ja selkeä, vaikka henkilökohtainen päästökauppa on monimutkaista ja siihen on hyvin paljon erinäisiä vaikuttavia asioita. Vaikka yksilöt loppupelissä

päättävät miten paljon liikkuvat ja millä liikkumismuodolla, voi yhteiskunta tukea tätä erilaisilla tavoilla. Joukkoliikennelinjoja voitaisiin kehittää tehokkaammin ihmisten todellisten kulkureitit huomioon ottaen. Eri tahot tälläkin hetkellä omistavat dataa ihmisten liikkumisesta esimerkiksi operaattorit ja eri mobiililaitteiden käyttöjärjestelmä- ja applikaatiovalmistajat. Myös tukemalla henkilöiden etätyömahdollisuuksia ja mahdollisia etätyöpisteitä, joissa voidaan silti olla osa konkreettista sosiaalista kanssakäymistä, voidaan vaikuttaa työmatkailusta aiheutuviin päästöihin.

LÄHTEET

Brohé, A. 2010. Personal carbon trading in the context of the EU Emissions Trading Scheme [viitattu 3.3.2019]. Saatavissa:

[https://www.geos.ed.ac.uk/~sallen/rachel/Climate%20Policy%20Special%20Issue/Brohe%20\(2010\).%20Personal%20carbon%20trading%20in%20the%20context%20of%20the%20EU%20Emissions%20Trading%20Scheme.pdf](https://www.geos.ed.ac.uk/~sallen/rachel/Climate%20Policy%20Special%20Issue/Brohe%20(2010).%20Personal%20carbon%20trading%20in%20the%20context%20of%20the%20EU%20Emissions%20Trading%20Scheme.pdf)

Capstick, S., Lewis, A. 2009. UK Energy Research Centre. Personal Carbon Allowances: A Pilot Simulation and Questionnaire [viitattu 16.10.2018]. Saatavissa:

<http://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/capstick09-pcasimulation.pdf>

CO2-raportti. 2018a. [viitattu 16.10.2018]. Saatavissa: http://www.co2-raportti.fi/iframe-kunnat/index.php?province_id=1&area_id=65

CO2-raportti. 2018b. [viitattu 16.10.2018]. Saatavissa: <http://www.co2-raportti.fi>

EU ETS. 2018. European Commission, Climate Action. The EU Emissions Trading System, EU ETS [viitattu 12.9.2018]. Saatavissa:

https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

Fawcett, T. 2012. Personal carbon trading: is now the right time? [viitattu 23.2.2019]. Saatavissa:

<https://www.flemingpolicycentre.org.uk/Fawcett2012.pdf>

Google Play. 2019. [applikaatiokauppa] [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa:

<https://play.google.com/store/apps>

Helsingin kaupunki. 2018. [verkkajulkaisu] Ilmanlaatuun vaikuttavat tekijät [viitattu 1.5.2018]. Saatavissa: <https://www.hel.fi/helsinki/fi/asuminen-ja-ymparisto/ymparistonsuojelu/ilmanlaatu-ja-melu/ilman/>

Hevner, A. & Chatterjee, S. 2010. Design Research in Information Systems. Integrated Series in Information Systems book series (ISIS, volume 22), 9-22.

Howell, R. 2012. Energy Policy 41 250–258. Living with a carbon allowance: the experiences of carbon rationing action groups and implications for policy [viitattu 23.2.2019]. Saatavissa:

<https://www.flemingpolicycentre.org.uk/HowellCRAGs.pdf>

Karbonautti™. 2018. [verkkajulkaisu] Toimintamalli [viitattu 13.4.2019].

Saatavissa: [https://www.karbonautti.com/our-](https://www.karbonautti.com/our-story?gclid=CjwKCAjwkcblBRB_EiwAFmfyy17jaBJBvST5CuPDxbZKYTsbteHrYLdM_KzPTdYM5jml5Uw63gqymRoCeCsQAvD_BwE)

[story?gclid=CjwKCAjwkcblBRB_EiwAFmfyy17jaBJBvST5CuPDxbZKYTsbteHrYLdM_KzPTdYM5jml5Uw63gqymRoCeCsQAvD_BwE](https://www.karbonautti.com/our-story?gclid=CjwKCAjwkcblBRB_EiwAFmfyy17jaBJBvST5CuPDxbZKYTsbteHrYLdM_KzPTdYM5jml5Uw63gqymRoCeCsQAvD_BwE)

Lahden kaupunki. 2018a. [verkkajulkaisu] CitiCAP – Älykkäitä liikkumisratkaisuja Lahdesta Eurooppaan [viitattu 19.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.lahti.fi/palvelut/luonto-ja-ymparisto/citicap>

Lahden kaupunki. 2018b. [verkkajulkaisu] Lahti polkenut Suomen pyöräilykaupunkien kärkijoukkoon [viitattu 19.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.lahti.fi/palvelut/luonto-ja-ymparisto/lahti-ymparistokaupunki/liikenne>

Lahden kaupunki. 2018c. [verkkajulkaisu] Kohti hiilineutraalisuutta [viitattu 19.9.2018]. Saatavissa: <https://www.lahti.fi/palvelut/luonto-ja-ymparisto/lahti-ymparistokaupunki/ilmasto>

Lahden kaupunki. 2018d. [verkkajulkaisu] Vahvojen tekojen ympäristökaupunki [viitattu 19.9.2018]. Saatavissa:

<https://www.lahti.fi/palvelut/luonto-ja-ymparisto/lahti-ymparistokaupunki/>

Lahden kaupunki. 2018e. [verkkajulkaisu] Vahvojen tekojen ympäristökaupunki [viitattu 14.4.2019]. Saatavissa:

<https://www.lahti.fi/ajankohtaista/uutiset/liikkumisen-hiilijalanjalki-esiin-sovelluksella>

Liikenne- ja viestintäministeriö, Liikennevirasto, Trafi, Ilmatieteen laitos.
2017. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt. [viitattu 20.9.2018] Saatavissa:
<http://liikennejarjestelma.fi/ymparisto/paastot-ilmaan/liikenteen-kasvihuonekaasupaastot/>

LUT. 2017. Artikkel. Lahdelle 4,7 miljoonaa euroa kaupunkilaisten
kestävään liikkumiseen [viitattu: 19.9.2018]. Saatavissa:
https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/lahdelle-4-7-miljoonaa-euroa-kaupunkilaisten-kestavaan-liikkumiseen

Moprim Oy. 2018. [verkkojulkaisu] Transport Mode Detection (TDM)
[viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: <https://www.moprim.com/products/>

Oroeco. 2015. [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: <https://www.oroeco.com/>

Parag, Y., Strickland, D. 2009. What people need to know, learn and have
in order to manage and live within a carbon budget, and the policies that
could support them. UKERC tutkimusraportti [viitattu 3.3.2019].

Saatavissa:

https://www.researchgate.net/publication/287332534_Personal_Carbon_Budgeting_What_people_need_to_know_learn_and_have_in_order_to_manage_and_live_within_a_carbon_budget_and_the_policies_that_could_support_them_UKERC_Research_Report_Demand_Reduction_The

Roberts, S., Thumim, J. 2006. A Rough Guide to Individual Carbon
Trading. The ideas, the issues and the next steps. Centre for Sustainable
Energy. Report of Defra (Department of Environment Food and Rural
Affairs) [viitattu 8.10.2018]. Saatavissa:

<https://www.teqs.net/RoughGuide.pdf>

Salo M., Nissinen A., Mattinen M., Manninen K., Dahlbo H., Judl J. 2019.
[verkkojulkaisu] Ilmastodieetti – mihin sen antamat

ilmastopainotperustuvat? [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa:

<https://ilmastodieetti.ymparisto.fi/ilmastodieetti/documentation/Laskentaperusteet.pdf>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. 2017, Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 8.10.2018].

Saantitapa: http://www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_kat_001_fi.html

Suomen ympäristökeskus. 2019. [verkkojulkaisu] Uudistunut Ilmastodieetti.fi-laskuri auttaa hiilijalanjäljen pienentämisessä [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uudistunut Ilmastodieettifilaskuri autta\(49850\)](https://www.syke.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uudistunut_Ilmastodieettifilaskuri_autta(49850))

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2017. LIPASTO yksikköpäästöt - tietokanta [viitattu 13.4.2019]. Saatavissa:

<http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/>

Tilastokeskus. 2008. [verkkojulkaisu] Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma [viitattu 1.5.2018]. Saatavissa:

https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0

Ympäristöministeriö: Ilmasto ja Il. ma [verkkojulkaisu]. 2018. Euroopan unionin ilmastopoliittikka [viitattu: 8.10.2018]. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/fi->

[FI/Ymparisto/Ilmasto ja ilma/Ilmastonmuutoksen hillitseminen/Euroopan unionin ilmastopoliittikka](http://www.ymparisto.fi/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopoliittikka)

YTV. 2000. Liikenteen jäljet [viitattu 1.5.2018]. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/2099/Liikenteen_jaljet.pdf

Webb G., Hendry A., Armstrong B., McDermott R., Swinburn B., Egger G., 2014. Exploring the Effects of Personal Carbon Trading (PCT) System on Carbon Emission and Health Issues: A Preliminary Study on the Norfolk Island [viitattu 24.2.2019]. Saatavissa:

[https://www.researchgate.net/publication/270019522 Exploring the Effects of Personal Carbon Trading PCT System on Carbon Emission and Health Issues A Preliminary Study on the Norfolk Island](https://www.researchgate.net/publication/270019522_Exploring_the_Effects_of_Personal_Carbon_Trading_PCT_System_on_Carbon_Emission_and_Health_Issues_A_Preliminary_Study_on_the_Norfolk_Island)

WSP Finland Oy. 2016. Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus. Tutkimustulokset taulukkomuotoon 27.1.2018 Pastinen V. muuttamina [viitattu 1.5.2018]. Saatavissa:

https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/439901/P%C3%A4ij%C3%A4t_H%C3%A4me_tulokset.xlsx/b6a875b7-9538-4c8b-9064-6f5b68efe230

Webb, G. 2018. Assessment of personal carbon goals for reducing obesity-related behaviour and carbon emissions in a remote island community: the Norfolk Island carbon and health evaluation study [viitattu 3.3.2019].

Saatavissa:

<https://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1628&context=theses>

LIITE 1.

Käsitelmäärittelyt

Hiilidioksidiekvivalentti	Suure, jota käytetään ilmastotieteessä kuvaamaan ihmisen tuottamien kasvihuonekaasujen ilmastovaikutuksia
LUT	Lappeenrannan ja Lahden teknillinen yliopisto
Päästökatto	Simulointityökalussa käytetty päästöoikeuden kattoarvo käyttäjän (tai käyttäjäryhmän) muodostaneille hiilidioksidipäästöille
Päästöoikeus	Päästökauppaan osallistuville oikeutettu hiilidioksidipäästö määrä
Seurantajakso	Seurantakausi jaetaan seurantajaksoiksi
Seurantakausi	Koko kokeilun kesto, jolloin käyttäjiltä kerätään liikkumisdataa
Virtuaalivaluutta	Työssä käytetty määre osoittamaan kokeilussa kerättyä arvoa, jolla voidaan käydä vaihtokauppaa hyödykkeistä
Virtuaalivaluuttasaldo	Kauppapaikan virtuaalivaluutan kertymä