

SÄHKÖAUTOJEN DIFFUUSIO SUOMESSA

**Jyväskylän yliopisto
Kauppakorkeakoulu**

Pro gradu -tutkielma

2021

**Tekijä: Samuel Kröger
Oppiaine: Taloustiede
Ohjaaja: Jaakko Pehkonen**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

TIIVISTELMÄ

Tekijä Samuel Kröger	
Työn nimi Sähköautojen diffuusio Suomessa	
Oppiaine Taloustiede	Työn laji Pro gradu -tutkielma
Aika (pvm.) 30.05.2021	Sivumäärä 32 + liitteet
<p>Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä pyritään vähentämään Suomessa ja muualla maailmassa. Polttomootoriautoja vähäpäästöisemmät sähköautot tarjoavat mahdollisuuden päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi. Suomessa on pyritty tukemaan liikenteen sähköistymistä päästöperusteisella verotuksella, laajentamalla latauspisteinfrastruktuuria ja taloudellisin kannustimin.</p> <p>Tässä tutkimuksessa tarkastellaan liikenteen sähköistymistä innovaatioiden diffuusioteorian näkökulmasta. Tutkimuksen empiiristä osuutta varten on kerätty kunnittainen aineisto Suomesta vuosilta 2015–2017. Tutkimuksessa käytettiin logistista regressiota sekä lineaarista pienimmän neliösumman menetelmää. Havaittiin että julkisten latauspisteiden määrällä oli positiivinen vaikutus sähköautojen markkinaosuuteen. Tämä yhteys havaittiin sekä täyssähköautoille että ladattaville hybrideille. Havainnot olivat yhteneviä aiemman kirjallisuuden kanssa.</p>	
Asiasanat Sähköautot, markkinaosuus, innovaatioiden diffuusio	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopiston kirjasto	

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Yleistä	6
1.2	Sähköautojen diffuusio Suomessa ja muissa pohjoismaissa	8
2	TEORIA.....	12
2.1	Innovaatioiden diffuusioteoria	12
2.2	Kuluttajan valinta	14
2.3	Liikenteen verotus Suomessa.....	16
2.4	Aiheen aikaisempaa kirjallisuutta.....	17
3	AINEISTO JA MENETELMÄ.....	21
3.1	Aineisto	21
3.2	Menetelmä	23
4	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	24
4.1	Tulokset.....	24
4.2	Rajoitukset	27
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	29
	LÄHTEET	30
	LIITE 1 - AUTOILUN VEROTUS	33

TAULUKOT

Taulukko 1 - Keskeisiä tutkimuksia	20
Taulukko 2 - Muuttujien tunnuslukuja	24
Taulukko 3 - Logistinen regressio täyssähköautoille	25
Taulukko 4 - Lineaarinen regressio täyssähköautoille	25
Taulukko 5 - Logistinen regressio ladattaville hybrideille	26
Taulukko 6 - Lineaarinen regressio ladattaville hybrideille.....	26
Taulukko 7 - Ajoneuvovero	33
Taulukko 8 - Käyttövoimaverot.....	33

KUVIOT

Kuvio 1 - Täyssähköautojen markkinaosuus Suomessa kuukausittain 01/2014-05/2018 (Trafi tilastotietokanta)	10
Kuvio 2 - Ladattavien hybridien markkinaosuus kuukausittain Suomessa 01/2014-05/2018 (Trafi tilastotietokanta).....	11
Kuvio 3 - Diffuusion eteneminen ajassa	13
Kuvio 4 - Sähköautojen markkinaosuus ja latauspisteiden määrä.....	22
Kuvio 5 - Sähköautojen markkinaosuus ja tulot.....	22
Kuvio 6 - Sähköautojen markkinaosuus ja korkeakoulutus	23

1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on tarkastella liikenteen sähköistymistä ja selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat sähköautojen markkinaosuuteen Suomessa. Markkinaosuudella tarkoitetaan osuutta uusien autojen ensirekisteröineistä. Sähköautojen diffuusiota on tutkittu teknologian uutuuden huomioon ottaen paljon, mutta suurin osa aiemmista empiirisistä tutkimuksista ovat olleet poikkileikkausaineistoja (yhdelta vuodelta mutta mahdollisesti useammasta maasta). Tämän lisäksi vastaavaa tutkimusta ei ole tehty Suomesta. Tutkielmassa tullaan selvittämään, mitkä tekijät vaikuttavat sähköautojen markkinaosuuteen Suomessa ja kuinka voimakkaita nämä vaikutukset ovat. Suurimman kiinnostuksen kohteena on latausverkoston vaikutus sähköautojen yleistymiseen, mutta tutkimuksessa tarkastellaan myös sosio-ekonomisten tekijöiden vaikutusta. Useat aiheita käsittelevät tutkimukset ovat käyttäneet aineistonaan poikkileikkausaineistoa. Tutkimusta varten on kerätty aikasarja-aineisto. Seuraavaksi taustoitetaan aiheita, ja sitä miksi se on kiinnostava.

Viime vuosina useat maat ovat toimeenpanneet politiikkatoimenpiteitä, joiden tavoitteena on vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöt vähenevät vähäpäästöisten ajoneuvojen markkinaosuuden kasvaessa. Poliitiikkatoimenpiteitä, joita valtiot ovat toimeenpanneet ovat olleet muun muassa päästöperustainen verotus sekä muut verohelpotukset vähäpäästöisille ajoneuvoille, rahalliset ja ei-rahalliset kannustimet vaihtoehtoisia käyttövoimia käyttäville ajoneuvoille ja tuet tämänkaltaisten ajoneuvojen vaatimalle infrastruktuurille, kuten sähköautojen latauspisteille. (EAFO).

Myös Suomi tavoittelee suuria vähennyksiä liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin. Suomen hallituksen hyväksymän energia ja ilmastostrategian tavoitteena on vähentää liikenteen päästöjä vuoden 2005 tasosta 50 % vuoteen 2030 mennessä. Noin 90 % kaikista liikenteen päästöistä syntyy tieliikenteestä. Lyhyellä aikavälillä nopein keino päästöjen vähentämiseksi on liikenteen nykyisten

polttoaineiden (kuten dieselin ja bensiinin) korvaaminen uusiutuvilla tai nykyistä vähäpäästöisimmillä polttoaineilla tai käyttövoimilla (kuten sähköllä tai kaasulla). (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016). Energia- ja ilmastostrategiassa nimetäänkin vuoden 2030 tavoitteeksi vähintään 250 000 sähkökäyttöistä autoa (täyssähköautot, vetyautot ja ladattavat hybridit) ja 50 000 kaasukäyttöistä autoa Suomen liikenteessä (Valtioneuvosto 2017). Sähköautot ovat tällä hetkellä kaikkein houkuttelevin vaihtoehto, sillä ne vähentävät kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi energiankulutusta, koska sähköautojen hyötysuhde on 50–70 % kun perinteiset polttomoottoriautot saavuttavat maksimissaan 25 % hyötysuhteen (Työ- ja elinkeinoministeriö 2016). Hyötysuhteella tarkoitetaan sitä, kuinka suuri osuus järjestelmään syötetystä energiasta voidaan hyödyntää varsinaista tarkoitusta kohden. Vaihtoehtoisista polttoaineista sähkökäyttöiset ajoneuvot ovat selkeästi suosituin kategoria, joskin myös muiden käyttövoimien ensirekisteröinnit ovat kasvaneet vuosittain. (Trafi tilastotietokanta).

Valtio on koittanut edistää sähköautojen diffuusiota mm. päästöperustaisella verotuksella. Mitä korkeammat ajoneuvon päästöt ovat, sitä suuremman määrän veroja siitä joutuu maksamaan. Suomessa autoilusta maksetaan veroja autoveron, ajoneuvoveron ja polttoaineveron muodossa. Autovero on kertaluonteinen, rekisteröinnin yhteydessä maksettava vero. Ajoneuvovero maksetaan vuosittain ajoneuvon käytöstä. Edellä mainitut verot ovat auton hankintaan ja omistamiseen perustuvia, polttoainevero taas on auton käyttöön perustuva, ajetuista kilometreistä ja polttoaineen kulutuksesta riippuva vero. Valtio voi vaikuttaa polttoaineen hintaan polttoaineveron suuruutta muuttamalla. Esimerkiksi Verboven ym. (2017) havaitsivat tutkimuksessaan polttoaineveron vähentävän päästöjä tehokkaammin kuin päästöperustainen autovero. Suomessa polttoaineveroa kannetaan moottoribensiinistä ja dieselöljystä. Muista kuin bensiiniä käyttäviin autoihin Suomessa on pyritty vähentämään liikenteen päästöjä myös vähäpäästöisten autojen hankinnasta maksettavilla palkkioilla: romutuspalkkiolla ja sähköauton hankintatuella. Suomessa romutuspalkkiota kokeiltiin vuoden 2015 ajan, jolloin uuden, vähäpäästöisen auton (hiilidioksidipäästöt alle 120 g/km) hankkija sai 1500 euron tuen, jos vei samalla yli 10 vuotta vanhan auton romutettavaksi. Romutuspalkkio tuli jälleen voimaan 8 kuukauden ajaksi vuoden 2018 alusta. Samaan aikaan astui voimaan määräaikainen sähköautojen hankintatuki, jonka perusteella alle 50 000 euroa maksavan täyssähköauton hankkija voi saada 2000 euron hankintatuen valtiolta. Valtio on sitoutunut myös sähköautoille olennaisten latauspisteiden rakentamiseen. Niin kutsuttu Lataus-tuki on voimassa vuosina 2017–2019, ja sen perusteella yritys saa tukea julkisen latauspisteen rakentamiseen.

1.2 Sähköautojen diffuusio Suomessa ja muissa pohjoismaissa

Tässä kappaleessa tarkastellaan valtioiden toimeenpanemia tukitoimia ja sähköautojen diffuusiota Pohjoismaissa. Kappaleen tarkoituksena on luoda yleiskuva siitä, miten sähköautojen markkinaosuus on kehittynyt Pohjoismaissa viime vuosina ja verrata sitä Suomeen. Pohjoismaihin vertailu on mielekästä, sillä maat ja niiden väestö ovat melko samankaltaisia, esimerkiksi tulotasoltaan ja koulutukseltaan.

Sähköautojen vuosittainen markkinaosuus on kasvanut neljässä viidestä tarkasteltavasta maasta vuodesta 2013 lähtien. Ainoa poikkeus on Tanska, jossa sähköautojen markkinaosuus laski vuosina 2016 ja 2017. Täyssähköautojen markkinaosuus on ollut kasvamaan päin, lukuun ottamatta vuotta 2016, jolloin se laski jokaisessa Pohjoismaassa. Kun tarkastellaan kaikkia pohjoismaita yhteensä, sähköautojen osuus uusista autoista on hieman yli 10 %.

Kaikissa Pohjoismaissa sähköautojen hankintaa ja käyttöä tuetaan päästöperustaisella verotuksella. Verohelpotusten suuruus vaihtelee, esimerkiksi Norjassa sähköautot ovat kokonaan vapautettuja autoverosta, kun Suomessa ja Ruotsissa sähköautoista maksetaan veroa vain pienempi osuus kuin polttomoottoriautoista. (EL-TRAN 5/2018).

Pohjoismaissa diffuusio on edennyt pisimmälle Norjassa, vuonna 2017 yli joka kolmas myyty auto oli sähköauto. Täyssähköautojen myynti kattaa kaikista myydyistä sähköautoista yli puolet. Norja tavoittelee maista myös kaikista suurimpia päästövähennyksiä, ja siellä onkin Pohjoismaiden suurimmat taloudelliset tuet sähköautojen hankintaan. Sähköautot ovat kokonaan vapautettuja autoverosta ja arvonlisäverosta, jonka lisäksi sähköautojen käyttövero on alhaisempi kuin polttomoottoriautoilla. Norjassa sähköauton hankinta saattaa olla kannustimet huomioon ottaen jopa edullisempi kuin vastaava polttomoottoriauto. (IEA 2018). Norjassa sähköautoja tuetaan myös ei-rahallisin kannustimin, esimerkiksi sähköauton pysäköinti on ilmaista, ja sähköautolla saa ajaa julkisen liikenteen kaistoilla. Korkeiden polttoaineverojen johdosta sähköauton käyttö on halpaa suhteessa polttomoottoriautoon. (EL-TRAN 5/2018).

Ruotsissa noin 6 % kaikista uusista automyyneistä oli sähköautoja vuonna 2017. Näistä noin joka viides oli täyssähköauto, ja loput ladattavia hybridejä. (IEA 2018). Ruotsissa sähköautojen hankintaa tuetaan noin 4500 euron suuruisella hankintatuella, jonka lisäksi sähköautojen hankintaveron on pienempi kuin polttomoottoriautojen. Vähäpäästöisten ajoneuvojen, joihin sähköautot luonnollisesti kuuluvat, hankintaa tuetaan maksimissaan 6700 euron suuruisella hankintatuella. Sähköautoiluun kannustetaan myös tukemalla kotilatauspisteiden hankintaa, ja myös Ruotsissa joissain kaupungeissa sähköautolla saa pysäköidä ilmaiseksi. (EL-TRAN 5/2018).

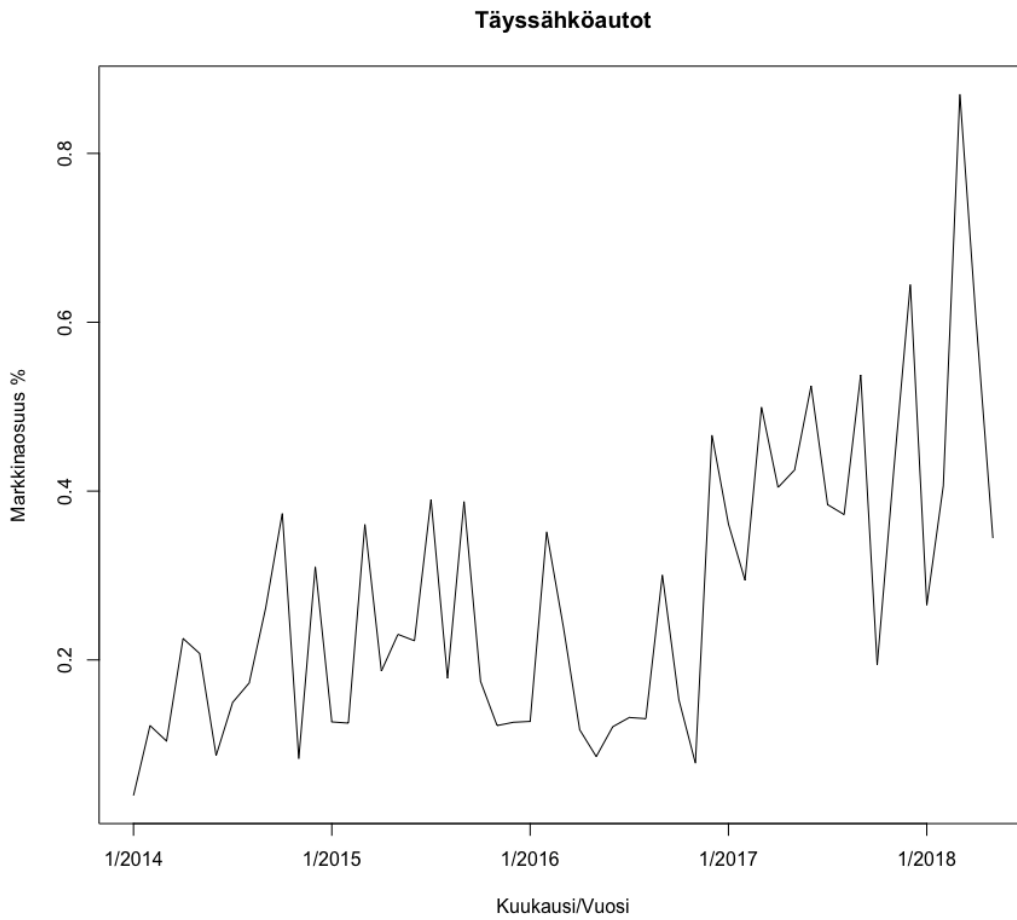
Tanskassa sähköautojen markkinaosuus oli vuonna 2017 noin 0,5 %, joka tekee siitä ainoan Pohjoismaan, jossa sähköautojen markkinaosuus on pienempi kuin Suomessa. (IEA 2018). Näin on ollut vuodesta 2016 saakka, jolloin sähköautojen hankintatukia leikattiin. Tanska on Norjan ohella ainoa Pohjoismaa, jossa

täyssähköautoja myydään enemmän kuin ladattavia hybridejä. Tanskassa tuetaan kotiin asennettavia latauspisteiden rakentamista rahallisilla tuilla, mutta julkisille latauspisteille ei ole tukia. (EL-TRAN 5/2018).

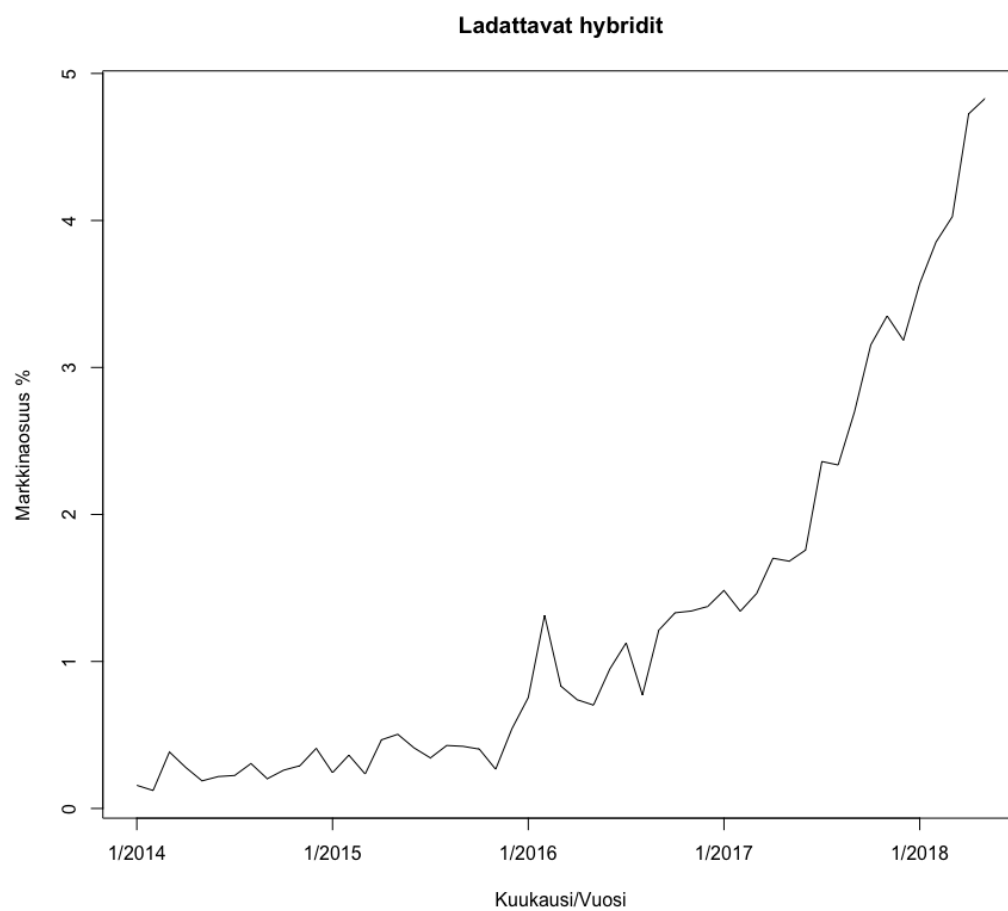
Suhteessa muihin Pohjoismaihin Suomi on diffuusiossa Ruotsia ja Norjaa jäljessä, mutta Tanskaa edellä. Vuonna 2017 sähköautojen markkinaosuus oli noin 2,5 %, joista täyssähköautoja oli noin 16 % (IEA 2018). Sähköautoilua tuet Suomessa ovat pienemmät kuin muissa Pohjoismaissa, esimerkiksi kotilataustukea ei ole lainkaan ja vuonna 2018 alkaneen sähköauton hankintatuen määrä on pienempi kuin Ruotsin ja Norjan vastaavat tuet. Toisaalta Suomi tukee julkisen latauspisteverkoston lataamista kattamalla osan latauspisteen rakentamisen kustannuksista, toisin kuin Ruotsi ja Tanska. Vuoden 2017 lopussa Suomessa oli 1449 täyssähköautoa (noin 0,05 % kaikista henkilöautoista) ja 5733 ladattavaa hybridiä (n. 0,2 %). Sähköautojen markkinaosuus on kuitenkin ollut kasvamaan päin, kuvat 1 ja 2 kuvaavat tätä kehitystä. Vuoden 2017 jälkeen sähköautojen markkinaosuudet ovat kasvaneet ja erityisesti ladattavien hybridien diffuusio näyttää läheneen vauhtiin. Täyssähköautojen markkinaosuudessa esiintyy huomattavaa kausittaista vaihtelua, mutta kokonaisuudessaan trendi on ollut nouseva.

Luvussa 2 tarkastellaan aiheen teoriaa ja aiheen aikaisempaa tutkimusta, luvussa 3 esitellään aineisto ja luvussa 4 käydään läpi tuloksia.

Kuvio 1 - Täyssähköautojen markkinaosuus Suomessa kuukausittain 01/2014-05/2018
(Trafi tilastotietokanta)



Kuvio 2 - Ladattavien hybridien markkinaosuus kuukausittain Suomessa 01/2014-05/2018
(Trafi tilastotietokanta)



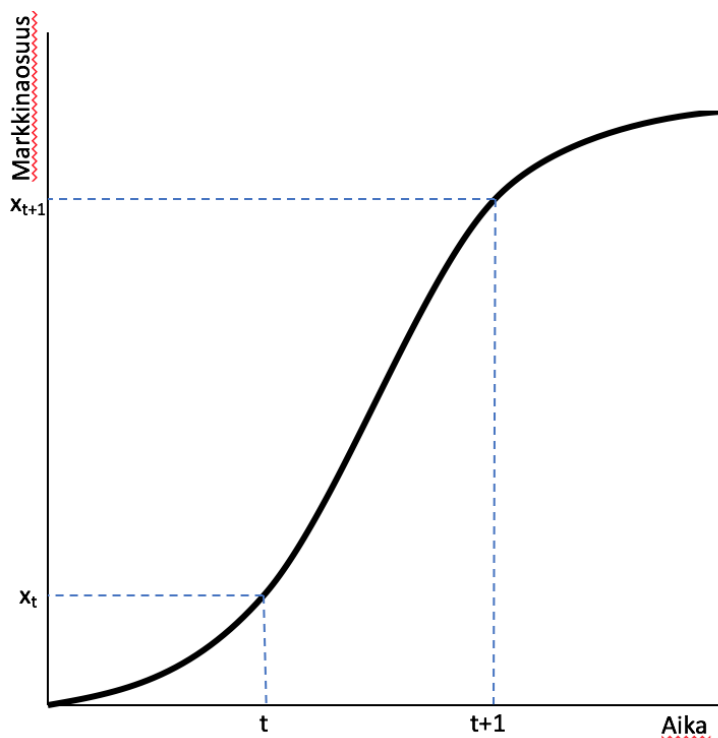
2 TEORIA

2.1 Innovaatioiden diffuusioteoria

Diffuusio on teknologisen kehityksen kolmas ja viimeinen vaihe, jonka Stoneman ja Diederer (1994) määrittelevät uuden teknologian leviämiseksi sen potentiaalisille markkinoille. Diffuusiota edeltää idean tai tuotteen kehitys ja niiden kehittäminen käyttökelpoiseksi tuotteeksi. Adoptiolla tai *omaksumisella* tarkoitetaan taas yksilön päätöstä omaksua uusi teknologia. Diffuusio ja omaksuminen ovat siis toisiinsa kytköksissä olevia termejä, yksilöiden omaksumispäätökset johtavat teknologian diffuusioon markkinoilla. Peres ym. (2010) korostavat tutkimuksessaan sosiaalisten vaikutteiden roolia uuden teknologian diffuusiossa.

Diffuusioaste voidaan määritellä siksi osuudeksi, joka on omaksunut teknologian kaikista potentiaalisista käyttäjistä, *omaksumisaste* taas on se osuus, joka omaksuu teknologian ajan hetkellä t . Kuviossa 3 on piirretty diffuusiopolku aikaa vastaan, niin että diffuusio noudattaa sille tyypillistä S-käyrää. Diffuusioaste kahdella eri ajanhetkellä näkyy y -akselilla ja omaksumisasteet hetkillä t ja $t+1$ on käyrän kulmakerroin kullakin ajanhetkellä.

Kuvio 3 – Diffuusion eteneminen ajassa



Rogers (1995) määrittelee yhdessä tutkimusalan merkittävimmässä teoksessa diffuusion siksi prosessiksi, jossa innovaatio leviää yli ajan sosiaalisissa systeemeissä. Rogersin (1995) määritelmä on melko abstrakti, ja vaikka Stonemanin ja Diederenin (1994) määritelmä soveltuukin taloustieteelliseen tutkimukseen paremmin, on Rogersin (1995) teoksessa tunnistettu yleisellä tasolla hyödyllisiä diffuusion ominaispiirteitä. Hän tunnistaa uuden tuotteen omaksumisasteeseen vaikuttaviksi tekijöiksi sen suhteellisen edun, yhteensopivuuden, monimutkaisuuden, testattavuuden ja havaittavuuden. Sähköautojen tapauksessa mahdollinen suhteellinen etu syntyy mahdollisten pienempien käyttökustannusten ja käytettävyyden myötä ja yhteensopivuus määrittyy tarvittavan infrastruktuurin olemassaolon perusteella. Monimutkaisuuteen vaikuttaa se, kuinka hankalaksi sähköauton uuden teknologian ymmärtäminen ja käyttö koetaan. Testattavuus kasvaa sen myötä, mitä enemmän mahdollisuuksia kuluttajalla on kokeilla uutta teknologiaa, ja havaittavuus on sitä suurempaa, mitä selkeämmin sähköauton omaksumispäätöksen tulemat, kuten rahallinen säästö, ovat näkyvillä toisille potentiaalisille omaksujille. Egbue ja Long (2012) havaitsivat, että kuluttajilla ei ollut selkeää kuvaa sähköautojen käyttökustannuksista tai ympäristöystävällisyydestä.

Aikaisemmassa diffuusiota käsittelevässä kirjallisuudessa on yritetty etsiä perusteita julkisen vallan interventioille, tarkasteltu minkälaisilla politiikkatoimenpiteillä voidaan vaikuttaa diffuusioon ja yritetty arvioida näiden politiikkatoimenpiteiden vaikutuksia. (Stoneman & Diederin 1994, Jaffe & Stavins 1994). Stoneman ja Diederin (1994) määrittelevät *yhteiskunnallisesti optimaalisen dif-*

fuusiopolun sellaiseksi, joka maksimoi yhteiskunnallisten hyötyjen ja haittojen nykyarvon kullakin ajan hetkellä. Yksilön omaksumispäätöstä tarkasteltaessa oletetaan, että yksilö toimii rationaalisesti, eli hän omaksuu uuden teknologian, jos tämän tekeminen tuottaa hänelle enemmän hyötyä kuin kaikki muut vaihtoehdot. Omaksumisaste hetkellä t voi siis olla liian nopeaa tai liian hidasta yhteiskunnallisesta näkökulmasta. Tämän työn kannalta on kenties olennaisempaa keskittyä tilanteeseen, jossa diffuusio ei tapahdu tarpeeksi nopeasti yhteiskunnallisesta näkökulmasta, sillä valtio tukee diffuusiota juuri tämän tilanteen vuoksi. Optimaalisen diffuusiopolun muoto riippuu sekä teknologian tason, että sen hinnan kehityksestä. Omaksumisastetta pidetään liian hitaana, jos teknologian omaksuvan rajakuluttajan yhteiskunnalle tuottaman rajahyödyn nykyarvo on positiivinen, ja liian nopeana jos rajakuluttajan omaksumispäätös tuottaa yhteiskunnalle haittaa. Havainnollistetaan tätä vielä esimerkillä: Omaksumisaste on liian korkea, jos rajakuluttaja omaksuu teknologian hetkellä t , vaikka yhteiskunnallisesti olisi kannattavampaa, jos hän omaksuisi sen myöhemmällä ajanhetkellä, jolloin teknologia on kehittyneempää ja/tai halvempaa. Omaksumisaste on liian matala, jos teknologian omaksumisen hetkellä t nykyarvo ylittää sen omaksumisen hetkellä $t+1$ nykyarvon.

2.2 Kuluttajan valinta

Tämän kappaleen tarkoituksena on tunnistaa kuluttajan autonvalintaan vaikuttavia tekijöitä ja parametrejä, jotka muuttavat näiden vaikutuksien voimakkuuksia.

Auton valintaa voidaan mallintaa kuluttajan hyödyn maksimointi ongelmana, jossa rajoitteena toimii budjettirajoite. Ottamatta kantaa kuluttajien preferensseihin, kuluttajan hyödyn voidaan olettaa riippuvan seuraavista tekijöistä.

$$U(x,k,\text{discount rate, informaatio}) \text{ s.t. } (I \geq px),$$

jossa x =vektori tuotteista, k =vektori tuotteiden käyttökustannuksista, p =vektori tuotteiden hinnoista.

Yksilön omaksumispäätöstä tarkasteltaessa päätös riippuu sen, saako kuluttaja teknologian omaksumisesta hyötyä suhteessa muihin vaihtoehtoihin lisäksi siitä, saisiko kuluttaja enemmän hyötyä omaksumalla teknologian vasta tulevaisuudessa. Stoneman ja Diederer (1994) nimeävät nämä ehdot hyöty- ja arbitraasiehdoksi. Ireland ja Stoneman (1986) argumentoivat, että jos teknologian laatuun suhteutettu hinta laskee ajassa, arbitraasiehto on näistä merkittävämpi. Arbitraasiehdon merkki, eli se onko kannattavampaa omaksua nyt vai joskus tulevaisuudessa, riippuu luonnollisesti odotuksista siitä, minkälainen teknologian taso on tulevaisuudessa. Jos nämä odotukset ovat liian optimistisia (pessimistisiä), eli teknologian todellinen kehitys on hitaampaa (nopeampaa) kuin odotettu

kehitys, diffuusio tapahtuu yhteiskunnallisesta näkökulmasta liian hitaasti (nopeasti). (Stoneman & Diederer 1994).

Kuluttajien diskonttokorolla on merkittävä rooli auton valintapäätöksessä. Sähköautot ovat Suomessa kalliimpia kuin fossiilisilla polttoaineilla käyvät vastineensa. Tätä hintaeroa tasapainottaa kuitenkin se, että niiden käyttäminen on halvempaa, edullisemman verotuksen ja pienempien polttoainekulujen vuoksi. Käytöstä saatavat säästöt realisoituvat kuitenkin vasta myöhemmällä ajanhetkellä, kun taas kalliimpi hankintahinta maksetaan heti. Valinta riippuu siis hinnan ja käyttökustannusten lisäksi siitä, kuinka paljon tulevaisuuden säästöjä arvostetaan. Tätä arvostusta mallinnetaan diskonttokorolla δ . Kun $\delta=1$, kuluttaja on indifferentti sen suhteen, milloin hän saa tai menettää rahaa. Kun $\delta=0$, vain nykyhetkellä on väliä. Kumpikaan ääriarvoista ei ole kovin realistinen, vaan todellisuudessa δ on jokin luku välillä $[0,1]$.

Diskonttokorko muodostuu kuluttajien aikapreferensseistä, eli siitä kuinka paljon myöhemmällä periodilla saatava säästö menettää arvoaan kuluttajien silmissä. Aika-preferenssit ovat kuluttajien välillä vaihtelevia, sisäisiä tekijöitä, joihin valtio ei pysty vaikuttamaan. Optimaalinen adoptiohetki saavutetaan, kun odottamisen vaihtoehtoiskustannus, eli pienemmistä käyttökustannuksista saatava etu, ylittää odottamisen hyödyn, eli mahdollisuuden omaksua teknologia myöhemmin halvemmalla hinnalla.

Sähköautoilla on verkostohyödykkeen ominaisuuksia, sillä niiden tuottama hyöty voi kasvaa käyttäjämäärän kasvun myötä. Voidaan argumentoida, että yksilön sähköautosta saama hyöty riippuu positiivisesti siitä, kuinka paljon niitä on liikenteessä ylipäätään. Informaatiota leviää aikaisemmilta omaksujilta myöhemmille, jolloin heidän kysyntänsä saattaa kasvaa. Yritysten kannattaa rakentaa useampia latauspisteitä, kun käyttäjien määrä kasvaa. Diffuusion alussa huoltamoita, jotka huoltavat myös sähköautoja on todennäköisesti vähän, mutta kun huoltoa vaativien autojen määrä kasvaa, yhä useampi huoltamo alkaa tarjota huoltoa myös sähköautoille. Kun sähköautojen kysyntä kasvaa, tuottajat pääsevät nauttimaan mittakaavaeduista, jolloin autojen laatuun suhteutettu hinta laskee. Tuottajat pystyvät myös sijoittamaan tuottoja edelleen tuotekehitykseen, jolloin tulevaisuudessa markkinoille tarjotaan yhä parempia autoja. Sähköautoja valmistavat yritykset saavat arvokasta informaatiota sähköauton ostaneilta, siitä millaisia ominaisuuksia kuluttajat arvostavat. Kaikki tämä johtaa siihen, että myöhäisemmät omaksujat saavat nauttia aikaisten omaksujien luomista positiivisista ulkoisvaikutuksista. Katz ja Shapiro (1985) argumentoivat että jos verkostohyödykkeen hankintaa ei tueta, diffuusio tapahtuu yhteiskunnallisesta näkökulmasta liian hitaasti, tai se ei ala ollenkaan.

Merkittävin perustelu sille, miksi julkisen vallan tulisi vaikuttaa innovaatioiden diffuusioon on sellaisten ulkoisvaikutusten olemassaolo, joita kuluttajat eivät ota huomioon omaksumispäätöksessään. Sähkökäyttöisten ajoneuvojen tapauksessa voidaan argumentoida, että teknologian omaksuminen tuottaa positiivisen ulkoisvaikutuksen yhteiskunnalle sen päästöjä vähentävän vaikutuksen myötä. On todennäköistä, että kuluttajien arvostus päästöjen vähenemiselle on

pienempi kuin yhteiskunnalle, sillä yksilöllä on rajallinen vaikutus ilmastoon, joka riippuu pääasiassa muiden kuluttajien päätöksistä. Aikaisemmat tutkimukset osoittavat, että kuluttajat arvostavat enemmän vähäpäästöisyyden kanssa käsi kädessä kulkevaa pienempää kulutusta.

2.3 Liikenteen verotus Suomessa

Valtio voi vaikuttaa liikenteen päästöihin ja sähköautojen kysyntään verotuksen keinoin. Verot vaikuttavat sähköautojen kysyntään, sillä niiden avulla voidaan muokata sekä sähköauton hankinta- että käyttökustannuksia. Kuten edellisessä kappaleessa havaittiin, vaikutusten voimakkuus riippuu kuluttajien diskonttorokosta. Suomessa autoilusta kannetaan veroja ensirekisteröinnin yhteydessä (autovero), vuosittain käyttöoikeudesta (ajoneuvovero ja käyttövoimavero) sekä käytöstä, polttoaineverojen muodossa. Vuosien 2015–2017 aikana jokaisessa näistä veroista on tapahtunut ainakin yksi muutos. Muutosten tavoitteena on ollut ohjata kuluttajia ostamaan vähäpäästöisempiä autoja. Tässä kappaleessa tarkastellaan autoilun verojen muodostumisperusteita, niissä tapahtuneita muutoksia ja muutosten mahdollisia vaikutuksia kuluttajan valintaan.

Autovero on kertaluontoinen, ajoneuvon hankinnan yhteydessä maksettava vero. Autoveron määrä riippuu auton hinnasta ja sen hiilidioksidipäästöistä. Vähäpäästöisten autojen veron määrää laskettiin porrastaen vuosina 2015–2017. Muutokset siis laskivat sähköautojen hintaa suhteessa autoihin, joiden päästöt ylittivät tietyn rajan.

Ajoneuvovero koostuu perusverosta ja käyttövoimaverosta. Perusveron määrä kasvaa progressiivisesti ajoneuvon hiilidioksidipäästöjen perusteella. Ajoneuvovero siis suosii vähäpäästöisiä autoja, kuten sähköautoja. Käyttövoimaveroa maksetaan ajoneuvoista, jotka käyttävät käyttövoimanaan jotain muuta kuin bensiiniä, ja käyttövoimaveron mukaisesti ajoneuvon käyttövoimasta. Ajoneuvoveron muutokset vuosina 2015–2017 löytyvät taulukosta 7.

Käyttövoimaveroa kannetaan muista kuin pelkkää moottoribensiiniä polttoaineenaan käyttävistä ajoneuvoista, eli esimerkiksi dieselillä tai sähköllä käyvästä autoista. Myös jotain muuta kuin bensiiniä osittain käyttävät ajoneuvot kuuluvat käyttövoimaveron piiriin. Käyttövoimaveron määrä määrittyy ajoneuvon käyttövoiman ja sen painon perusteella taulukon 8 mukaan (Trafi).

Käyttövoimaveron nostaa sähköautojen käyttökustannuksia suhteessa bensiinillä kulkeviin autoihin, mutta autoveron ja ajoneuvoveron yhteenlaskettu vaikutus johtaa kokonaisuudessaan sähköautojen kevyempään verotukseen.

Polttoainevero on nimensä mukaisesti polttoaineesta kannettava vero. Polttoainevero koostuu arvonlisäverosta, huoltovarmuusmaksusta sekä valmisteverosta, joka itsesään koostuu vielä energiasisältöverosta ja hiilidioksidiverosta. Polttoaineveroa korotettiin sekä bensiinille että dieselille vuoden 2017 alussa. Polttoainevero eroaa edellä esitetyistä veroista niin, että se perustuu autolla ajat-

taviin kilometreihin, ja voi siten vaikuttaa sekä auton valintaan, että ajosuoritteen, kuten Verbovenin (2017) tutkimus osoittikin. Mitä kalliimpaa polttoaine on, sitä kalliimmaksi suuripäästöisen auton käyttö tulee.

Käyttövoimaveroa lukuun ottamatta kaikki liikenteen verot luovat sähköautoille kilpailuetua suhteessa perinteisiin polttomoottoriautoihin. Ajoneuvovero laskee sähköautojen suhteellista hankintahintaa, ajoneuvovero laskee niiden suhteellisia käyttökustannuksia, samoin kuin polttoainevero.

2.4 Aiheen aikaisempaa kirjallisuutta

Kuluttajien preferenssejä on tutkittu kyselytutkimusten avulla. Esimerkiksi Hidrue ym. (2011) estimoivat kuluttajien maksuhalukkuutta sähköautojen ominaisuuksille valintakokeen avulla. Hackbarthin ja Madlenerin (2016) tutkimus on samankaltainen, mutta analyysiä laajennettiin koskemaan myös muita vaihtoehtoisia käyttövoimia, kuten ladattavia hybrideitä. Kyselytutkimuksia käsitellessä tulee ottaa huomioon se, että niiden tulokset pohjautuvat kuluttajien todellisten päätösten sijaan tutkimuksessa tehtyihin, hypoteettisiin valintoihin. Näiden ilmaistujen preferenssien ja kuluttajien valintojen välillä voi esiintyä eroja, Rogers (1995) kutsuu tätä ilmiötä *asenne-toiminta kuiluksi*¹.

Sekä Hidrue ym. (2011) että Hackbarth ja Madlenerin (2016) tutkimukset ovat silti hyödyllisiä, sillä niissä tunnistetaan kuluttajien piirteitä, jotka ovat korreloituneita sähkökäyttöisten autojen valitsemisen suhteen, ja näiden autojen ominaisuuksia, joista kuluttajat ovat valmiita maksamaan.

Hackbarth ja Madlener (2016) tutkivat kuluttajien maksuhalukkuutta vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen ominaisuuksille. Tutkittavia käyttövoimia oli seitsemän, mutta niistä oli tämän työn kannalta olennaisia kaksi, täyssähköautot ja ladattavat hybridit. Maksuhalukkuudet estimoitiin autojen sisäisten ominaisuuksien, kuten latausajan ja toimintasäteen lisäksi niiden käyttöön vaikuttaville ominaisuuksille, kuten latauspisteiden määrälle ja erilaisille politiikkatoimenpiteille, kuten vapautukselle ajoneuvoverosta. (Hackbarth & Madlener 2016).

Hackbarth ja Madlener (2016) estimoivat ajoneuvojen ominaisuuksille ja vaihtoehtoisia polttoaineita käyttäviä ajoneuvoja tukeville politiikkatoimenpiteille kuluttajien maksuhalukkuuden lisäksi myös heidän kompensoivat variaationsa. Kompensoiva variaatio on se rahallinen summa, jonka kuluttaja mieltää yhtä suureksi hyödyn muutoksen kanssa. Esimerkiksi jos sähköautojen latauspisteiden määrää kasvatettaisiin tietyn verran, kompensoiva variaatio on se summa, kuinka paljon enemmän kuluttaja olisi valmis maksamaan sähköautosta, jotta hän saisi siitä saman verran hyötyä kuin ilman muutosta latauspisteiden määrässä.

¹ Eng. Attitude-action gap

Aineistona käytettiin noin 700 potentiaalisen autonostajan vastauksia valintakokeeseen. Valintakokeessa kuluttajat valitsivat eniten preferoimansa ajoneuvon neljästä vaihtoehdosta, 15 kertaa. Vaihtoehdoista raportoitiin tiedot kahdeksasta ominaisuudesta, jotka olivat hinta, käyttökustannukset per kilometri, päästöt per kilometri, toimintasäde, latausinfrastruktuurin laajuus, tankkaus- tai latausaika ja mahdolliset politiikkainsentiivit. Analyysissä käytettiin kahta diskreetin valinnan tapauksessa yleistä metodia, multinomiaalista logistista regressiota² (MNL) ja latenttiluokka-mallia³ (LCM). MNL ei ota huomioon sitä, että kuluttajien preferenssit ovat heterogeenisiä, toisin kuin LCM, jossa otospopulaatio jaetaan muun muassa sosiodemografisten tekijöiden perusteella luokkiin, joiden välillä sallitaan preferenssien heterogeenisuus. Mallissa päädyttiin informaatiokriteerien perusteella kuuteen kuluttajaluokkaan. (Hackbarth & Madlener 2016).

MNL:n perusteella voidaan todeta, että keskimääräinen kuluttaja preferoi voimakkaasti perinteisiä polttomoottoriautoja suhteessa sähköautoihin, kun kaikki muut tekijät pidetään vakiona. Polttomoottoriautojen ja ladattavien hybridien välillä ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa. Ajoneuvojen ominaisuuksien vaikutukset olivat odotetunlaisia, eli esimerkiksi korkeampi hinta vaikutti negatiivisesti, ja pidempi toimintasäde positiivisesti auton valintatodennäköisyyteen. Autojen teknisistä ominaisuuksista merkittävin vaikutus on toimintasäteellä, jota seuraa latausinfrastruktuurin laajuus. Rahallisella kannustimella, tässä ajoneuvoveron poistolla, näyttää olevan suurempi vaikutus kuin ei rahallisella kannustimella, tässä oikeudella käyttää julkisen liikenteen kaistoja ja ilmaiseen pysäköintiin.

Latenttiluokka-mallin (LCM) tulokset ovat mielenkiintoisempia, havaitaan että kuluttajien suhtautuminen sähköautoja ja ladattavia hybridejä kohtaan riippuu sosiodemografisista tekijöistä. Kuten mainittua, MNL:n perusteella keskimääräinen kuluttaja preferoi polttomoottoriautoja suhteessa vaihtoehtoihin käyttövoimiin, mutta LCM:n perusteella tunnistetaan kaksi kuluttajasegmenttiä, joissa tämä ei päde. LCM:n kuudesta luokasta yksi on sellainen, jossa kuluttajat ovat orientoituneita kohti ladattavia hybridejä ja sähköautoja, eli kun kaikki muut tekijät pysyvät vakioina, he preferoivat näitä käyttövoimia suhteessa perinteisiin polttomoottoriautoihin. Luokkaan kuului noin 15 % otoksesta. Tähän luokkaan kuuluvat ovat suhteessa muihin keskimäärin nuorempia, ympäristötietoisempia ja he ajavat keskimäärin enemmän kuin toisiin luokkiin kuuluvat. He myös ostavat todennäköisemmin edullisempia ja pienempiä autoja. Löydetään myös toinen luokka, jossa ladattavia hybrideitä preferoidaan suhteessa polttomoottoriautoihin, mutta täyssähköautoja kartetaan. Näihin kahteen luokkaan kuului noin kolmannes populaatiosta.

Tämän tutkielman kannalta olennaisia ovat myös Sierzchulan ym. (2014) ja Merskyn ym. (2016) tutkimukset, joissa hyödynnettiin sähköautojen rekisteröinti aineistoja. Sierzchula ym. (2014) käyttivät poikkileikkausaineistoa vuodelta 2012, ja havaittiin että taloudelliset kannustimet ja latausverkoston laajuus vaikuttavat

² Eng. Multinomial logistic regression

³ Eng. Latent class model

positiivisesti sähköautojen markkinaosuuteen. Mersky ym. (2016) käyttivät kunnittaista aineistoa Norjasta vuosilta 2011–2013. He raportoivat, että latauspisteiden määrän kasvu oli yhteydessä sähköautojen suurempaan markkinaosuuteen. Nämä aikaisemmat tutkimukset ovat löytäneet sosioekonomisia piirteitä, jotka vaikuttavat alttiuteen ostaa sähköauto ja tukitoimia, jotka kasvattavat sähköautojen markkinaosuutta.

Taulukko 1 - Keskeisiä tutkimuksia

Tutkimus	Aineisto ja metodi	Tulokset
Hackbarth & Madlener (2016)	Data: 2009, potentiaaliset auton ostajat. Ilmaistut preferenssit, MNL ja LCM	Tutkimuspopulaatiossa polttomoottoriautoja preferoidaan sähköautoihin ceteris paribus, mutta tunnistetaan ryhmiä, joissa näin ei ole. Myönteisyys sähköautoja kohtaan yhdistetään matalampaan ikään, ympäristöystävällisyyteen, pienempään ajosuoritteeseen, matalampaan koulutukseen ja alttiuteen ostaa pienempi auto.
Hidrue ym. (2011)	Data: 2011, potentiaaliset auton ostajat. Ilmaistut preferenssit. LCM.	Sähköauto myönteisyyteen yhdistetään matalampi ikä, ympäristöystävällisyys, korkeakoulutus ja alttius ostaa pienempi auto. Kaikkien merkittävien myönteisyyteen yhdistetty tekijä oli se, että yksilöllä oli mahdollisuus ladata sähköautoa kotonaan. Kokonaisuudessaan havaittiin, ettei sähköautojen diffuusio etene ilman valtion taloudellisia tukitoimia.
Sierzychula ym. (2014)	Data: 2012, 30 maata. Poikkileikkausaineisto. Lineaarinen PNS-regressio.	Sähköautojen markkinaosuuteen vaikuttaa positiivisesti latausverkoston laajuus ja taloudelliset tuet. Näistä merkittävämpi oli latausverkoston laajuus. Demografiset tekijät eivät tilastollisesti merkittäviä ennustajia.
Mersky ym. (2016)	Data: 2011–2013, Norja. Paneeliaineisto. Lineaarinen PNS-regressio	Julkisten latauspisteiden määrä merkittävin sähköautojen markkinaosuutta selittävä tekijä. Tulot vaikuttavat positiivisesti markkinaosuuteen.

3 AINEISTO JA MENETELMÄ

3.1 Aineisto

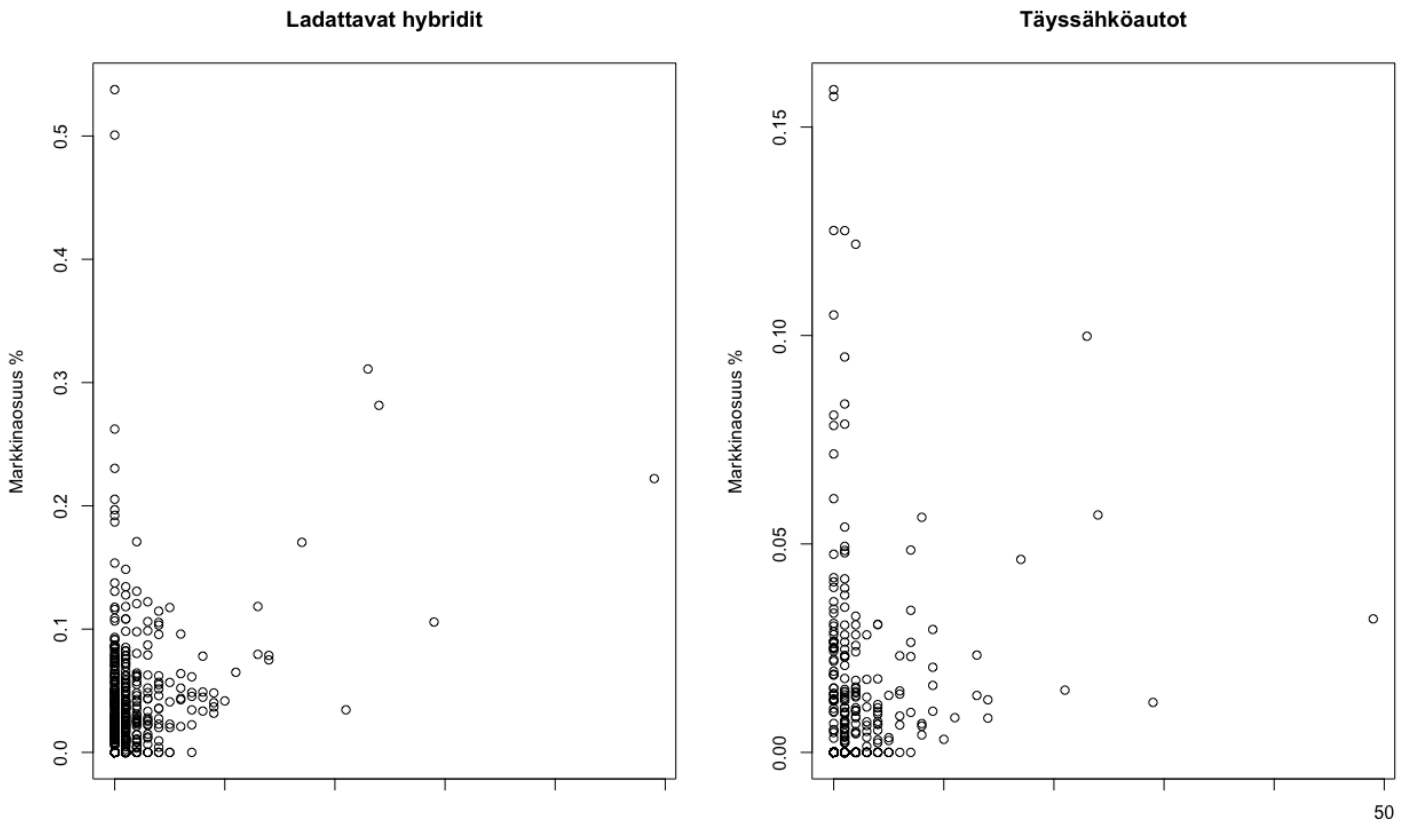
Kerätyssä aineistossa yhdistetään kunnittainen ensirekisteröintidata (Trafi), kunnittainen latauspisteaineisto (Sähköautoilijat Ry) ja kunnittaisia tunnuslukuja (Tilastokeskus). Lopputuloksena on paneeliaineisto manner-Suomen 294 kunnasta vuosilta 2015–2017, eli havaintoja on yhteensä 882. Vaikka ensirekisteröinnit on kerätty kuukausitasolla, aineistoa käsitellään vuositasolla, sillä kuukausitaista vaihtelua ei voida selittää vuositasolla olevilla selittäville muuttujilla.

Ensirekisteröintidata kattaa kaikki uudet automyynnit jokaisessa kunnassa. Kiinnostuksen kohteena olevat selitettävät muuttujat ovat täyssähköautojen – ja ladattavien hybridien markkinaosuudet kussakin kunnassa. Markkinaosuus määritellään tässä myydyn määrän suhteeksi kunnan kotitalouksista, eikä osuudeksi kaikista myydyistä autoista. Tämä lähestymistapa noudattaa aikaisempaa kirjallisuutta, jossa tavoitteena on estimoida kysyntäfunktioita (ks. esim. Berry 1994, Nevo 2001).

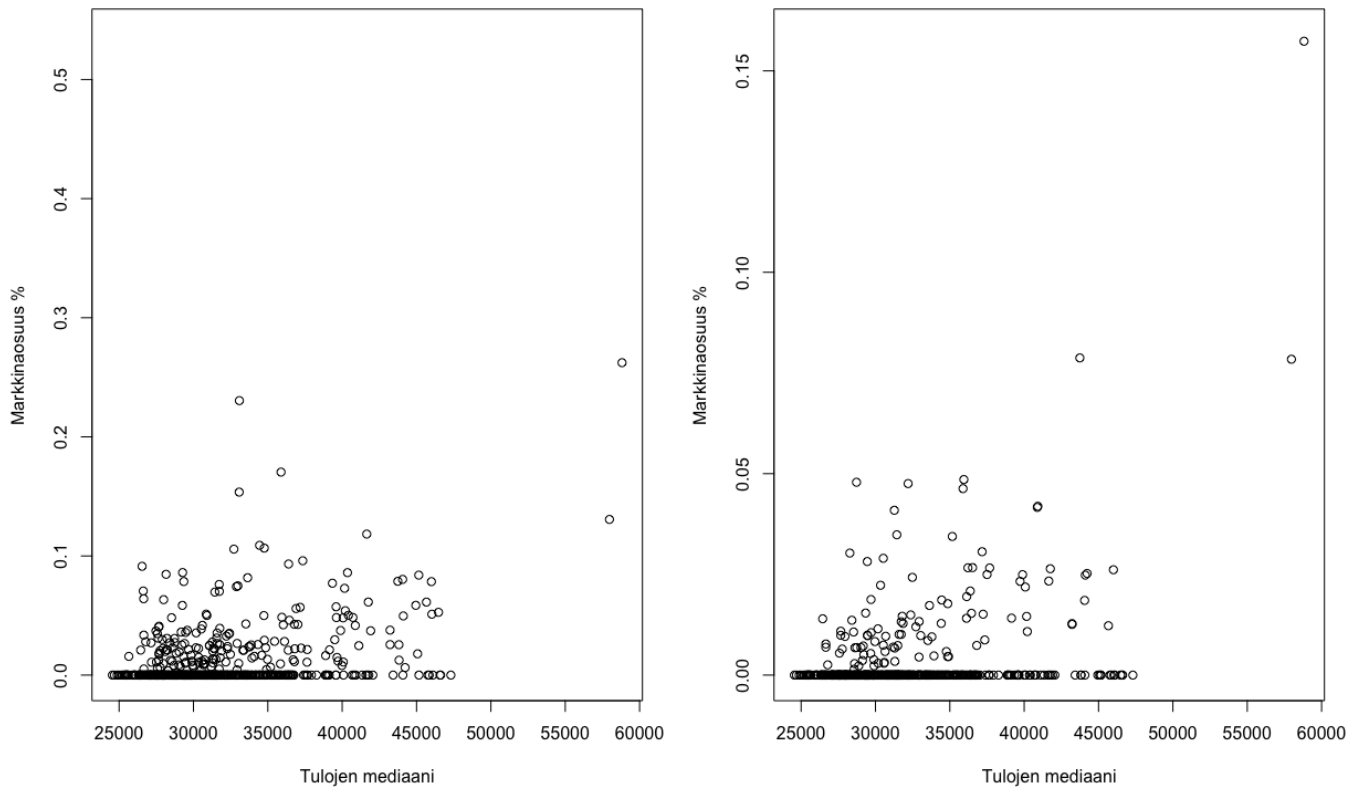
Latauspisteiden määrä on tällä hetkellä suurimman mielenkiinnon kohteena oleva selittävä muuttuja, sillä valtio pystyy vaikuttamaan niiden määrään tukemalla niiden rakennusta, kuten Suomessa on vuodesta 2017 asti tehtykin. Kuvio 4 perusteella näyttäisi siltä, että latauspisteiden määrällä ja ladattavien hybridien markkinaosuudella olisi positiivinen yhteys, mutta yhteys vaikuttaa graafisen tarkastelun perusteella melko heikolta. Täyssähköautojen tapauksessa havaitaan samankaltainen yhteys, tosin tämä yhteys vaikuttaa vielä hieman heikommalta.

Kuntien väestöstä on kerätty tunnuslukuja liittyen tuloihin ja koulutukseen. Tulojen vaikutusta kuvaavana muuttujana käytettiin logaritmita muunnosta tulojen mediaanista. Koulutuksen vaikutusta arvioidaan käyttämällä selittävänä muuttujana korkeakoulutettujen osuutta.

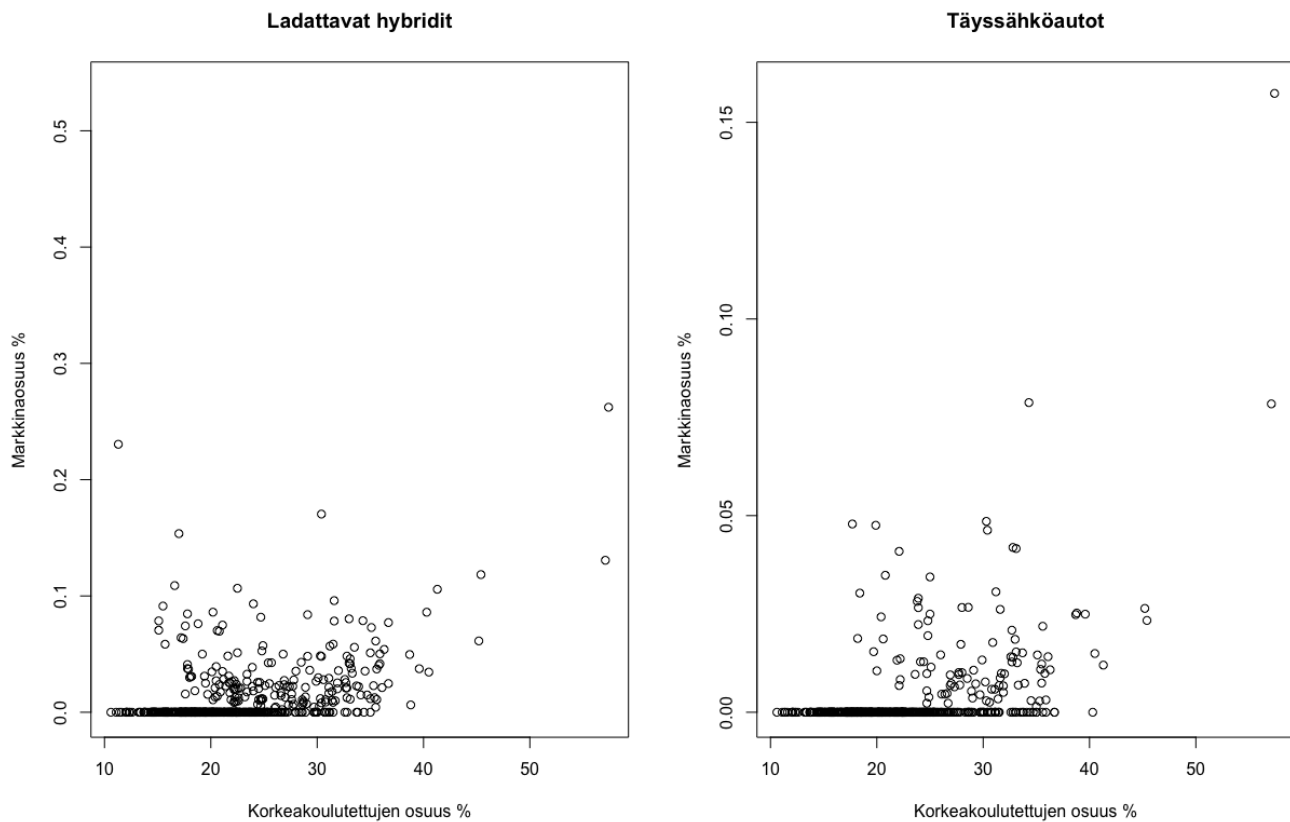
Kuvio 4 - Sähköautojen markkinaosuus ja latauspisteiden määrä



Kuvio 5 - Sähköautojen markkinaosuus ja tulot



Kuvio 5 – Sähköautojen markkinaosuus ja korkeakoulutus



3.2 Menetelmä

Sähköautojen markkinaosuuteen vaikuttavia tekijöitä arvioidaan sekä logistisella että lineaarisella regressiolla. Tulokset raportoidaan seuraavassa kappaleessa.

4 TUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1 Tulokset

Taulukossa 2 raportoidaan muuttujien tunnuslukuja. Tulokset täyssähköautoille ovat taulukoissa 3 ja 4, ja tulokset ladattaville hybrideille ovat taulukoissa 5 ja 6. Taulukoissa 3 ja 5 selitettävä muuttuja on dummy-muuttuja, joka saa arvon 0, jos kunnassa ei ole tapahtunut yhtään kyseisen käyttövoimatyyppin ensirekisteröintiä havaintojaksolla. Muutoin muuttuja saa arvon 1. Taulukoissa 4 ja 6 selitettävä muuttuja on alueen käyttövoimatyyppin ensirekisteröintiä lukumäärä jaettuna alueen kotitalouksien lukumäärällä.

Taulukko 2 - Muuttujien tunnuslukuja

Muuttuja	Kuvaus	Min/Max	Keskiarvo
Sähkö-dummy (taulukko 1)	1, jos sähköautoja ensirekisteröity, 0 muutoin	0/1	0,202
Täyssähköautot, osuus (taulukko 2) (%)	Sähköautojen ensirekisteröinnit*100 %/Kotitalouksien lkm.	0,00/0,16	0,005
Hybridi-dummy (taulukko 3)	1, jos hybridejä ensirekisteröity, 0 muutoin	0/1	0,410
Hybridit, osuus (taulukko 4) (%)	Ladattavien hybridien ensirekisteröinnit*100 %/Kotitalouksien lkm.	0,00/0,54	0,021
Latauspisteet (kpl)	Latauspisteiden lkm.	0/49	0,96
Mediaanitulot (€)	Logaritminen muunnos mediaanituloista	24548/58819	32037
Korkeakoulutettujen osuus (%)	Korkeakoulutettujen osuus kunnan väestöstä	10,6/57,6	22,57
Ensirekisteröinnit (%)	Kaikkien autojen ensirekisteröinnit*100 %/Kotitalouksien lkm.	0,69/12,8	3,14

Taulukko 3 – Logistinen regressio täyssähköautoille

	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Vuosidummyjen kanssa
Latauspisteet	0.4000 *** (0.0407)	0.4336 *** (0.0426)	0.2771 *** (0.0454)	0.2573 *** (0.0460)	0.2489 *** (0.0490)
Mediaanitulot		2.9593 *** (0.3748)	-0.7147 (0.5684)	-1.2482 * (0.6043)	-1.3981 * (0.6179)
Korkeakoulutettujen osuus			0.1364 *** (0.0148)	0.1187 *** (0.0158)	0.1191 *** (0.0161)
Ensirekisteröinnit				0.1970 ** (0.0684)	0.2230 ** (0.0699)
2016					-0.2812 (0.1545)
2017					-0.0244 (0.1534)
N	882	882	882	882	882
AIC	721.5320	658.5416	558.9430	552.7623	552.7531
BIC	731.0964	672.8881	578.0718	576.6733	586.2285
Pseudo R2	0.2758	0.3682	0.4997	0.5096	0.5145

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Taulukko 4 – Lineaarinen regressio täyssähköautoille

	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Vuosidummyjen kanssa
Latauspisteet	0.0012 *** (0.0002)	0.0012 *** (0.0002)	0.0008 *** (0.0002)	0.0006 ** (0.0002)	0.0004 * (0.0002)
Mediaanitulot		0.0371 *** (0.0034)	0.0241 *** (0.0046)	0.0177 *** (0.0047)	0.0158 *** (0.0047)
Korkeakoulutettujen osuus			0.0005 *** (0.0001)	0.0003 * (0.0001)	0.0003 * (0.0001)
Ensirekisteröinnit				0.0023 *** (0.0005)	0.0025 *** (0.0005)
2016					-0.0010 (0.0012)
2017					0.0038 ** (0.0012)
N	882	882	882	882	882
R2	0.0520	0.1663	0.1827	0.2014	0.2181

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Taulukko 5 – Logistinen regressio ladattaville hybrideille

	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Vuosidummyjen kanssa
Latauspisteet	0.4463 *** (0.0500)	0.4537 *** (0.0502)	0.2969 *** (0.0538)	0.2862 *** (0.0544)	0.1707 ** (0.0557)
Mediaanitulot		2.5075 *** (0.3258)	-1.1509 * (0.4965)	-1.5291 ** (0.5182)	-2.0515 *** (0.5396)
Korkeakoulutettujen osuus			0.1428 *** (0.0138)	0.1243 *** (0.0149)	0.1459 *** (0.0158)
Ensirekisteröinnit				0.1906 ** (0.0622)	0.2173 *** (0.0649)
2016					0.5391 *** (0.1312)
2017					1.0517 *** (0.1367)
N	882	882	882	882	882
AIC	1046.4175	987.0248	861.7769	854.1245	795.3685
BIC	1055.9819	1001.3714	880.9056	878.0354	828.8438
Pseudo R2	0.2132	0.2895	0.4317	0.4417	0.5039

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Taulukko 6 – Lineaarinen regressio ladattaville hybrideille

	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Vuosidummyjen kanssa
Latauspisteet	0.0055 *** (0.0005)	0.0053 *** (0.0005)	0.0041 *** (0.0005)	0.0035 *** (0.0005)	0.0026 *** (0.0005)
Mediaanitulot		0.0833 *** (0.0092)	0.0396 ** (0.0124)	0.0210 (0.0128)	0.0111 (0.0122)
Korkeakoulutettujen osuus			0.0016 *** (0.0003)	0.0010 ** (0.0003)	0.0011 *** (0.0003)
Ensirekisteröinnit				0.0068 *** (0.0014)	0.0074 *** (0.0013)
2016					0.0086 ** (0.0030)
2017					0.0280 *** (0.0031)
N	882	882	882	882	882
R2	0.1316	0.2056	0.2294	0.2501	0.3186

*** p < 0.001; ** p < 0.01; * p < 0.05.

Taulukosta 3 nähdään että latauspisteiden regressiokerroin on positiivinen ja tilastollisesti merkitsevä kaikissa malleissa eli todennäköisyys, että kunnassa on ostettu vähintään yksi sähköauto kasvaa sen mukaan, mitä enemmän siellä on latauspisteitä. Mediaanitulojen regressiokerroin on ensin positiivinen, mutta se muuttuu negatiiviseksi, kun malliin lisätään korkeakoulutettujen osuus ja muita kontrollimuuttujia. Todennäköisyys että kunnassa on tehty ensirekisteröintejä kasvaa korkeakoulutettujen osuuden kasvaessa. Mitä enemmän kunnassa on ostettu uusia autoja (ensirekisteröinnit-muuttuja) sitä suurempi todennäköisyys, että siellä on ostettu sähköautoja. Molemmat vuosi-dummyt ovat negatiivisia, mikä voi johtua vuonna 2015 voimassa olleesta romutuspalkkiosta.

Taulukon 4 lineaarisen regression tulokset ovat samansuuntaisia, lukuun ottamatta mediaanitulojen vaikutusta, joka on tässä positiivinen. Ensirekisteröityjen sähköautojen määrä siis kasvaa latauspisteiden määrän, mediaanitulojen, korkeakoulutettujen osuuden ja kaikkien ensirekisteröintien määrän kasvaessa. Vuosi-dummyistä vuoden 2017 regressiokerroin on positiivinen, mikä voi johtua esimerkiksi teknologisesta kehityksestä.

Taulukko 5 esittää logistisen regression tulokset ladattaville hybrideille. Latauspisteiden määrä vaikuttaa jälleen positiivisesti todennäköisyyteen, että kunnassa on rekisteröity vähintään yksi ladattava hybridi. Mediaanitulojen vaikutus on negatiivinen, kun malliin lisätään kontrollimuuttujia. Selittävien muuttujien vaikutukset ovat muutenkin samankaltaiset kuin täyssähköautojen tapauksessa, lukuun ottamatta vuosi-dummyjä, jotka ovat tässä mallissa positiivisia ja tilastollisesti merkitseviä.

Taulukossa 6 on lineaarisen regression tulokset ladattaville hybrideille. Mitä enemmän kunnassa on latauspisteitä, sitä enemmän siellä rekisteröidään ladattavia hybridejä. Regressiokerroin on tässä hieman korkeampi kuin täyssähköautojen tapauksessa. Myös korkeakoulutettujen osuus ja ensirekisteröintien määrä kasvattavat ladattaville hybridien markkinaosuutta. Vuosi-dummyt ovat positiivisia, mikä voi tässäkin johtua teknologian kehityksestä.

4.2 Rajoitukset

Tässä tutkimuksessa ilmeni monia rajoituksia. Ensinnäkin kerätyssä aineistossa vaihtelun puute sekä selitettävässä muuttujassa että selittävässä muuttujissa. Toiseksi kyseisinä vuosina sähköautojen diffuusio oli alkuvaiheessa, suurimmassa osassa kunnista oli vähän tai ei ollenkaan sähköautoja. Kolmanneksi selittävässä muuttujissa, kuten korkeakoulutettujen määrässä ei ole suuria kuntien välisiä eroja Suomessa. Tässä tutkimuksessa ei löydetty yhteyttä iän tai sukupuolen ja sähköauton adoptioalttiuden välillä, kuten esimerkiksi Hidrue ym. (2011) ja Hackbarth ja Madlener (2016) raportoivat.

Aineiston heikon saatavuuden takia ei pystytty tarkastelemaan muiden politiikkatoimenpiteiden kuin latauspisteinfrastruktuurin rakentamisen vaikutusta. Tämäkin tulos on enemmänkin suuntaa antava. Sen sijaan, että sähköautoja otettaisiin siellä missä latauspisteinfrastruktuuri on laaja, voidaan argumentoida, että latauspisteitä rakennetaan sinne, missä sähköautoja on jo valmiiksi paljon. Tämä käänteisen kausaliteetin ongelma voitaisiin ottaa huomioon käyttämällä viivästettyä rakennetta regressioissa, eli selittämällä sähköautojen määrää ajassa t latauspisteiden määrällä ajassa $t-1$. Empiirisessä osiossa tehtiin tämänkaltaisen mallinnus, eikä selittävien muuttujien regressiokertoimissa havaittu suurta muutosta. Jo valmiiksi lyhyt kolmen vuoden aikasarja-aineisto lyheni kuitenkin tässä kahden vuoden mittaiseksi aineistoksi, joten tämä mallinnus hylättiin. Aineisto, joka olisi vuositasen sijaan kuukausitasolla voisi vastata tutkimuskysymykseen paremmin.

Lisäksi tutkimuskysymystä olisi mielenkiintoista tutkia aineistolla, joka olisi maantieteellisesti tarkempaa, esimerkiksi postinumeroalueittain. Kuluttajalle olennainen latauspiste saattaa olla sellainen, joka ei sijaitse hänen kotikunnassaan, jos hän esimerkiksi käy töissä toisessa kunnassa. Tämänkaltaisia riippuvuussuhteita ei pystytä vangitsemaan tämän tutkimuksen empiirisellä analyysillä. Tutkimuksessa käsitellään vain julkista latauspisteinfrastruktuuria, vaikka esimerkiksi Melliger ym. (2018) totesivat tutkimuksessaan, että mahdollisuus ladata sähköautoa kotona tai sen lähistöllä on merkittävä adoptioon vaikuttava tekijä. Empiirisessä osiossa kokeiltiin myös mallintaa tätä mahdollisuutta hyödyntämällä kuntien asumismuotojakaamaa, sillä olettamuksella, että rivi- ja pientaloissa asuvilla on mahdollisuus latauspaikkaan todennäköisemmin kuin kerrostaloissa asuvilla. Tällä mallinnuksella ei kuitenkaan löydetty tilastollisesti merkitsevää yhteyttä. Aineiston aggregointi tarkemmin kuin kuntatasolla olisi voinut tuottaa parempia tuloksia tämän suhteen.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä pro gradu -tutkielmassa tarkasteltiin liikenteen sähköistymistä sekä niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat sähköautojen markkinaosuuteen Suomessa. Näiden tekijöiden vaikutuksien voimakkuuksia mitattiin ja suurimpana kiinnostuksen kohteena oli latausverkoston vaikutus sähköautojen yleistymiseen. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuitenkin myös sosio-ekonomisten tekijöiden vaikutusta. Kuten Achtnicht ja Hermelingin (2012), Melligerin ym. (2018), Merskyn ym. (2016) ja Sierzchulan ym. (2014) tutkimukset osoittavat, latauspisteiden määrä ja infrastruktuuri ovat olennaisessa roolissa sähköautojen diffuusiassa. Tämän tutkimuksen tulokset ovat vastaavia, ja niistä havaittiin, että mitä enemmän kunnassa on latauspisteitä, sitä todennäköisimmin siellä hankitaan sähköautoja. Havaittiin myös positiivinen lineaarinen yhteys latauspisteiden määrän ja sähköautojen markkinaosuuden välillä. Kuten aikaisempien tutkimuksien tuloksia, myös tätä tulosta voi selittää käänteinen kausaliteetti. Melliger ym. (2018) ja Mersky ym. (2019) korostivat tutkimuksissaan infrastruktuuria ja latausasemien sijainteja, kun taas tässä tutkimuksessa infrastruktuurin vaikutusta ei voitu huomioida vastaavalla tasolla.

Sosioekonomisten tekijöiden osalta, koulutuksen taso vaikutti merkittävästi sähköautojen diffuusioon. Myös Hidrue ym. (2011) sekä Egbue ja Long (2012) havaitsivat tutkimuksissaan samankaltaisen yhteyden. Kuten Mersky ym. (2016), havaittiin että korkeammat tulot ovat assosioitu suurempaan todennäköisyyteen hankkia sähköauto. Sähköautot ovat usein kalliimpia kuin polttomoottorilla varustetut autot, mikä voi selittää tätä tulosta.

Tutkimuksen tulosten perusteella latauspisteiden määrä on positiivisessa yhteydessä sähkökäyttöisten autojen markkinaosuuteen, joten valtioiden voi olla hyödyllistä tukea infrastruktuurin rakentamista saavuttaakseen päästövähennyksiä. Aikaisempien tutkimustuloksien perusteella ajoneuvokannan sähköistymistä voidaan edistää myös taloudellisilla kannustimilla ja tiukemmalla polttoaineverotuksella. Innovaatioiden diffuusioteorian perusteella uuden teknologian diffuusiota voi hidastaa epätietoisuus ja puutteellinen informaatio tuotteesta. Egbue ja Long (2012) havaitsivat puutteellisen informaation olevan yksi merkittävä este sähköauton hankkimiselle. Näin ollen yrityksen tai valtion kannattaisi pyrkiä vähentämään tätä epätietoisuutta tarjoamalla informaatiota potentiaalisille auton ostajille.

Koska ilmastonmuutos on ajankohtainen nyt ja tulevaisuudessa, mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe on esimerkiksi polttoaineen hinnan vaikutus sähköautojen suosioon. Toinen erityisen ajankohtainen aihe on Suomessa vuosina 2018–2021 voimassa olevan sähköauton hankintatuen vaikutus.

LÄHTEET

Achtnicht, M., Bühler, G., & Hermeling, C. (2012). The impact of fuel availability on demand for alternative-fuel vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(3), 262–269.

Beresteanu, A., & Li, S. (2011). Gasoline prices, government support, and the demand for hybrid vehicles in the united states. *International Economic Review*, 52(1), 161-182.

Berry, S. T. (1994). Estimating discrete-choice models of product differentiation. *The RAND Journal of Economics*, 25(2), 242-262.

Busse, M. R., Knittel, C. R., & Zettelmeyer, F. (2013). Are consumers myopic? evidence from new and used car purchases. *American Economic Review*, 103(1), 220-256.

Diamond, D. (2009). The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: Evidence from US states. *Energy policy*, 37(3), 972–983.

Egbue, O., & Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy policy*, 48, 717–729.

Hackbarth, A., & Madlener, R. (2016). Willingness-to-pay for alternative fuel vehicle characteristics: A stated choice study for Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 85, 89–111.

Hidrue, M. K., Parsons, G. R., Kempton, W., & Gardner, M. P. (2011). Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and energy economics*, 33(3), 686–705.

Ireland, N., & Stoneman, P. (1986). Technological diffusion, expectations and welfare. *Oxford Economic Papers*, 38(2), 283-304.

Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1994). The energy paradox and the diffusion of conservation technology. *Resource and Energy Economics*, 16(2), 91–122.

Katz, M. L., & Shapiro, C. (1985). Network externalities, competition, and compatibility. *The American economic review*, 75(3), 424-440.

Klier, T., & Linn, J. (2010a). The price of gasoline and new vehicle fuel economy: Evidence from monthly sales data. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2(3), 134-153.

Melliger, M. A., van Vliet, O. P., & Liimatainen, H. (2018). Anxiety vs reality—Sufficiency of battery electric vehicle range in Switzerland and Finland. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 101–115.

Mersky, A. C., Sprei, F., Samaras, C., & Qian, Z. S. (2016). Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, 56-68.

Nevo, A. (2001). Measuring market power in the ready-to-eat cereal industry. *Econometrica*, 69(2), 307-342.

Peres, R., Muller, E., & Mahajan, V. (2010). *Innovation diffusion and new product growth models: A critical review and research directions*.

Rogers, E. (1995). *Diffusion of innovations*. Fourth edition. New York: The Free Press.

Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., & Van Wee, B. (2014). The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy*, 68, 183–194.

Stoneman, P., & Diederer, P. (1994). Technology diffusion and public policy. *The Economic Journal*, 104(425), 918-930.

Verboven, F. (2014). The effects of environmental policies in the car sector: Introduction. *The Economic Journal*, 124(578), F389-F392.

www-sivut:

EAFO:

http://www.eafo.eu/eu#eu_incentives_over_table_anchor

Ilmastopaneeli 2018:

http://www.ilmastopaneeli.fi/wp-content/uploads/2018/10/ilmastopaneeli_policy_brief_sahkoautoistuminen_web_230818.pdf

Sähköautopolitiikat Pohjoismaissa:

<https://tt.eduuni.fi/sites/EL-TRAN/Julkiset%20tiedostot/Kirsi%20Kotilainen%20et%20a.,%20Sähköautopolitiikat%20Pohjoismaissa.pdf>

Latauspisteet:

Sähköautoilijat ry

Lataustuki.fi:

<http://www.lataustuki.fi>

Trafi: (verotus)

<https://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus>

Trafi: (käyttövoimavero)

https://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus/ajoneuvovero/veron_rakenne_ja_maara#kayttovoimavero_HAjaPA2013

Trafi: (ajoneuvovero)

https://www.trafi.fi/tieliikenne/verotus/ajoneuvovero/veron_rakenne_ja_maara

Trafi tilastotietokanta:

<http://trafi2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/TraFi/>

Työ- ja elinkeinoministeriö:

<https://tem.fi/documents/1410877/2148188/Kansallinen+energia-+ja+ilmastostrategia+vuoteen+2030+24+11+2016+lopull.pdf/a07ba219-f4ef-47f7-ba39-70c9261d2a63>

Valtioneuvosto:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEM-jul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ajoneuvovero:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20111317?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1311%2F2007>

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141065?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1317%2F2011>

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20151482?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1482%2F2015>

LIITE 1 - AUTOILUN VEROTUS

Taulukko 7 - Ajoneuvovero

CO ₂ -päästöt/km	Ajoneuvovero/v 2015	Ajoneuvovero/v 2016	Ajoneuvovero/v 2017
0	43,07	69,71	106,21
50	57,67	89,79	126,29
120	101,84	147,82	184,32
200	213,89	279,59	316,09
300	437,64	491,65	528,15

Taulukko 8 - Käyttövoimaverotus

Käyttövoima	Euroa/alkava 100kg/vuosi
Diesel	20,08
Sähkö	5,48
Sähkö ja moottoribensiini	1,83
Sähkö ja dieselöljy	17,89
Metaanipolttoaine	11,32

Taulukon 8 perusteella: esimerkiksi 1300 kiloa painavan, dieselmotorilla varustetun auton käyttövoimaverotus olisi noin 260 euroa, kun vastaavan painoisesta sähköautosta veroa maksettaisiin vain noin 70 euroa.