



Kauppakorkeakoulu
Kandidaatintutkielma
Talousjohtaminen

**VIHREÄN TEKNOLOGIAN INNOVAATIOT
AUTOTEOLLISUUDESSA**

**Green Technology Innovations
in the Automotive Industry**

10.5.2015
Jussi Haavilainen
Ohjaaja: Heli Arminen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusongelmat	3
1.1.1 Tutkimuskysymykset	4
1.2 Tutkimuksen rajaukset	4
1.3 Teoreettinen viitekehys	4
1.4 Tutkimusmenetelmä ja –aineisto	5
2. INNOVAATIOIDEN DIFFUUSIO	6
2.1 Diffuusiotutkimuksen historiaa	7
2.2 Ekologiset innovaatiot	8
2.3 Kritiikkiä diffuusiotutkimusta kohtaan	9
3. INNOVAATIOIDEN OMAKSUJAKATEGORIAMAT JA OMINAISUUDET	11
3.1 Innovaatioiden omaksujakategoriat	11
3.1.1 Innovaattorit	12
3.1.2 Aikaiset omaksijat	13
3.1.3 Aikainen enemmistö	14
3.1.4 Myöhäinen enemmistö	14
3.1.5 Vitkastelijat	15
3.2 Innovaatioiden ominaisuudet	16
3.2.1 Suhteellinen hyöty	16
3.2.2 Yhteensopivuus	17
3.2.3 Monimutkaisuus	17
3.2.4 Kokeiltavuus	18
3.2.5 Havaittavuus	18
4. INNOVAATIO- JA DIFFUUSIOTUTKIMUKSIA AUTOTEOLLISUUDESSA	20
5. VIHREÄN TEKNOLOGIAN INNOVAATIOT AUTOTEOLLISUUDESSA	23
5.1 Polttomoottori	24
5.2 Hybridiautot	26
5.3 Sähköautot	27
5.4 Hybridi- ja sähköautot Suomessa	28
5.5 Muita autoteollisuuden innovaatioita	30
6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHDELUETTELO	35

KUVAT JA TAULUKOT

Kuva 1. Innovaatioiden diffuusion S-käyrä	7
Kuva 2. Innovaatioiden omaksujaluokat Rogersin mukaan	12
Taulukko 1. Hybridi- ja sähkömoottoriset henkilöautot ajoneuvokannassa 31.12.2006 – 31.12.2014	29
Taulukko 2. Sähkökäyttöisten henkilöautojen ensirekisteröinnit Suomessa 1.1.2014 – 31.12.2014	29

1. JOHDANTO

Tässä kandidaatintutkielmassa tutkitaan vihreän teknologian innovaatioiden omaksumista autoteollisuuden parissa hyödyntäen uusien innovaatioiden diffuusiomallia tutkimuksen teoriapohjana. Aihe on mielenkiintoinen ja tärkeä, sillä viime vuosina vihreät hybridi- ja sähköautoteknologiat ovat alkaneet lyödä itseänsä yhä näkyvämmiin läpi henkilöautomarkkinoilla päästötavoitteiden tiukentuessa. 87 % moottoriajoneuvon elinkaaren energiankulutuksesta syntyy sen käyttövaiheessa, eli käytännössä sinä aikana kun ajoneuvo on normaalissa liikennekäytössä (McAuley, 2003). Suuri osa tästä energiankulutuksesta syntyy autojen fossiilisten polttoaineiden kulutuksesta, jota tulisi kyetä hillitsemään ympäristöllisesti kestävä autoilun aikaansaamiseksi. Liikenne on yksi suurimmista kasvihuonepäästöjen aiheuttajista, joten päästöjä alentavat teknologiat jotka mahdollistavat ympäristöystävällisemmän ja kestävämmän yksityisautoilun jatkumisen nousevat tulevaisuudessa yhä suurempaan rooliin. Tällä hetkellä EU:n hiilidioksidipäästöistä 12 % on autoilun aiheuttamia (Euroopan komissio, 2015). Kaikista kuljetusten aiheuttamista päästöistä maantieliikenteen aiheuttaa 73 % (Marquez-Ramos, 2015). Maantielikenteen katsotaan aiheuttavan merkittävää uhkaa pitkän aikavälin kestävälle kehitykselle yhtenä suurimmista kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista, lisäksi sen riippuvuus öljyperusteisista polttoaineista sisältää myös geopoliittisia riskitekijöitä turvallisuuden ja tarjonnan jatkuvuuden näkökulmista (Turton, 2006).

Perinteiset polttomoottorikäyttöiset henkilöautot ovat hallinneet markkinoita lähes sadan vuoden ajan. Hybridi- ja sähkömoottoritekniikka henkilöautojen voimanlähteenä ei ole uusi idea, vaan jo henkilöauton keksimisen aikaan sähkömoottorit olivat tarjolla vaihtoehtoiseksi voimanlähteeksi, mutta erinäisten syiden vuoksi polttomoottorista vakiintui kuitenkin normi massatuotantoon (Dijk & Yarime, 2010). Hybridi- ja sähköautojen merkittäväksi haitaksi on koettu suurten akkujen mukanaan tuomat tilarajoitteet sekä suuri massa. Myös akkujen varauksen keston sekä latausajan pituuden suhteen on ollut ongelmia. Viime aikoina akkuteknologian kehittyessä ovat kennostot pienentyneet sekä akun varauksen kesto pidentynyt, joten hybridi- ja sähköautot alkavat olla yhä kilpailukykyisempiä perinteisempiin polttomoottorimalleihin verrattuna. Myös Orbach ja Fruchter (2011) ovat ennustaneet akkujen halpenemisen toimivan suurimpana ajurina hybridi- ja lopulta sähköautojen

markkinoiden valloitukselle. Näiden teknologioiden mukanaan tuomat päästövähennykset ovat kiistattomia. On kuitenkin huomioitava, että polttomoottoritekniologia kehittyi myös jatkuvasti (Berggren & Magnusson, 2012; Alagumalai, 2014). Berggrenin ja Magnussonin (2012) mukaan polttomoottoritekniologia ei ole vielä kehittynyt huippuunsa mahdollisimman taloudelliseksi, eikä polttomoottorien aika ole vielä ohitse perinteisen tekniologian alhaisempien kustannuksien sekä infrastruktuurin ollessa riittämättömän laajamittaisen sähköautoilun mahdollistamiseen.

Tällä hetkellä autoteollisuutta pidetään yhtenä vaikutusvaltaisimmista toimialoista maailmassa, joten vihreillä lähestymistavoilla joita siellä käytetään voi olla iso merkitys myös muille liiketoiminnan ja teollisuuden sektoreille. Siksi myös sekä autonvalmistajat että kuluttajat tahtovat ajoneuvoja, joissa on parempi polttoainetalous ja alhaisemmat ympäristövaikutukset. Noin 97 % ajoneuvojen käyttämästä energiasta on öljyperustaista (Brey, Contreras, Carazo, Brey, Hernandez-Diaz & Castro, 2007).

Perusongelmana vaihtoehtoisia polttoaineita käyttävien ajoneuvojen diffuusiossa on se, että niiden tuomilla hyödyillä eli energiankulutuksen ja ympäristövaikutusten vähentämisellä, ei ole suoraa vaikutusta yksityiseen sektoriin. Suurin osa autoilun tuomista hyödyistä on yksilöä koskevaa, mutta sen aiheuttamat kustannukset jakautuvat sekä yksityisiin että julkisiin. Yksityisiä kustannuksia ovat esimerkiksi auton käyttökustannukset sekä henkilökohtaisen loukkaantumisen riski liikenneonnettomuuksissa. Julkisia kustannuksia puolestaan ovat esimerkiksi liikenneinfrastruktuurin rakentaminen ja ylläpito, melu, ruuhkat, onnettomuudet sekä ilman saastuttaminen. Näitä julkisia kustannuksia sanotaan autoilun negatiivisiksi ulkoisvaikutuksiksi, sillä yksittäisen autoilijan ei tarvitse huomioida niitä omassa autoilun kustannusten ja hyötyjen analyysissään ajamispäätöstä tehdessään. Ratkaisuksi ja suoran kilpailun perinteisten polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen kanssa mahdollistamiseksi tarvitaankin julkisen sektorin tukea, sillä ilman näitä haittavaikutuksia yksityisiin kustannuksiin sisällyttävää politiikkaa yksilöt eli autoilijat saattavat tehdä ratkaisuja jotka ovat hänelle itselleen hyväksi, mutta yhteisön kannalta haitallisia. (Brey et al., 2007; Yiannakoulis, Bland & Scott, 2014; Demir, Huang, Scholts & Van Woensel, 2015)

Tutkimuksissa on usein keskitytty joko hybridi- tai sähköautojen tutkimiseen. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus käsitellä molempia peräkkäisinä tuotesukupolvina, jotka pyrkivät asteittain kehittymällä alentamaan autoilun ympäristövaikutuksia, sekä huomioida myös nykyiseen polttomoottoritekнологiaan tehtyjä parannuksia. Tutkimuksessa otetaan kantaa myös tuoreimman tiedon valossa sähkö- ja hybridautojen markkinoiden tämänhetkiseen tilanteeseen tarkemmin Suomen ja Länsi-Euroopan osalta.

Tutkimus toteutetaan kirjallisuuskatsauksena aihetta käsitteleviin tieteellisiin teksteihin sekä vihreän teknologian innovaatioiden diffuusion tilanteeseen markkinoilla. Teoriapohja nojautuu Everett M. Rogersin (2003) luomaan innovaatioiden diffuusion malliin. Työssä keskeisiä käsitteitä ovat *innovaatioiden diffuusio*, *hybriditekнологia*, *vihreä teknologia*, *sähköauto*, sekä *polttomoottori*. Vihreällä teknologialla viitataan *“teknologiaan jonka tarkoitus on hallita tai kumota ihmisen ympäristöön aikaansaamia vaikutuksia”* (Oxford Dictionaries, 2015). Polttomoottori on perinteinen, tavallisesti bensiinillä tai dieselillä toimiva moottori. Sähköauto on auto, jossa on voimanlähteenä pelkkä sähkömoottori, hybriditekнологiaa hyödyntävissä autoissa voimanlähteenä toimii perinteisen polttomoottorin ja sähkömoottorin tai -moottorien yhdistelmä. Innovaatio on yksilön tai muun omaksujajoukon uutena kokema idea, käytäntö tai objekti (Rogers, 2003, 36). Diffuusio taas määritellään prosessina, jossa tällainen innovaatio kommunikoidaan tiettyjen kanavien välityksellä jonkun sosiaalisen järjestelmän jäsenille tietyn ajanjakson aikana (Rogers, 2003, 35).

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusongelmat

Päällimmäisenä tarkoituksena tässä tutkimuksessa on selvittää miten vihreän teknologian innovaatiot ja menetelmät ovat levinneet autoteollisuuden toimialalla, ja onko levinneisyydellä ja omaksujilla havaittavissa yhteyttä innovaatioiden diffuusion teoriamalliin. Tarkoituksena on myös selvittää, ketkä henkilöautojen valmistajista ja kuluttajista ovat olleet rohkeimpia innovoijia teknologioiden käyttöönotossa. Lisäksi pyritään selvittämään mitkä tekijät vaikuttavat vihreiden innovaatioiden leviämiseen autoteollisuudessa ja voidaanko diffuusiota edistää joillain tietyillä keinoilla.

1.1.1 Tutkimuskysymykset

Päätutkimuskysymyksenä tässä tutkielmassa on:

”Miten vihreän teknologian innovaatiot ovat levinneet henkilöautoja valmistavien yritysten joukossa?”

Tämän lisäksi tutkittavia alaongelmia ovat:

”Miten hybridi- ja sähköautot ovat diffusoituneet Suomen markkinoilla?”

”Millä keinoin vihreiden innovaatioiden diffuusiota voidaan edistää?”

1.2 Tutkimuksen rajaukset

Kuten jo aihepiiristä käy ilmi, tutkimus kohdistuu toimialana autoteollisuuden, tarkemmin henkilöautojen valmistuksen piiriin. Pääasiallisena kohteena ovat yleisesti tunnetut henkilöautoja valmistavat yritykset. Ajallisesti tutkimus rajautuu 2000-luvun taitteesta nykypäivään, sillä tuolloin vihreä teknologia ja autoilun päästöt nousivat kunnolla puheenaiheeksi. Ensimmäiset hybridivoimanlähteiset henkilöautot suurilta autonvalmistajilta tulivat myös silloin markkinoille: Toyota Prius vuonna 1997 ja Honda Insight vuonna 1998 (Dijk & Marime, 2010).

1.3 Teoreettinen viitekehys

Innovaatioiden diffuusiomallin pohjalta on myös tehty paljon tutkimusta eri toimialoilla ja diffuusiotutkimus on ollut poikkitieteellisestikin suosittu tutkimussuuntaus (Rogers, 2003, 101). Viime aikoina myös vihreän teknologian innovaatiot, sekä hybridi- ja sähköautot ja niiden rooli tieliikenteen päästöjen vähentämisessä ovat saaneet osakseen paljon akateemista huomiota. (Poullikkas, 2015; Millo, Rolando, Fuso & Mallamo, 2014)

1.4 Tutkimusmenetelmä ja -aineisto

Tutkimus toteutetaan kvalitatiivisena kirjallisuuskatsauksena. Tutkimuksessa käydään läpi tieteellisiä julkaisuja, joissa käsitellään vihreän teknologian innovaatioita autoteollisuuden toimitusketjuissa sekä vihreän teknologian innovaatioiden diffuusiota autoteollisuuden parissa pääosin hybridi- ja sähköautojen muodossa. Lisäksi käsitellään näiden autojen tilannetta Suomessa. Autojen myynti- ja rekisteröintilukuja tarkastellaan saatavilla olevien julkisten tilastojen avulla.

2. INNOVAATIOIDEN DIFFUUSIO

Innovaatioiden diffuusion tutkimuksen yhtenä perusteoksena toimii Everett M. Rogersin alunperin vuonna 1962 julkaistu *Diffusion of Innovations*. Kirjassaan Rogers (2003, 36) määrittelee innovaation yksilön tai muun omaksujajoukon uutena kokemana ideana, käytäntönä tai objektina. Diffuusio puolestaan on prosessi, jossa tällainen innovaatio kommunikoidaan tiettyjen kanavien välityksellä sosiaalisen järjestelmän jäsenille, jonkin tietyn ajanjakson aikana (Rogers, 2003, 35). Diffuusioon suhtaudutaan vielä erityisenä kommunikaation tyyppinä, jossa käsitellään uusiksi ideoiksi käsitettävien viestien leviämistä. Kommunikaatio puolestaan on prosessi, jossa osallistujat sekä luovat että jakavat informaatiota toistensa kanssa yhteisymmärryksen saavuttamiseksi. Myös kommunikaatioprosessissa diffuusiolla voidaan käsittää olevan erityinen luonne, sillä viestin sisältämän idean uutuusellisuus tuo mukanaan jonkinasteista epävarmuutta ja koettua riskiä, jota toisaalta voidaan vähentää informaatiota hankkimalla. (Rogers, 2003, 35-36)

Innovaatio voidaan tutkijoiden mielestä vielä tarkemmin tiivistää (Rogers, 2003) uudeksi ideaksi, joka saattaa olla vanhojen ideoiden uudelleenkombinaatio, uusi rakenne joka haastaa vallitsevan järjestyksen, tai yksilöllinen lähestymistapa joka koetaan uutena. Sähkö- ja hybridimoottoristen ajoneuvojen tapauksessa kyseessä on itseasiassa vanhojen keksintöjen uudelleenkombinaatio, sillä sähköautotekniikka on ollut olemassa lähes yhtä pitkään kuin henkilöautokin. Myöhemmin on keksitty yhdistää sähkö- ja polttomoottorin tuomat hyödyt taloudellisemmän ajoneuvon mahdollistamiseksi. Myös sosiaalisen järjestelmän arvot ja ympäristöystävällisyyden ja ilmastonmuutoksen trendit yhdessä päästölainsäädännön, -tavoitteiden sekä määräysten kanssa ovat osaltaan nostaneet tällaisten innovaatioiden kysyntää.

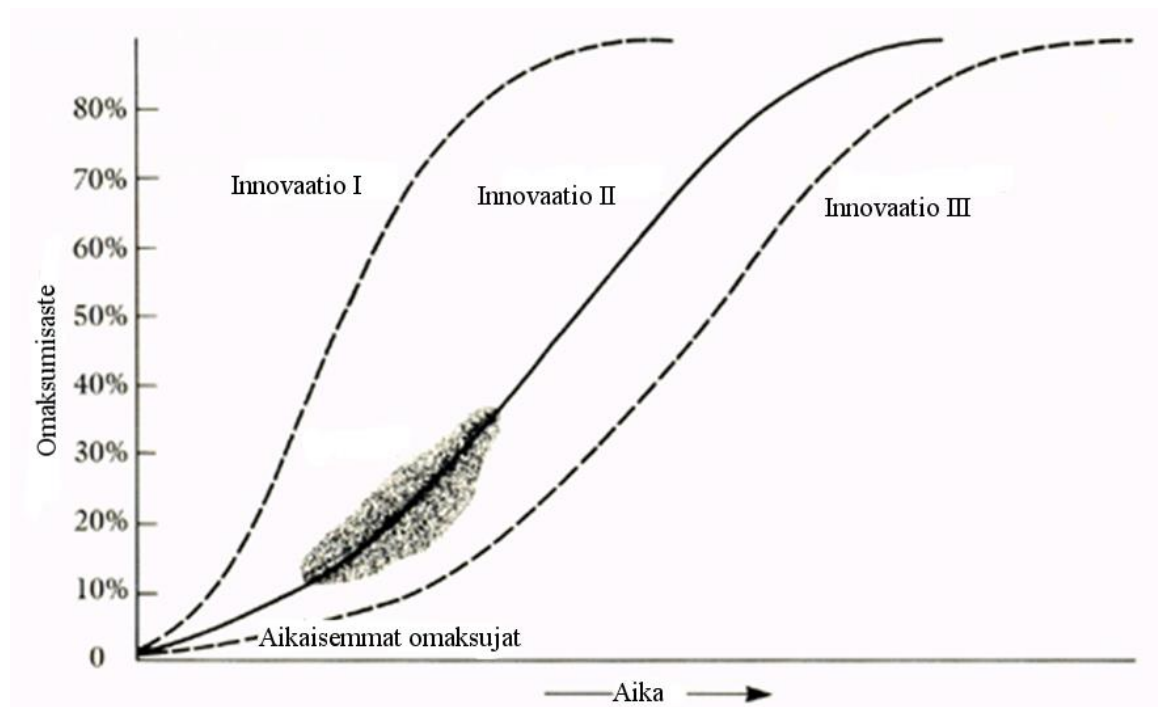
Diffuusio aiheuttaa yhteisössä muutoksia sen rakenteissa ja toiminnoissa. Uusien ideoiden ilmaantuessa, diffusoituessa, ja tullessa käyttöön otetuksi tai hylätyksi aiheutuu yhteisössä muutoksia, jollaisia voi saada aikaan myös esimerkiksi poliittinen vallankumous, luonnonkatastrofi tai hallituksen ajama politiikka. (Rogers, 2003, 6)

Innovaatioiden diffuusiosta olemassa oleva tutkimusaineisto on laaja. Tärkeimmät kontribuutiot tulevat taloustieteen, markkinoinnin, sosiologian ja antropologian parista.

Taloustieteilijät ovat luoneet ekonometrisiä malleja uusien tuotteiden ja teknologioiden diffuusion selittämiseen, ottaen huomioon hinnan ja aiemman kuluttajakäyttäytymisen. Ostajan käyttäytymistä selittäviä tutkimusinstrumentteja on hyödynnetty markkinoinnin tutkimuksissa. Viime aikoina monitieteellinen tutkimus on kasvattanut suosiotaan, tutkien muun muassa koulutuksen ja lääketieteen innovaatioiden diffuusiota. (Karakaya, Hidalgo & Nuur, 2014)

2.1 Diffuusiitutkimuksen historiaa

Innovaatioiden diffuusion tutkimus alkoi itsenäisesti toimineiden tutkijaryhmien toimesta 1940- ja 1950-luvuilla. Jokaisessa näistä tutkijakeskitymistä keskityttiin eri innovaatioihin eri tieteenaloilla, esimerkiksi maatalouden innovaatioiden leviämiseen maanviljelijöiden keskuudessa sekä toisaalla uusien opetusmenetelmien käyttöönottoon kouluhenkilökunnan parissa. Erilaisista tutkimuskohteista huolimatta samankaltaisia löydöksiä kävi tutkimuksista ilmi, kuten diffuusion S-muotoisen käyrän (Kuva 1) noudattaminen sekä aikaisempien omaksujien ylempi sosioekonominen asema verrattuna myöhempään omaksujiin. (Rogers, 2003, 39)



Kuva 1. Innovaatioiden diffuusion S-käyrä (Rogers, 2003, 11)

1960-luvun puolivälistä alkaen eri tieteenalojen väliset aidat diffuusiotutkimuksessa alkoivat hiljalleen hävitä, ja trendi kohti yhtenäisempää diffuusiotutkimuksen alaa syntyi (Rogers, 2003, 40). Markkinoinnin parissa diffuusiotutkimus alkoi nostaa suosiotaan vahvasti 1960-luvulla. Bassin (1969) kehittämä malli, jonka pohjalta kyetään ennustamaan ja estimoimaan uuden tuotteen omaksumisastetta, on saavuttanut suuren suosion markkinoinnin parissa toimivan diffuusiotutkimuksen saralla. Tämän mallin pohjalta on edelleen kehitetty uusia malleja erityisempiä tapauksia varten, kuten korkean teknologian tuotteiden peräkkäisten mallisukupolvien (Norton & Bass, 1987) diffuusion tutkimiseksi.

2.2 Ekologiset innovaatiot

Ekologisilla innovaatioilla viitataan Karakayan, Hidalgon ja Nuurin (2014) mukaan laajaan määrään erilaisia innovaatioita, kuten uusiutuvan energian teknologioihin, saastumisen hallintaan sekä jätteiden käsittelyn välineisiin. Fusslerin ja Jamesin (1996) mukaan ekologinen innovaatio on “uusi tuote tai prosessi, joka tuottaa liiketoiminnalle tai asiakkaalle arvoa mutta merkittävästi vähentää ympäristön kuormitusta”.

Katsauksen ekologisten ja vihreiden innovaatioiden (engl. eco-innovations) tutkimukseen suorittaneet Karakaya, Hidalgo ja Nuur (2014) perustelivat artikkelinsa tärkeyttä sillä, että ekologisten innovaatioiden alan akateeminen kirjallisuus keskittyy lähinnä lainsäädännön, määräysten, teknologian, markkinoiden ja yritys kohtaisten tekijöiden käsittelyyn, eikä suoraan diffuusion tutkimukseen. Viime aikoina ekologisten innovaatioiden saavutettua jo kypsän vaiheen elinkaarensa näiden diffuusion ymmärtäminen on tullut yhä tärkeämmäksi. (Karakaya, Hidalgo & Nuur, 2014)

Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin markkinahypoteesin (lead market hypothesis), kestävien transaktioiden (sustainable transactions) ja ekologisen modernisaation (ecological modernization) olevan olennaisimpia tutkimussuuntauksia ekologisten innovaatioiden diffuusion tutkimuksessa. Toisaalta näiden innovaatioiden tutkimuksen havaittiin olevan vain heikosti sidoksissa Rogersin (2003) perinteiseen teoriaan. (Karakaya, Hidalgo & Nuur, 2014)

2.3 Kritiikkiä diffuusiotutkimusta kohtaan

Diffuusiotutkimuksen yhtenäistyminen tieteenlajien rajat ylittäväksi ei ole ollut pelkästään hyvä asia. Rogersin (2003, 40) mukaan tämä on johtanut samankaltaisiin tutkimuksiin eri tieteenaloilta, joissa muutamia tutkimusongelmia lähestytään lähes stereotyyppisiltä kannoilta. Aiemmat suppeammat näkökulmat ovat vaihtuneet tarpeettomaan diffuusiotutkimuksen tutkimusnäkökulmien standardointiin (Rogers, 2003, 40).

Innovaatioiden diffuusioiden tutkimusten ongelmana on koettu se, että erilaisten diffuusiomallien validiteetti ja ennustuskyky ovat olleet tyydyttävällä tasolla ainoastaan niissä tapauksissa, joissa tutkimuksen kohteena on ollut kulutushyödykkeitä. Näistä kulutushyödykkeiden tutkimukseen keskittyvistä malleista tunnetuin on Bassin malli (Bass, 1969). Muunlaisia tuotteita tutkittaessa diffuusiomallien validiteetin ja ennustuskyvyn on havaittu olevan selvästi heikompia.

Erääksi pahimmista diffuusiotutkimuksen epäkohdista Rogers (2003, 106) mainitsee sen painotteisuuden uusien innovaatioiden suosimiseen. Tämä oli myös yksi ensimmäisistä tunnistetuista ongelmista diffuusiotutkimuksen saralla (Rogers ja Shoemaker, 1971). Innovaatioiden suosimisen painotus (engl. pro-innovation bias) tarkoittaa diffuusiotutkimuksen suuntausta, jonka mukaan innovaation tulisi aina onnistuneesti levitä sosiaalisessa järjestelmässä ja se tulisi ottaa käyttöön kaikkien tietyn yhteisön jäsenten toimesta varauksetta, eikä tätä innovaatiota tulisi koskaan keksiä uudelleen tai hylätä. (Rogers, 2003, 106)

Muita Rogersin esiin nostamia kritiikin aiheita diffuusiotutkimuksessa ovat yksilön syyllistämisen taipumus (individual-blame bias), muistamisongelma (recall problem) sekä tasa-arvoisuuden ongelmat (issue of equality). Näistä ensimmäinen tarkoittaa taipumusta syyttää yksilöä tämän ongelmista sen sijaan että syytettäisiin koko järjestelmää jonka osa kyseinen yksilö on. Muistamisongelmalla tarkoitetaan vastaajan vaikeuksia muistaa milloin tämä on ottanut käyttöön uuden innovaation, ja tasa-arvon ongelmilla tarkoitetaan sosioekonomisten erojen kasvua uusien innovaatioiden levitessä sosiaalisessa järjestelmässä. (Rogers, 2003, 134-135)

Diffuusioteoriaa pitävät myyttinä McMaster ja Wastell (2005), joiden mukaan sen perustana ei ole empiirinen validiteetti. Heidän kritiikkinsä kohteena on teknologisen innovaation luonne sekä vaikutus, jonka kritiikitön luotto diffusionismiin saa aikaan tällaisten ilmiöiden ymmärrystä kohtaan. Diffuusioteoria on heidän mielestään johtava malli, koska se on tutkimustarkoituksiin sopiva eikä siksi että se olisi empiirisesti luotettava.

3. INNOVAATIOIDEN OMAKSUJAKATEGORIAT JA OMINAISUUDET

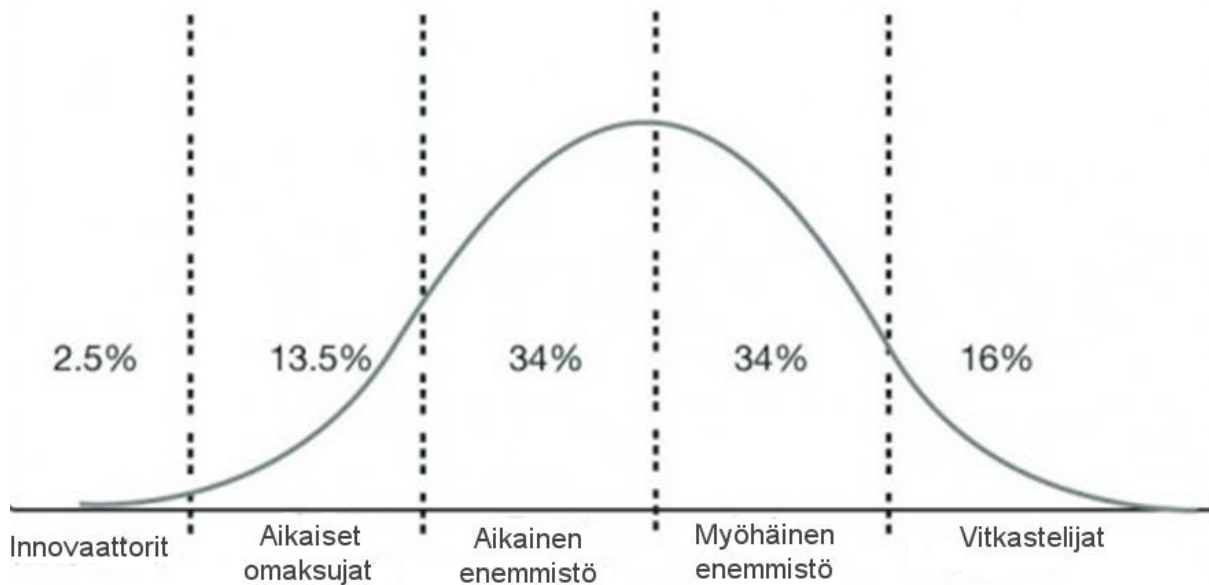
Tässä luvussa esitellään diffuusioteorian mukaiset innovaatioiden omaksujien kategoriat sekä käsitellään tutkimuksissa ja tieteellisessä kirjallisuudessa käyttöön vakiintuneita innovaatioiden ominaispiirteitä ja ominaisuuksia.

3.1 Innovaatioiden omaksujakategoriat

Sosiaalisen järjestelmän jäsenet eivät kaikki omaksu uusia innovaatioita samanaikaisesti ja samalla tavalla. Sen sijaan omaksuminen tapahtuu ajan kuluessa jaksoittain. Koska jokaisen yksilön yksilöllistä omaksumisnopeutta ei ole järkevää tutkia, jaetaan järjestelmän jäsenet viiteen omaksujakategoriaan, joista jokainen pitää sisällään samankaltaisen omaksumisen asteen omaavia yksilöitä. (Rogers, 2003, 267)

Innovaation omaksujaluokissa tietyn sosiaalisen järjestelmän yksilöt jaetaan ryhmiin sen perusteella, missä ajassa he omaksuvat innovaation. Ryhmät eroavat toisistaan sen mukaan mikä on heidän tyypillinen reaktionsa uuden teknologian aiheuttamaan jatkumattomaan (discontinuous), eli täysin uuteen innovaatioon. Jokaisella omaksujaluokalla on omanlaisensa psykograafinen profiili, eli yhdistelmä psykologisia ja demografisia piirteitä, joka erottaa sen muista omaksujaluokista. (Moore, 1999, 11) Innovatiivisuudella mitataan ryhmien jäsenten suhteellista aikaisuutta tai myöhäisyyttä omaksua uusi innovaatio muihin saman sosiaalisen järjestelmän jäseniin verrattuna. (Rogers, 2003, 22)

Innovaation omaksijat voidaan jakaa viiteen eri kategoriaan: innovaattorit (innovators), aikaiset omaksijat (early adopters), aikainen enemmistö (early majority), myöhäinen enemmistö (late majority) ja vitkastelijat (laggards) (Rogers, 2003, 270; Moore, 1999, 9-10). Näiden luokkien suhteelliset prosenttiosuudet sekä jakauman kuvaaja ovat nähtävillä seuraavalla sivulla (Kuva 2).



Kuva 2. Innovaation omaksujaluokat Rogersin mukaan (Rogers, 2003, 281)

Omaksujaluokkien rajat osuvat käyrällä likimain keskihajontojen kohdille. Aikainen ja myöhäinen enemmistö ovat noin yhden keskihajonnan päässä keskiarvosta, aikaiset omaksujat ja vitkastelijat noin kahden, sekä innovaattorit noin kolmen keskihajonnan päässä keskimääräisestä omaksumisajasta. (Moore, 1999, 11)

3.1.1 Innovaattorit

Innovaattoreiden kiinnostus uusia ideoita kohtaan ajaa heidät vertaisverkostojen ulkopuolelle, kosmopoliittisempiin sosiaalisiin suhteisiin. Riittävän suuret taloudelliset resurssit, joista on apua epäonnistuneeksi osoittautuvan innovaation omaksumisen aiheuttamien tappioiden kestämiseksi, ovat yksi innovaattoreiden ryhmän tunnuspiirteistä. Ymmärrystä monimutkaisesta teknisestä tietoudesta tarvitaan uusien innovaatioiden aikaisimpaan omaksujajoukkoon kuulumisessa, kuten myös riskinsietokykyä. Innovaattoreiden roolina on tuoda sosiaaliseen järjestelmäänsä uusia ideoita sen ulkopuolelta. (Rogers, 2003, 282-283) Koska innovaattorit ovat ensimmäisiä omaksujia he eivät voi tukeutua muiden sosiaalisen järjestelmänsä jäsenien subjektiivisiin näkemyksiin tuotteesta omaksumispäätöstä tehdessään (Rogers, 2003, 22).

Innovaattorit etsivät aggressiivisesti uutta teknologiaa hyödyntäviä tuotteita, joskus jopa ennen kuin varsinainen markkinointi on alkanut. Heitä kiinnostaa pohjimmiltaan uuden teknologian tuoman hyödyn mahdollisuus ja usein he ostavat esimerkiksi uuden laitteen vain uuden teknologian tutkimisen innosta. (Moore, 1999, 12)

Ensimmäiset innovaattorit varsinkin sähköautojen tapauksessa ovat olleet todella kiinnostuneita tulevaisuuden teknologiasta, sillä infrastruktuuri on ollut käytännössä olematon. Laajamittaisesti se ei vielääkään ole lähelläkään valmista, vaikka joissain kaupungeissa täysimittainen sähköautoilu onkin mahdollista jo suhteellisen helposti latauspisteiden riittävän määrän vuoksi.

3.1.2 Aikaiset omaksijat

Aikaiset omaksijat ovat innovaattoreita paremmin integroituneita paikalliseen sosiaaliseen järjestelmäänsä ja heitä pidetään roolimalleina innovaatioiden omaksumisen suhteen, sillä he eivät ole liian kaukana edellä keskivertoa omaksujaa. (Rogers, 2003, 283)

Mooren (1999, 12) mukaan aikaiset omaksijat eroavat innovaattoreista myös siinä mielessä että he eivät ole teknologisteja ja omaksu innovaatiota vain uutuudenviehätyksen vuoksi vaan he havaitsevat uuden teknologian mukanaan tuomat hyödyt ja kykenevät näkemään miten se hyödyttäisi heitä eri tapauksissa.

Korkean sosiaalisen statuksensa ansiosta aikaiset omaksijat toimivat yleensä oman sosiaalisen järjestelmänsä sisäisinä mielipidejohtajina. Heidän kuluttajakäyttäytymistään uusien tuotteiden tai ideoiden suhteen seurataan, ja heiltä myöskin kysytään neuvoja uutta teknologiaa koskien. Aikaisten omaksujien johdosta epävarmuus innovaatiota kohtaan järjestelmän sisällä hälvenee heidän antamistaan subjektiivisista tuote-arvioista johtuen. Voidaan sanoa että tämä omaksujien joukko antaa kuvainnollisen hyväksymisleiman uudelle innovaatiolle omaksumalla sen itse käyttöönsä. (Rogers, 2003, 283)

Aikaisia omaksujia kuvaa ehkä parhaiten ensimmäiset hybridautojen omaksujat. He katsoivat että polttoaineiden hintojen noustessa osin sähköllä kulkeva auto tulee pitkällä tähtäimellä mahdollisesti halvemmaksi ja liikennepäästöiltään vähemmän saastuttavaksi. Tähän ryhmään kuuluu myös ne sähköauton hankkineet, jotka katsoivat asuinalueensa latausverkoston ja muun infrastruktuurin tarjoavan mahdollisuuden päivittäiseen sähköautoiluun ilman suuria ongelmia tai uhrauksia. Kokonaisuutena voidaan mielestäni katsoa hybridi- ja sähköautomarkkinoiden länsimaissa olevan aikaisen omaksumisen vaiheessa.

3.1.3 Aikainen enemmistö

Aikainen enemmistö omaksuu uudet ideat juuri ennen keskivertoa järjestelmän jäsentä. Heillä ei ole usein yhteisössään mielipidejohtajan asemaa, kuten kahdella aikaisemmalla omaksujaluokalla, mutta heidän voidaan katsoa toimivan tärkeänä linkkinä aikaisten omaksujien ja suhteellisesti myöhäisempien omaksujajoukkojen välissä ja täten tärkeänä osana diffuusioprosessia. Kuten kuvasta 2 käy ilmi, on tämä joukko lukumäärältään suuri, muodostaen noin kolmanneksen (34 %) koko järjestelmän jäsenistöstä. Aikainen enemmistö usein harkitsee melko pitkäänkin ennen uuden innovaation omaksumista, mutta he ovat kuitenkin selvästi halukkaita omaksumaan uusia ideoita. (Rogers, 2003, 284)

Aikaisella enemmistöllä on jokseenkin sama kyky havaita uuden teknologian tuomat käytännön hyödyt kuin aikaisilla omaksujilla, mutta he kaipaavat aiemmilta omaksujaluokilta ensin käytännön näyttöä innovaation onnistumisesta (Moore, 1999, 13). Aikaista enemmistöä kuvannee tutkimuksen aihepiirin tapauksessa henkilö, joka on jo harkinnut siirtyvänsä hybridi- tai sähköautoon, mutta haluaa ensin seurata miten hyvin naapurin tai muun tuttavahan hankkima vastaava ajoneuvo selviää esimerkiksi Suomen talviolosuhteissa.

3.1.4 Myöhäinen enemmistö

Myöhäinen enemmistö muodostaa samankokoisen osuuden jäsenistöstä kuin aikainen enemmistö, eli noin 34 %. He ovat innovaatioiden suhteen selvästi skeptisiä ja omaksuvat ne käyttöön keskiarvoa myöhemmin. Heidän omaksumisensa on usein

seurausta taloudellisesta pakotteesta sekä kasvaneesta ryhmäpaineesta. Sosiaalisen järjestelmän normien tulee suosia innovaatiota selkeästi ennenkuin myöhäinen enemmistö suostuu sen omaksumaan. Heidän suhteellisten niukkojen resurssiensa vuoksi he eivät kestä riskiä läheskään yhtä paljon kuin innovaattorit ja aiemmat omaksujat, joten suurin osa uuteen ideaan liittyvästä epävarmuudesta täytyy olla hävinnyt ennen kuin tämä luokka kokee omaksumisen riittävän turvalliseksi. (Rogers, 2003, 284)

Myöhäinen enemmistö ei luota kykyynsä omaksua uutta teknologiaa, joten he odottavat kunnes innovaatiosta on vakiintunut uusi standardituote tai teknologia ja he usein hankkivat sen tunnetulta ja suurelta valmistajalta. (Moore, 1999, 13) Hybridi- ja sähköautomalleja on jo tarjolla monella suurella ja tunnetulla autonvalmistajalla mutta niiden vaatima latausverkkoinfrastruktuuri on vielä monessa maassa kaukana tarpeeksi kattavasta järjestelmästä. Vaaditaankin julkisen vallan latausverkostojen parannusta sekä korkeampaa diffuusioastetta ennen kuin tämä luokka omaksuu täysin uuden teknologian mukaiset ajoneuvot.

3.1.5 Vitkastelijat

Vitkastelijat ovat viimeinen luokka omaksumaan innovaatioita. Heitä kuvataan hyvin perinteisiksi. Heistä juuri kenelläänkään ei ole minkäänlaista mielipidejohtajan asemaa, ja he ovat muutenkin sosiaalisissa verkostoissaan melko eristäytyneitä ja paikallisia. Vertailukohtana heille toimii useasti menneisyys ja aiemmat teot, ja he ovat useimmiten vuorovaikutuksessa vain toisten tämän saman omaksujaluokan jäsenten kanssa. Innovaatioiden suhteen vitkastelijat ovat erittäin epäileväisiä. Heidän päätöksentekoprosessinsa on todella pitkä, mutta heidän innovaatioiden vastustuksensa voi olla vitkastelijan näkökulmasta täysin perusteltua, sillä ennen kuin he voivat omaksua uuden idean, heidän käytössään olevien rajallisten resurssien vuoksi on oltava täysin varmaa ettei se tule epäonnistumaan. (Rogers, 2003, 284-285)

Mooren mukaan (1999, 13) vitkastelijat eivät yksinkertaisesti halua olla missään tekemisissä uuden teknologian kanssa erinäisistä syistä johtuen. Yleensä ainoa vaihtoehto jolloin he ostavat uutta teknologiaa sisältävän tuotteen on kun se on väistämätön osa jotain muuta tuotekokonaisuutta. Tämä tarkoittaa sitä, että viimeiset

vitkastelijat tulevat siirtymään hybridi- ja sähköautomalleihin vasta siinä vaiheessa kun pelkällä polttomoottorilla varustettua vaihtoehtoa ei ole enää tarjolla.

3.2 Innovaatioiden ominaisuudet

Innovaatioiden ominaisuudet voidaan jakaa viiteen eri luokkaan (Rogers, 2003, 223). Nämä luokat ovat vakiintuneet innovaatioiden ominaisuuksien luokittelussa ja menetelmää on käytetty edellisen 50 vuoden aikana tehdyissä innovaatiotutkimuksissa laajalti. Kaikista innovaatioiden omaksumisen astetta ja nopeutta selittävistä muuttujista näiden viiden ominaisuuden on havaittu selittävän noin puolet koko varianssista. Innovaatioiden tutkimus onkin pitkälti keskittynyt näiden ominaisuuksien tutkimiseen ja muut selittävät muuttujat, kuten viestintäkanavat, päätöksentekoprosessin tyyppi, sosiaalisen järjestelmän piirteet ja muutosagenttien edistämistoimien laajuus ovat jääneet tutkimuksissa vähemmälle huomiolle. (Rogers, 2003, 222)

Innovaatio voi lisäksi olla tyypiltään jatkuva (continuous) tai jatkumaton (discontinuous) (Moore 1999, 10). Jatkuvat innovaatiot ovat olemassa olevan teknologian tai tuotteen normaalia kehitystä, eikä niiden omaksuminen vaadi kuluttajalta käyttäytymisen muutosta innovaation tuomien hyötyjen hyödyntämiseksi. Esimerkiksi polttomoottorin kehitys taloudellisemmaksi on jatkuvaa innovaatiota, sillä se ei vaadi kuluttajalta sopeutumista uuteen teknologiaan. Hybridi- ja varsinkin sähköautojen taas katsotaan olevan jo jatkumattomia innovaatioita, sillä vaikka itse auto ja ajaminen suorituksena pysyvät melko samanlaisina, muuttunut käyttövoima ja sähkömoottorien tarvitsema latausverkosto uudistavat autoa tuotteena niin paljon, että kuluttajalta ja yhteiskunnan infrastruktuurilta vaaditaan sopeutumista. (Moore, 1999, 10)

3.2.1 Suhteellinen hyöty

Suhteellisella hyödyllä (relative advantage) tarkoitetaan sitä, kuinka paljon paremmaksi uusi innovaatio koetaan suhteessa vanhaan ideaan, jonka se syrjäyttää (Rogers, 2003, 15). Vaikka suhteellista hyötyä voidaan mitata talouden termein, ovat myös käytännöllisyys ja tyytyväisyys tärkeitä osatekijöitä suhteellisen hyödyn kokemiseen, eikä innovaation objektiivisella paremmuudella ole välttämättä kovinkaan

suurta merkitystä. Merkityksellisempää on, kokeeko yksilö innovaation hyödylliseksi. (Rogers, 2003, 15)

Esimerkiksi tietynmerkkisen puhelimen omaksuminen saattaa olla hyvin nopeaa ja suurta tämän tarjoaman helpon käyttökokemuksen ja koetun käytännöllisyyden vuoksi, vaikka objektiivisesti se ei olisi kilpailijoihinsa parempi teknologisesti ja saattaa olla taloudellisin kriteerein mitattuna kalliimpi käyttää. Suhteellisella hyödyllä on positiivinen vaikutus omaksumisasteeseen (Rogers, 2003, 265).

3.2.2 Yhteensopivuus

Yhteensopivuudella (compatibility) tarkoitetaan Rogersin (2003, 15) mukaan innovaation yhteensopivuutta olemassa oleviin arvoihin, aikaisempiin kokemuksiin sekä mahdollisten omaksujien tarpeisiin nähden. Uusi idea, joka ei sovi yhteen yhteisön arvojen kanssa, ei diffusoidu yhtä nopeasti kuin sellainen, joka vastaa olemassa olevia arvoja. Yhteensopimattoman innovaation omaksuminen vaatii usein uuden arvojärjestelmän käyttöönottoa, mikä itsessään on hidaskäyttöprosessi. (Rogers, 2003, 15) Toisaalta esimerkiksi käytöltään lähes päästötön sähköauto sopii nykyiseen länsimaiseen arvomaailmaan, mutta sen yhteensopivuutta vaikeuttaa latausverkostoinfrastruktuurin puute, täten hidastaen kyseisen innovaation omaksumista.

Tutkimuksissa on havaittu, että vaikka tällä hetkellä erilaisin verohelpotuksin ja kannustinpalkkioin voidaan kannustaa kuluttajia sähköauton hankintaan, tekniset rajoitteet kuten rajoitettu toimintasäde sekä pitkät latausajat ovat vielä esteinä yhteensopivuudelle. Soveltuvan infrastruktuurin rakentaminen sähköautojen laajamittaisen omaksumisen tukemiseksi tulisikin olla päätöksentekijöiden seuraava painopiste. (Gass, Schmidt & Schmid, 2014)

3.2.3 Monimutkaisuus

Monimutkaisuudella innovaatioiden ominaispiirteiden tapauksessa tarkoitetaan ymmärtämisen ja käytön koettua vaikeusastetta. Helpommin opittavissa olevat uudet ideat ja innovaatiot omaksutaan nopeammin kuin monimutkaisemmat ja perehtymistä

vaativat vastineet. (Rogers, 2003, 16) Vaikkei tutkimusten tuloksella saatu aineisto ole täysin aukotonta, voidaan yleistää että innovaation koettu monimutkaisuus vaikuttaa negatiivisesti sen omaksumisasteeseen (Rogers, 2003, 257).

Monet autotekniikan innovaatioista, jotka parantavat ekologisuutta eivät lisää autoilun monimutkaisuutta tai oikeastaan muuta itse ajosuoritusta radikaalisti mihinkään suuntaan. Esimerkiksi hybridi- ja sähköautojen ajotapa ja ajettavuus eivät normaalille tienkäyttäjälle merkittävästi eroa tavallisista polttomoottorikäyttöisistä autoista.

3.2.4 Kokeiltavuus

Kokeiltavuus (trialability) tarkoittaa mahdollisuutta kokeilla uutta ideaa rajoitetusti ennen käyttöönottoa (Rogers, 2003, 16). Suurempi kokeiltavuus vaikuttaa positiivisesti omaksumisasteeseen. Uuden idean kokeilu voi johtaa myös uudelleen innovointiin, jos kokeiluvaiheen aikana havaitaan keinoja muokata innovaatiota paremmin sopivaksi yksilön tarpeisiin. Testaamisen mahdollisuutta pidetään yleensä tärkeämpänä innovaattoreiden omaksujajoukossa, myöhempien omaksujien hyötyessä heidän kokemuksistaan innovaation kokeiltavuuden merkitys heidän parissaan vähenee. Vitkastelijat siirtyvät kokeiluvaiheesta täysimittaiseen käyttöön nopeammin kuin aiemmat omaksujajoukot. (Rogers, 2003, 258) Vähäpäästöisempien autojen kokeiltavuus ei ole ongelma, koeajo järjestyy mikäli mallia vain on liikkeessä tai maahantuojalla saatavilla.

3.2.5 Havaittavuus

Rogersin (2003, 258) mukaan havaittavuus käsitetään innovaation käyttöönoton aiheuttamien vaikutusten näkyvyytenä. Toiset innovaatiot ovat helpompia kommunikoida kuin muut. Havaittavuuden on huomattu olevan positiivisesti liittyneenä omaksumisen asteeseen, eli suurempi havaittavuus kasvattaa innovaation omaksumisastetta. Suurin osa diffuusiotutkimuksessa käsitellyistä innovaatioista on ollut teknologisia innovaatioita. Teknologiaan kuuluu aina kaksi komponenttia, fyysinen aspekti (hardware), joka sisältää teknologian fyysisen objektin tai välineen muodossa, sekä tämän käyttöinformaation perustan sisältävä aspekti (software). Esimerkiksi tietokoneessa komponentit, kuten suoritin ja emolevy (hardware) sekä

tietokoneohjelmistot (software). "Software" -komponentti on näistä kahdesta vaikeammin havaittavissa, joten innovaatiot joissa sillä on suurempi rooli ja siten pienempi havaittavuus omaksutaan yleensä hitaammin. (Rogers, 2003, 259)

Hybridi- ja sähköautot ovat innovaatioina enemmän fyysisesti uudenlaiseen teknologiaan painottuneita ja niiden vaikutukset esimerkiksi päästöihin ja polttoaineenkulutukseen ovat helposti todennettavissa testilaboratorioissa mittauksissa ja myös tieliikennekäytössä. Niiden yksilötasolla havaittavissa oleva vaikutus käytännön kokonaispäästöihin on kuitenkin vielä lähes mahdotonta yksilönä aistia, mutta alentunut polttoaineenkulutus on myös käyttäjän havaittavissa.

4. INNOVAATIO- JA DIFFUUSIOTUTKIMUKSIA AUTOTEOLLISUUDESSA

Tässä kappaleessa esitellään tieteellistä kirjallisuutta jossa on tutkittu innovaatioita ja niiden diffuusiota autoteollisuuden parissa.

Autoteollisuuden ja muun teollisuuden toimialoilla 1990- ja 2000-lukujen taitteesta lähtien innovaatioiden johtaminen ei ole enää välttämättä merkinnyt radikaalisesti eroavien, uusien tuotteiden lanseeraamista vaan yhä useammin kyse on enemmänkin innovatiivisten ominaisuuksien lisäämisestä olemassa oleviin uusiin tuotteisiin. (Beaume et al., 2009) Sähkö- ja hybridautot eivät myöskään välttämättä ole radikaalisti uusia ja eroa valmistajansa perinteisimmistä malleista, vaan useasti kyseessä on yksi malliversio samasta mallista perinteisempien polttomoottorilla varustettujen mallien kanssa, kuten Toyota Auris hybrid, Volkswagen Golf hybrid sekä Honda Civic hybrid.

Autoilun sähköistymisessä ja sähkötekniikan lisääntyessä hybridi- ja sähköautojen muodossa autonvalmistajilta vaaditaan aivan erilaisia kilpailullisia valmiuksia kuin polttomoottoriautojen kanssa. Useat autonvalmistajat ovatkin ryhtyneet tutkimus- ja kehitysyhteistyöhön läheisten akateemisten instituutioiden kanssa tämän seurauksena, joten akateemisten instituutioiden voidaan katsoa toimivan autonvalmistajille merkittävänä innovaation lähteenä. (Sarasini, 2014) Tutkimuksissa kyetään luomaan malleja ja simuloimaan markkinapenetraatioon ja diffuusion asteeseen vaikuttavia tekijöitä esimerkiksi hybridautojen markkinapenetraatiolle (Eppstein, Grover, Marshall & Rizzo, 2011).

Innovaatioiden roolia ympäristöystävällisyyden lisäämiseksi nykyaikaisen autonvalmistusteollisuuden puitteissa tutkineiden Zapatan ja Nieuwenhuisin (2010) artikkeli keskittyy vaihtoehtoisten polttoaineiden ja voimalinjateknologioiden säätelyn innovaatioiden tutkimiseen. Säätelyn roolia tutkiakseen he keskittyivät autojen moottoriturheilussa syntyneisiin teknisiin parannuksiin ja tutkivat niiden leviämistä siviililiikenteeseen. Yleisimpänä syynä teknologian siirtymiseen siviilipuolelle näissä innovaatioissa oli kasvanut turvallisuus tai suorituskyky. 1960-luvulta lähtien havaittiin kuitenkin haara, jossa ajurina tuntui toimivan lainsäätely, liittyen erityisesti tiukentuviin päästörajoituksiin. Tällaisiksi innovaatioiksi lasketaan esimerkiksi kaksoisnokka-akselit

sekä moniventtiiliset sylinterinkannet. Seuraavien 20 vuoden aikana sähkömoottoria hyödyntävien autojen rooli tulee kasvamaan yhä suuremmaksi nykyisestä. Julkisen vallan tukien sekä päästörajoitusten lisäksi akkuteknologian halpeneminen koetaan erittäin tärkeäksi ajuriksi sähkömoottoristen ajoneuvojen yleistymiselle. Näistä ajureista huolimatta akkujen liian matala tuotantokapasiteetti saattaa osoittautua merkittäväksi pullonkaulaksi ja osaltaan rajoittaa teknologian diffuusionopeutta. (Zapata & Nieuwenhuis, 2010; Günther, Kannegiesser & Autenrieb, 2015)

Samankaltaiset löydökset havaittiin myös Försterin (2014) saksalaisia autoteollisuuden toimittajia tutkineessa tutkimuksessa. Tärkeimpänä ajurina uusien innovaatioiden omaksumiselle autonvalmistuksessa toimii kustannusten vähentäminen joko energian tai resurssien kulutusta pienentämällä. Kuluttajien kysynnän ja lainsäädännöllisten muutosten katsottiin myös vaikuttavan positiivisesti uusien teknologioiden tai prosessien omaksumiseen. Suurten investointien tarve katsottiin negatiiviseksi vaikuttajaksi, mutta toisaalta suurimmilla autonvalmistajilla on kuitenkin resursseja investoida. Esimerkiksi nanoteknologian yleistyminen autojen pintakäsittelyssä 20 vuoden aikajänteellä katsottiin erittäin epätodennäköiseksi kalliin teknologian kustannuksen takia. Myöskin kyseisen teknologian ennakoitu 30 %:n omaksumisaste markkinoilla katsottiin liian korkeaksi tavoitteeksi tämänhetkisen hitaan diffuusionopeuden vuoksi.

Eräs keino helpottaa uusien ekologisempien innovaatioiden yleistymistä saattaa olla vuonna 2008 käynnistetty eco-patent commons –ohjelma, johon osallistuvat yritykset tai yksilöt voivat ilmoittaa vihreitä teknologioita suojelevia patenteja kolmansien osapuolien käytettäväksi veloituksetta. Tämän voidaan osaltaan katsoa alentavan uusien ekologisempien menetelmien käyttöönoton kustannuksia patentti- ja lisenssimaksujen puuttuessa, mikä helpottaa varsinkin pienempiä toimijoita toimialalla. (Förster, 2014; Hall & Helmers, 2013)

Omassa tutkimuksessaan Brey et al. (2007) havaitsivat että tämänhetkinen perinteinen polttomoottorikäyttöisten ajoneuvojen paremmuus verrattuna vaihtoehtoihin energiaratkaisuihin, kuten vetypolttokennoon ja maakaasuun, selittyy usein taloudellisten tekijöiden suuremmalla painotuksella vertailujen arvosteluperusteissa. Ympäristötekijöitä painottamalla havaittiin erojen olevan paljon pienempiä, ja joissain

tapauksissa vaihtoehtoisen uudemman teknologian jopa sijoittuvan paremmin. Suuri osa perinteisen polttomoottoritekniikan alemmista kustannuksista johtuu sen pienemmistä kehityskustannuksista, sillä teknologiaa on kehitetty jo vuosikymmenien ajan. Kulurakenne ei ole siis suoraan vertailtavissa uuteen teknologiaan, joka vaatii vielä paljon tuotekehitystä. Itävallan hinnoilla toisiaan vastaavia polttomoottori, hybridi- ja sähköautoa TCO- (Total cost of ownership) menetelmällä verratessa simuloitiin hybridi- tai sähköauton olevan edullisempi vaihtoehto omistaa kokonaiskustannukset huomioiden noin kahden vuoden omistuksen jälkeen. Vaikka hankintahinta oli vastaavaa polttomoottoriautoa selvästi korkeampi, ovat ennustetut polttoaine-, käyttövoima- ja huolto- sekä vakuutuskustannukset uudempaa teknologiaa sisältävissä vaihtoehdoissa alhaisemmat. (Brey et al., 2007; Gass et al., 2014)

Autojen päästöjen lisäksi autoteollisuuden tuotantoketjut ovat raskaita ja myös niissä voidaan hyödyntää erilaisia green sourcing -strategioita ympäristön kuormituksen vähentämiseksi. Toimitusketjujen merkitystä autoteollisuuden kestäväälle kehitykselle sekä sähköautojen roolia toimitusketjun parantamisessa ympäristöystävällisemmäksi on myös tutkittu laajalti. Tuotantoketjun jätteiden eliminoinnin, toimitusketjun riskien hallinnan ja puhtaamman valmistuksen menetelmien on havaittu vaikuttavan positiivisesti toimitusketjujen kestävään kehitykseen, sen sijaan esimerkiksi joustavilla alihankinta- ja kuljetusratkaisuilla sekä käänteislogistiikalla (reverse logistics), jolla tarkoitetaan tavaravirtaa kuluttajilta takaisin valmistajille materiaalien kierrätystarkoituksessa, ei ole havaittu olevan suurta merkitystä toimitusketjujen ympäristöystävällisyyden lisäämiseksi. (Govindan, Azevedo, Carvalho & Cruz-Machado, 2014; Günther et al., 2015)

5. VIHREÄN TEKNOLOGIAN INNOVAATIOT AUTOTEOLLISUUDESSA

Vuoteen 2035 mennessä tieliikenneajoneuvojen määrän odotetaan saavuttavan kahden miljardin kappaleen rajan. Tällöin jo pelkästään liikenteen hiilidioksidipäästöjen pitämiseksi nykyisellä tasolla vaaditaan 50 %:n vähennystä keskimääräisiin päästöihin ajoneuvoa kohden. (Berggren & Magnusson, 2012)

Tässä luvussa käsitellään yleisesti erilaisia päästöjen alentamiseen kehitettyjä teknologioita, jotka jaetaan vihreyden ja sähköistymisen asteen mukaisesti perinteiseen polttomoottoritekнологiaan, sähkömoottoria polttomoottorin apuna hyödyntävään hybriditekнологiaan sekä lopulta pelkästään sähkömoottorin avulla liikkuviin täyssähköautoihin. Kahden ensimmäisen vaiheen voidaan katsoa olevan aikaisempien tuotesukupolvien välivaiheita, jotka asteittain johtavat täysin sähköautoihin siirtymiseen. Lisäksi käsitellään erikseen hybridi- ja sähköautojen nykyistä tilaa Suomen markkinoilla ja esitellään lyhyesti muita innovaatioita jotka eivät liity suoraan auton voimanlähteen kehittämiseen.

Minkä tahansa toimialan evoluutiossa innovaatiolla on suuri rooli (Castellano, Ivanova, Maâlaoui, Safrou & Schiavone, 2013). Macvaugh'n ja Schiavoren (2010) mukaan perinteinen innovaatioiden diffuusion ja omaksumisen malli ei välttämättä toteudu kaikissa tapauksissa ja uusia teknologisia innovaatioita ei aina oteta käyttöön, vaan vanhemmat teknologiat ovat yhä käytössä, vaikka ne kilpailevatkin uusien teknologioiden kanssa. Tällä hetkellä automarkkinoilla on käynnissä juuri tällainen tilanne, jossa perinteistä teknologiaa edustavat polttomoottorilla varustetut ajoneuvot kilpailevat uudempaa teknologiaa edustavien hybridi- ja sähkömoottoristen vaihtoehtojen kanssa pääosin samoista kuluttajista ja markkinasegmenteistä.

Samanlaisiin tuloksiin pääsivät omassa tutkimuksessaan Norton ja Bass jo vuonna 1987, jolloin he havaitsivat ettei uusia teknologioita omaksuta välittömättömästi käyttöön kaikkien potentiaalisten kuluttajien toimesta. Uusi teknologia saattaa kuitenkin osaltaan laajentaa markkinoita tarjoamalla sovelluksia, jotka eivät olleet aikaisemmin mahdollisia. Kun uusien teknologioiden välinen aikaväli on lyhyt, on mahdollista että aikaisempi, vanhempi teknologia jatkaa yhä diffuusioitumistaan vaikka uudempi vastaava on jo tullut kilpailemaan samoillemarkkinoille. (Norton & Bass,

1987)

Orbach ja Fruchter (2011) ottivat omassa tutkimuksessaan huomioon hybridi- ja sähköautoteknologian kehittyvän luonteen. Heidän mukaansa hybridautot ovat välivaihe siirryttäessä tuotesukupolvi kerrallaan kohti yhä sähköisempää autoa, päätyen lopulta kokonaan pelkällä sähkömoottorilla varustettuihin autoihin. Niinpä he loivatkin mallin, jossa ennustetaan myynnin ja tuotekehityksen evoluutiota ottaen nämä piirteet huomioon. Uuden tuotesukupolven tullessa markkinoille tapahtuu yleensä samanaikainen teknologinen kehitys sekä hinnan lasku. Useissa tapauksissa uusi tuote on vain tietyltä ominaisuudeltaan parempi kuin olemassa oleva ja saattaa olla joiltain osin huonompi julkaisun aikaan. Tällöin vain tätä tiettyä ominaisuutta painottavat innovaattorit omaksuvat uuden tuotteen muiden jäädessä käyttämään vanhempaa mallia. (Orbach & Fruchter, 2011) Näin on ollut myös hybridi- ja sähköautojen tapauksessa viime vuosiin saakka, jolloin niiden toimintasäde on parantunut ja hinta tullut alaspäin. Aiempia malliversioita hankkivat lähinnä innovaattorit, jotka arvostivat pienempiä päästöjä ja ympäristöystävällisyyttä ylitse muiden ominaisuuksien.

Collantes (2007) tutki vetykäyttöisten polttokennoautojen diffuusiota sisällyttäen sidosryhmien näkökulmat uuden teknologian diffuusion malleihin. Tutkimuksessa havaittiin markkinapenetraation noudattavan diffuusiomallin käyrän muotoa, sekä myös se että kuluttajat preferoivat pieniä kehitysaskelia innovaatioissa, kuten ensin hybridauton omaksumista ennen siirtymistä vetypolttokennolla toimivaan autoon. Tällä havainnolla on merkittävä vaikutus, sillä voidaan olettaa hybridautojen toimivan myös väliportaana ennen täysin sähköllä toimiviin autoihin siirtymistä. Siksi saattaisi olla kannattavampaa keskittyä aluksi kehittämään hybriditeknologiaa mahdollisimman moniin automalleihin ennemmin kuin täysin sähköautoihin keskittymistä.

5.1 Polttomoottori

Polttomoottoritekнологiaan on tehty paljon parannuksia, jotka edesauttavat saavuttamaan paremman hyötysuhteen ja alentavat polttoaineenkulutusta tehden moottoreista ympäristöystävällisempiä. Viime aikoina myös downsizing –trendi ja sen mukanaan tuoma turboahdettujen moottorien lisääntyminen ovat vahvasti yleistyneet

pitkälti päästötavoitteiden ansiosta. Downsizing autoteollisuuden viitekehyksessä tarkoittaa polttomoottorien iskutilavuuden pienentämistä, sylinterimäärän vähentämistä sekä usein myös aiemmin vapaastihengittävän moottorin korvaamista pienemmällä iskutilavuudella varustetulla mutta turboahdetulla moottorilla. Näillä toimenpiteillä kyetään saamaan vastaava suorituskyky ja teho pienemmällä kulutuksella ja siten myös haitallisilla päästöillä. (Police, Diana, Giglio, Iorio & Rispoli, 2006) Viime vuosina downsizingista on muodostunut trendi autonvalmistajien keskuudessa, jopa viimeiset vitkastelijat perinteisten vapaastihengittävien urheiluautojen valmistajat ovat joutuneet omaksumaankin teknologian osaan malleista, Ferrari hylkäsi vapaastihengittävät V8-moottorit 488 GTB-mallin myötä. Myös Porsche on ilmoittanut seuraavan sukupolven 911-klassikkomallinsa kaikkien moottorivaihtoehtojen olevan todennäköisesti turboahdettuja (Kacher, 2014).

Toinen esimerkki perinteisen polttomoottorin teknologisesta parantamisesta päästöjen vähentämiseksi on ruotsalaisen autovalmistaja Koenigseggin patentoima vapaaventtiili (eng. freevalve) –teknologia, jossa pneumaattisesti erikseen ohjatut venttiilit korvaavat nykyisen normin mukaisen nokka-akselin yhdessä ohjaamat venttiilit. Tämän teknologian avulla on valmistajan itsensä mukaan (Freevalve, 2015b) mahdollista pienentää polttomoottorin fyysisiä mittasuhteita sylinterinkansien viedessä huomattavasti vähemmän tilaa, mikä samalla alentaa myös moottorin massaa. Lisäksi venttiilikoneisto kuluttaa noin 10 % vähemmän energiaa perinteiseen teknologiaan verrattuna, sekä vähentää kylmäkäynnistyksen haitallisia päästöjä 75 % nykyisiin polttomoottoreihin verrattuna. Lisäksi vastaavaan perinteiseen, kaksoisnokka-akselilla ja polttoaineen suorasuihkutuksella varustettuun polttomoottoriin verrattuna on mitattu 12 – 17 % alempi polttoaineen kulutus. (Freevalve, 2015a; 2015b)

Lisäksi tuotannon kasvaessa vapaaventtiilisten moottoreiden kustannukset asettunevat jokseenkin samalle tasolle nykyisten polttomoottoreiden kanssa. Valmistaja uskookin tämän teknologian toimivan erinomaisena välivaiheena tieliikenteen sekä muiden polttomoottoreita hyödyntävien kulkuneuvojen päästöjen alentamisessa ennen siirtymistä kokonaan sähköautoteknologiaan. (Freevalve, 2015b)

Vapaaventiiliteknologiaa ei ole vielä laajalti tutkittu ja testattu muuten kuin valmistajansa toimesta, joten lukuihin tulee suhtautua varauksella. Kulutusta ja siten päästöjä sen avulla on kuitenkin mahdollista alentaa.

5.2 Hybridiautot

Ensimmäiset kuluttajille laajemmin tarjolla olevat hybridiautot tulivat markkinoille Toyotan ja Hondan toimesta vuosituhannen vaihteessa. Toyota Prius julkaistiin Japanin kotimarkkinoille vuonna 1997 ja ensimmäisenä vuonna sitä myytiin lähes 18 000 kappaletta. Honda Insight lanseerattiin kahta vuotta myöhemmin, 1999, ollen ensimmäinen massamarkkinoille USA:ssa tullut hybridiauto. Vuonna 2000 myös Toyota Prius oli saatavilla USA:ssa. Vuonna 2004 toisen sukupolven mallin Toyota Prius voitti Vuoden auto –tittelin Pohjois-Amerikassa. (Berman, 2011)

Nykyään lähes jokaisella suurella autonvalmistajalla on tarjota hybridivoimanlähteellä varustettu versio ainakin jostain automallistaan, useilla jopa lähes jokaisesta automallista. Alkuun hybridiautoja ei pidetty kovin suorituskykyisinä ja urheilullisina, mikä on vaikuttanut varmasti näitä piirteitä autossa kaipaavien kuluttajien suhtautumiseen niitä kohtaan. Moni sarjavalmisteen urheiluauto ei vielääkään hyödynnä hybriditeknologiaa, mutta kolmen tunnetun urheiluautovalmistajan rajoitetun tuotannon huippumallit McLaren P1, Porsche 918 Spyder ja Ferrari LaFerrari, jotka toimivat merkkiensä lippulaivana, hyödyntävät kaikki hybriditeknologiaa osana voimanlähdeään (Meaden, 2014). Myös autourheilussa Formula 1 –sarjan autot sekä WEC –sarjan, johon sisältyy tunnettu LeMansin 24 tunnin kilpailu, LMP1 –luokan kilpa-autot käyttävät hybriditeknologiaa (FIA, 2015a; FIA, 2015b), ja näissä moottoriurheilun parissa syntyvien innovaatioiden voidaan Zapatan ja Nieuwenhuisin (2010) artikkelin mukaisesti ennustaa joskus päätyvän sovellettuna myös katuautojen puolelle.

Noin vuoden markkinoilla ollut BMW:n i8 -urheiluauto, joka on polttomoottorihybridiksi, on ylittänyt myyntiennusteet. Kysyntä tälläkin hetkellä ylittää tuotannon, vaikka tuotantokapasiteettia on jo kaksinkertaistettu alkuperäisestä. Myös BMW:n täyssähköauto i3 nousi ensimmäisenä vuotena markkinoilla ollessaan maailmanlaajuisesti kolmanneksi suosituimmaksi sähköautomalliksi. BMW:n mielestä sähkö- ja hybridiautojen menestymisen takana on selkeästi julkisen vallan poliittinen

tuki latausverkostoinfrastruktuurin rakentamisen sekä verohelpotusten muodossa. Esimerkiksi Norjassa hybridi- ja sähköautojen pysäköinti ja lataus julkisista pistokkeista on ilmaista, eikä niistä peritä myynti- tai rekisteröintiveroa. (BMW Group, 2015; Automotive News, 2015a)

Suurista valmistajista myös Volkswagen näkee tilanteen niin, että hybridimallit toimivat vielä välimuotona ennen siirtymistä kokonaan sähköautoihin. Heidän mielestään akkuteknologia ei toistaiseksi takaa tarpeeksi pitkää toimintasädettä ajoneuvoille, vaan teknologian kehitystä on vielä odotettava ennenkuin kokonaan pelkän sähkömoottorin varassa toimivat autot ovat arkipäivää. He eivät siis aio olla ensimmäisten innovaattoreiden joukossa sähköautoteknologian omaksumisessa. Volkswagen on kuitenkin ilmaissut aikeensa olla sähköistettyjen autojen markkinajohtaja tulevina vuosina ja Volkswagen Groupin mukaan heidän on mahdollista sisällyttää sähkömoottoritekniikkaa jopa 40 automalliinsa ilman suuria muutoksia ja lisäkustannuksia, suurilta osin heidän käyttämänsä alustarakenteensa ansiosta johon voidaan sisällyttää monia erilaisia voimanlähteitä. Hänen mukaansa ladattavat pistokehybridit ovat paras keskipitkän aikavälin ratkaisu päästöjen vähentämiseen toimintasädettä liaksi heikentämättä. (Automotive News, 2015b)

5.3 Sähköautot

Täyssähköautoja pidetään tulevaisuuden ajoneuvona. Vaikka hybridi-autojen suosio viime vuosina on ollut kasvussa, ne ratkaisevat fossiilisten polttoaineiden ja ympäristön ongelmat vain osaksi, sillä ne käyttävät yhä perinteistä polttomoottoria voimanlähteensä komponenttina. (Eggers & Eggers, 2011) Kuten jo aiemminkin on mainittu, on sähköautojen diffuusio epäonnistunut aiemmin, jo henkilöauton keksimisestä lähtien. Eggers ja Eggers (2011) kehittivät omassa tutkimuksessaan yksilön preferensseihin pohjautuvan mallin sähköautojen leviämisen ennustamiseen.

Akkuteknologia kehittyä kovaa vauhtia, ja osaltaan auttaa merkittävästi sähkömoottoria hyödyntävien hybridi- ja sähköautojen suorituskyvyn parantamista samalla kustannuksia alentaen. Tällä hetkellä litium-ioniakustot maksavat 496 USD kilowattitunnilta, mikä on 60 % vähemmän kuin vuonna 2010. Analytikkojen mukaan viiden vuoden sisällä hinta saattaa edelleen pudota 175 USD:in. Kasvaneet

myyntimäärät ja suuremmat valmistusvolyymit ovat osaltaan auttaneet akkuteknologian hintojen alenemisessa. Esimerkiksi Tesla Motorsin tekemä merkittävä investointi maailman suurimman akkutehtaan, Gigafactoryn, rakentamiseen saattaa jopa aiheuttaa akkujen hintatason alenemisen alle 100 USD:n rajan kilowattituntia kohden seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tätä rajaa pidetään kynnyksenä hybridautojen pysymisenä hintatasoltaan kilpailullisina ilman julkisen vallan tukia tai helputuksia. (Goossens, 2015; Tesla Motors, 2014a; 2014b)

Länsi-Euroopan sähköautomyynti kasvoi reilusti, 51,7 % vuonna 2014 pitkälti norjalaisten aikaisten innovaattoreiden ansiosta. Laskeneet polttoaineiden hinnat saattavat osaltaan aiheuttaa sen, että sähköautojen kasvanut myyntivauhti pysähtyy hetkeksi, kun tavalliset kuluttajat, jotka muodostavat suurimmat innovaation omaksujaluokat aikaisen ja myöhäisen enemmistön muodossa siirtävät omaa sähköauton hankintapäätöstään tulevaisuuteen. Nyt sähköautojen myyntimäärien Länsi-Euroopassa odotetaan pysyvän vuoden 2014 tasolla jopa seuraavat viisi vuotta, johtuen pitkälti ennalta arvaamattoman alhaisesta öljyn hinnasta, joka alentaa polttomootoriautojen autoilun kustannuksia. Näistä seikoista johtuen esimerkiksi Renault-Nissan on joutunut hylkäämään aiemman arvionsa, jonka mukaan jo vuoteen 2020 mennessä sähköautojen maailman markkinaosuus olisi 10 %.

(Winton, 2015)

5.4 Hybridi- ja sähköautot Suomessa

Hybridi- ja sähköautojen suosio Suomessa on ollut jatkuvassa nousussa, mutta on vielä kokonaismäärältään pientä. Vaikka päästöperusteinen autoverotus osaltaan madaltaa vähäpäästöisten mallien hankintahintaa suhteessa saastuttavampiin vaihtoehtoihin, ovat myös sähkö- ja hybridivoimanlähteellä varustetut autot Suomessa uusina melko kalliita hankkia, eikä valtio toistaiseksi tue niiden ostamista läheskään yhtä radikaaleilla panostuksilla kuin esimerkiksi Norja. Myös Suomen talviset ja kylmät olosuhteet asettavat erityisesti enemmän sähkömoottoriin luottaville malleille haasteita lämmityksen ja akkukapasiteetin riiton suhteen.

Oheiseen taulukkoon (Taulukko 1) on koottu hybridi- ja sähkömoottorikäyttöisten henkilöautojen kappalemäärät Suomen ajoneuvokannasta vuosittain. Hybridautojen

osalta tietoja on saatavilla vuodesta 2006 lähtien, mutta sähköautojen kohdalla tilastointia on alettu suorittaa tarkemmin vasta myöhemmin vuonna 2010, jolloin niitä on ollut rekisteröitynä 23 kappaletta. Molempien määrissä nähdään jatkuvaa ja melko nopeaa kasvua, mutta määrät ovat toki vielä pieniä. Esimerkiksi vuonna 2014 ensirekisteröitiin noin 2700 hybridi- tai sähkömoottorista henkilöautoa, mikä vastaa vasta noin 2,5 %:n osuutta kaikista ensirekisteröinneistä (n. 106 000 kpl) (Trafi, 2015b).

Taulukko 1. Hybridi- ja sähkömoottoriset henkilöautot ajoneuvokannassa 31.12.2006 – 31.12.2014 (Trafi, 2015a)

	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
Hybridik. Yht.	11 517	8 741	6 114	4 469	3 200	1 997	1 135	360	224
Muutos-%	31,8	43,0	36,8	39,7	60,2	75,9	215,3	60,7	-
Sähkök. Yht.	360	169	109	56	23	-	-	-	-
Muutos-%	113,0	55,0	94,6	143,5	-	-	-	-	-

Sähköautojen rekisteröintitilastoa (Taulukko 2) tarkastellessa huomataan Teslan kasvattaneen osuuttaan selvästi, vuonna 2013 Teslan Model S -mallia rekisteröitiin 2 kpl mutta viime vuonna peräti 94, mikä vastaa yli puolta kaikista rekisteröidyistä sähköautoista. Yhdessä Nissan LEAFin kanssa ne hallitsevatkin toistaiseksi selvästi Suomen sähköautomarkkinoita. Myös Nissanin rekisteröinnit lähes kaksinkertaistuivat edelliseen vuoteen verrattuna, ja kokonaisuutena sähköautoja rekisteröitiin yli kolminkertainen määrä edellisvuoteen verrattuna.

Taulukko 2. Sähkökäyttöisten henkilöautojen ensirekisteröinnit Suomessa 1.1.2014 – 31.12.2014 (Trafi, 2015b)

Merkki ja malli	1-12/2014	1-12/2013	Muutos-%
Ford Focus Electric	4	2	100,0
Mitsubishi i-MiEV	2	4	-50,0
Nissan LEAF	79	41	92,7
Tesla Model S	94	2	4600,0
Volkswagen e-Up!	4	-	-
Yhteensä	183	50	266,0

Mitsubishi i-MiEV on ollut rekisteröidyistä sähköautomalleista ainoa jonka rekisteröintimäärät alenivat edellisvuodesta. Kappalemääräisesti puhutaan kuitenkin kokonaisuutena niin pieneistä myyntimääristä ettei johtopäätöksiä voi tehdä. Oikeastaan markkinasegmenttiä hallitsivat selkeästi Nissan LEAF sekä Tesla Model S, kaikkien muiden kohdalla kyse oli vain muutamien kappaleiden rekisteröintimääristä. On mielenkiintoista seurata, kuinka uudet kilpailijat saavat omat tuotteensa diffusoitua Suomen markkinoille, esimerkiksi BMW:n i3 -mallin suoriutumiseen tässä segmentissä kannattaa kiinnittää huomiota.

5.5 Muita autoteollisuuden innovaatioita

Kaikki vihreän teknologian innovaatiot autoilun kestäväen kehityksen ja ympäristöystävällisyyden parantamiseksi eivät liity pelkästään auton voimanlähteen kehitykseen ja käytössä syntyvien haittavaikutusten minimointiin. Esimerkiksi toimitusketjut kokonaisuutena ovat ympäristöä kuormittavia.

Uudelleenvalmistus tai jälleenvalmistus (remanufacturing) on teollinen prosessi, jossa käytettyjä tuotteita kunnostetaan uudelleen käyttökelpoisiksi (Subramoniam, Huisingh & Chinnam, 2009). Tutkimuksissa on havaittu autoteollisuuden komponenttien jälleentuottamisella (automotive component remanufacturing, ACR) olevan merkittävä rooli Kiinan autoteollisuuden hiilidioksidipäästöjen alentamisessa ja energiankulutuksen pienentämisessä. (Tian, Chu, Hu & Li, 2014)

Ympäristöpoliittisten instrumenttien vaikutusta innovaatioihin tutkineet Bergek ja Berggren (2014) havaitsivat kolme eriävää lopputulosta kahta saastuttavaa teollisuuden alaa, auto- ja energiateollisuutta tutkiessaan. Tutkituilla sektoreilla havaittiin poliittisilla toimilla olevan avainrooli ympäristöystävällisten innovaatioiden kehityksessä ja diffuusiosta. Erilaiset instrumenttityypit soveltuivat erilaisiin innovaatiotyyppihin, yleiset talousinstrumentit vaikuttivat eniten vähäiseen asteittaiseen innovaatioon, lainsäädännölliset ja sääntelyn instrumentit vaikuttivat modulaarisia innovaatioita vahvistaen ja teknologiaspesifit instrumentit tukivat parhaiten radikaalisti uusien teknologioiden innovaatioiden diffuusiota. (Bergek & Berggren, 2014)

Vaikka itse tieliikenteen ja ajoneuvojen toiminnan aiheuttamat päästöt ovat olleet huomion kohteena, ajoneuvojen jakeluverkoston aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat jääneet tutkimuksissa vähemmälle huomiolle. Varsinkin uusien ajoneuvojen jakelukanavat tehtaalta jälleenmyyjille ja loppukäyttäjille ovat jäneet vähälle huomiolle, vaikka niidenkin ympäristövaikutukset ovat huomattavat ja jatkuvan tarkkailun alla. (Nieuwenhuis, Beresford & Choi, 2012)

Espanjalaista autoteollisuutta tutkiessa tunnistettiin kolme eri tyyppiä ekologiseen suuntautumiseen yritysten keskuudessa. Suurin osa tutkituista yrityksistä (81,2 %) kuului ryhmään, josta tutkijat käyttävät nimitystä "eco-balanced". Nämä toimijat suuntaavat toimintaansa ympäristöystävällisemmäksi tasapainossa sisäisten prosessien sekä ulkoisten markkinoiden vaikutusten takia. "Eco-marketers" -ryhmän (9,4 %) yrityksiä ohjaa vahvemmin markkinoiden tuottama informaatio. Kolmas ryhmä "eco-blind" ei jostain syystä näe tai halua nähdä ympäristöystävällisempien prosessien kasvavaa merkitystä. Tuloksissa myös vahvistettiin aikaisemmissa tutkimuksissa havaittu positiivinen korrelaatio innovatiivisuuden ja ekologisten innovaatioiden välillä, eli prosesseihin ja tuotteisiin keskittyneet yritykset olivat myös ympäristöystävällisemmin suuntautuneita. (Mondejar-Jimenez, Segarra-Ona, Peiro-Signes, Paya-Martinez & Saez-Martinez, 2015)

Toimitusketjuja ja valmistustapoja muokkaamalla koko autoteollisuutta toimialana voidaan siis muokata ympäristöystävällisemmäksi. Yritysten tulisi kuitenkin viimeistään nyt alkaa huomata ympäristöystävällisempien prosessien omaksumisen merkitys tulevaisuuden markkinoilla menestymiselle.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkielmassa käsiteltiin kirjallisuuskatsauksena vihreän teknologian innovaatioita autoteollisuuden parissa. Työn teoriapohjana toimii innovaatioiden diffuusioteoria (Rogers, 2003). Innovaatioita ja niiden diffuusiota käsiteltiin katsauksena aiheesta tehtyihin tutkimuksiin. Tarkemmin keskityttiin tarkastelemaan autojen voimanlähteitä koskevia teknologisia parannuksia polttomoottori-, hybridi-, ja sähköautojen tapauksissa, kahden jälkimmäisen osalta myös tämänhetkistä tilannetta Suomen markkinoilla käsiteltiin työssä. Päättökysymyksenä oli *“Miten vihreän teknologian innovaatiot ovat levinneet henkilöautoja valmistavien yritysten joukossa”*, lisäksi tutkittavina alaongelmina olivat *“Miten hybridi- ja sähköautot ovat diffuusoituneet Suomen markkinoilla”* sekä *“Millä keinoin vihreiden innovaatioiden diffuusiota voidaan edistää”*.

Ensimmäisenä uuden teknologian omaksuvia kutsutaan diffuusioteorian mukaan innovaattoreiksi. Heillä on oltava kiinnostusta uutta teknologiaa kohtaan sekä riittävän suuret taloudelliset resurssit taloudellisen riskin sietämiseksi. (Rogers, 2003, 282–283) Sähköautomarkkinoilla menestynyt Tesla Motors on osoitus siitä, että sähköautoteknologia on vielä toistaiseksi suurimmaksi osaksi innovaattoreiden omaksumaa. Tesla Model S oli Suomen myydyin sähköauto, vaikka se oli hankintahinnaltaan korkea, Suomessa alkaen 85 990 EUR (Auto-Outlet, 2015). Niitä ovat ostaneet siis tarpeeksi varakkaat teknologiasta kiinnostuneet innovaattorit, ja onkin mahdollista että valmistaja on huomionnut tämän markkinointistrategiassaan tarjoten aluksi kalliimpia ja yleisempiä malleja ensimmäisille riittävät taloudelliset resurssit omaaville innovaattoreille.

Sen sijaan hybridautoja on tarjota jo lähes jokaisella tunnetulla autonvalmistajalla. Ne eivät vaadi kuluttajalta läheskään yhtä suurta sopeutumista kuin täyssähköautot, sillä ne luottavat vielä perinteiseen polttomoottoriin osana voimanlähdeään eikä tällöin akkujen latauksen riittävydestä tarvitse huolehtia. Myös perinteisen polttomoottoriteknologian parissa tehdään jatkuvaa kehitystä kohti pienempiä päästöjä. Viime vuosina ilmaantuneen downsizing-trendin lisäksi syntyy uusia innovaatioita, jotka ovat vielä diffuusion lähtöpisteessä kuten vapaaventiilitekнологia.

Hybridi- ja sähköautojen kohdalla voidaan länsimaissa puhua kokonaisuutena diffuusion asteesta, joka on siirtynyt jo innovaattoreiden luokasta selvästi aikaisiin omaksujiin. Myös Suomessa, joka ei ole näiden innovaatioiden omaksumisen kärkimaita, hybridi- ja sähköautojen kokonaisosuus (2,5%) on jo saavuttanut teoriamallin innovaattoreiden omaksujaluokan suhteellisen osuuden, myös 2,5%. Sähköautojen kohdalla diffuusiota hidastaa infrastruktuurin riittämättömyys latausverkoston riittämättömän kattavuuden muodossa. Merkittäviksi tekijöiksi sähköautoilun edistämiseksi on monessa tutkimuksessa nostettu esiin julkisen vallan tuki infrastruktuuriparannusten ja verohelpotusten muodossa.

Sähköautojen diffuusio vaikutti lupaavalta ja etenkin Norjassa vahvat tuet ja verohelpotukset ovat saaneet sähköautojen myyntimäärät kasvuun. Rohkeasti sähköautoteknologiaa edistävä ja innovoiva Tesla Motors on otettu markkinoilla erittäin hyvin vastaan, myös Suomessa. Viime vuonna öljyn hinta kuitenkin romahti ja sen myötä fossiiliset polttoaineet halpenivat, mikä vaikuttaa negatiivisesti sähköautojen diffuusion kuluttajien enemmistön lykätessä ostopäätöstään perinteisen autoilun kustannusten alennuttua.

Infrastruktuurin puuttuessa ja akkuteknologian kehittymistä odotellessa vaikuttaa siltä, että monet valmistajat näkevät ensin hybridimallien yleistyvän välivaiheena ennen siirtymistä kokonaan sähköautoihin. Kyseessä on tutkimuksissakin havaittu esimerkki peräkkäisten sukupolvien diffuusiosta, jossa aiempi teknologia jatkaa diffuusoitumistaan vaikka uudempi korvaava on jo tullut markkinoille. Joillain alueilla maailmassa täysimittainen sähköautoilu on jo kuitenkin mahdollista, ja siellä olevien innovaattoreiden nopean omaksumisen kautta myös innovatiivisilla valmistajilla, kuten pelkästään sähköautoja valmistavalla Tesla Motorsilla on tilaisuus onnistua.

Tässä työssä keskityttiin vain itse moottoreiden mekaanisten komponenttejen teknisiin parannuksiin, eikä esimerkiksi biopolttoaineiden vaikutusta päästöihin käsitelty lainkaan. Myöskään sähkö- ja hybridautojen tarvitseman sähköenergian tuotannon ympäristöystävällisyyttä ei käsitelty millään tavalla. Sähköautotekniikka kehittyy kapasiteetin ja hinnan suhteen nopeaan tahtiin kuten tietotekniikkakin, joten markkinatilanteet voivat muuttua nopeasti jopa parissa vuodessa. Suomessa autoverokeskustelu on tätä kirjoittaessa ollut eduskuntavaalien aikaan taas esillä, joten

seuraavat vuodet osoittavat miten mahdolliset veromuutokset vaikuttavat tilanteeseen. Vaikka polttoaineiden hinnat kokivatkin laskun ja ei tiedetä milloin ne nousevat edeltävälle tasolle, on trendi kuitenkin ylöspäin mikä osaltaan ajaa kohti vaihtoehtoisia energialähteitä.

LÄHDELUETTELO

Alagumalai A. (2014) Internal combustion engines: Progress and prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38, 561-571

Automotive News (2015a) BMW CEO sees EV initiatives helping i3 sales in key markets [Verkkodokumentti] [Viitattu 9.4.2015] Saatavilla: <http://www.autonews.com/article/20150324/COPY01/303249967/bmw-ceo-sees-ev-initiatives-helping-i3-sales-in-key-markets>

Automotive News (2015b) Volkswagen plans on hybrids while it waits for longer-range batteries [Verkkodokumentti] [Viitattu 9.4.2015] Saatavilla: <http://www.autonews.com/article/20150312/OEM05/150319945/volkswagen-plans-on-hybrids-while-it-waits-for-longer-range-batteries>

Auto-Outlet (2015) Tesla Model S, hinnasto 7.2.2015 alkaen. Saatavilla: <http://www.auto-outlet.fi/wp-content/uploads/Tesla-Model-S-Hinnasto-07.02.2015.pdf>

Bass F. M. (1969) A New Product Growth Model for Consumer Durables, *Management Science* 15, 215-227

Beaume R., Maniak R., Midler C. (2009) Crossing innovation and product projects management: A comparative analysis in the automotive industry, *International Journal of Project Management* 27, 166-174

Berggren C., Magnusson T. (2012) Reducing automotive emissions – The potentials of combustion engine technologies and the power of policy, *Energy Policy* 41, 636-643

Bergek A., Berggren C. (2014) The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies, *Ecological Economics* 106, 112-123

Berman B. (2011) History of Hybrid Vehicles [Verkkodokumentti] [Viitattu 16.4.2015] Saatavilla: <http://www.hybridcars.com/history-of-hybrid-vehicles/>

BMW Group (2015) Statement and presentation by Dr. Norbert Reithofer, Chairman of the Board of Management of BMW AG, Annual Accounts Press Conference in Munich on 18 March 2015 [Verkkodokumentti] [Viitattu 9.4.2015] Saatavilla: https://www.press.bmwgroup.com/global/pressDetail.html?title=statement-and-presentation-by-dr-norbert-reithofer-chairman-of-the-board-of-management-of-bmw-ag&outputChannelId=6&id=T0208743EN&left_menu_item=node__804

Brey J.J., Contreras I., Carazo A.F., Brey R., Hernandez-Diaz A.G., Castro A. (2007) Evaluation of automobiles with alternative fuels utilizing multicriteria techniques, *Journal of Power Sources* 169, 213-219

Castellano S., Ivanova O., Maâlaoui A., Safrou I., Schiavone F. (2013) Back to the future: adoption and diffusion of innovation in retro-industries, *European Journal of Innovation Management* 16(4), 385-404

Collantes G. (2007) Incorporating stakeholders' perspectives into models of new technology diffusion: The case of fuel-cell vehicles, *Technological Forecasting & Social Change* 74, 267-280

Dijk M., Yarime M. (2010) The emergence of hybrid-electric cars: Innovation path creation through co-evolution of supply and demand, *Technological Forecasting & Social Change* 77, 1371-1390

Demir E., Huang Y., Scholts S., Van Woensel T. (2015) A selected review on the negative externalities of the freight transportation: Modeling and pricing, *Transportation Research Part E* 77, 95-114

Eggers F., Eggers F. (2011) Where have all the flowers gone? Forecasting green trends in the automobile industry with a choice-based conjoint adoption model, *Technological Forecasting & Social Change* 78, 51-62

Eppstein M.J., Grover D., Marshal J., & Rizzo D. (2011) An agent-based model to study market penetration of plug-in hybrid electric vehicles, *Energy Policy* 39 (6), 3789-3802

Euroopan komissio (2015) Reducing CO2 emissions from passenger cars [verkkodokumentti] [Viitattu 17.2.2015] Saatavilla: http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars/index_en.htm

FIA Federation Internationale de l'Automobile (2015a) Formula 1 2015 Technical Regulations, Saatavilla: <http://www.fia.com/regulations/regulation/fia-formula-one-world-championship-110>

FIA Federation Internationale de l'Automobile (2015b) FIA World Endurance Championship classes [Verkkodokumentti] [Viitattu 16.4.2015] Saatavilla: <http://www.fiawec.com/presentation/classes.html>

Freevalve (2015a) FreeValve Technology [Verkkodokumentti] [Viitattu 14.4.2015] Saatavilla: <http://www.freevalve.com/technology/free-valve-technology/>

Freevalve (2015b) Questions & Answers [Verkkodokumentti] [Viitattu 14.4.2015] Saatavilla: <http://www.freevalve.com/technology/questions-and-answers/>

Fussler C., James P. (1996) Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability, Pitman Publishing, Lontoo

Förster B. (2015) Technology foresight for sustainable production in the German automotive supplier industry, *Technological Forecasting & Social Change* 92, 237-248

Gass V., Schmidt J., Schmid E. (2014) Analysis of alternative policy instruments to promote electric vehicles in Austria, *Renewable Energy* 61, 96-101

Goossens E., (2015) Bloomberg Business: *Cheap Batteries under The Hood add Power to Cut Fuel Consumption* [Verkkodokumentti] [Viitattu 9.4.2015] Saatavilla: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-03-24/cheap-batteries-under-the-hood-add-power-to-cut-fuel-consumption>

Govindan K., Azevedo S., Carvalho H., Cruz-Machado V. (2014) Impact of supply chain management practices on sustainability, *Journal of Cleaner Production* 85, 212-225

Günther H.-O., Kannegiesser M., Autenrieb N. (2015) The role of electric vehicles for supply chain sustainability in the automotive industry, *Journal of Cleaner Production* 90, 220-233

Hall B.H., Helmers C. (2013) Innovation and diffusion of clean/green technology: Can patent commons help?, *Journal of Environmental Economics and Management* 66, 33-51

Kacher G. (2014) Every Porsche 911 to go turbocharged in 2015 with 991.2 [Verkkodokumentti] [Viitattu 16.4.2015] Saatavilla: <http://www.carmagazine.co.uk/spy-shots/porsche/every-porsche-911-to-go-turbocharged-in-2015-with-9912/>

Karakaya E., Hidalgo A., Nuur C. (2014) Diffusion of eco-innovations: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 392-399

MacVaugh J., Schiavone F. (2010) Limits to the diffusion of innovation: a literature review and integrative model, *European Journal of Innovation Management* 13 (2), 197-221

Marquez-Ramos L. (2015) The relationship between trade and sustainable transport: A quantitative assessment with indicators of the importance of environmental performance and agglomeration externalities, *Ecological Indicators* 52, 180-183

McAuley J. (2003) Global sustainability and key needs in future automotive design, *Environmental Science & Technology* 37, 5414-5416

McMaster T., Wastell D. (2005) Diffusion – or delusion? Challenging an IS research tradition, *Information Technology & People*, 18(4), 383-404

Meaden R. (2014) The battle of the hybrid hypercar *The Telegraph* 9.5.2014
[Verkkodokumentti] [Viitattu 16.4.2015] Saatavilla:
<http://www.telegraph.co.uk/motoring/news/10819761/The-battle-of-the-hybrid-hypercars.html>

Millo F., Rolando L., Fuso R., Mallamo F. (2014) Real CO2 emissions benefits and end user's operating costs of a plug-in Hybrid Electric Vehicle, *Applied Energy* 114, 563-571

Mondejar-Jimenez J., Segarra-Ona M., Peiro-Signes A., Paya-Martinez A. M., Saez-Martinez F. J. (2015) Segmentation of the Spanish automotive industry with respect to the environmental orientation of firms: towards an ad-hoc vertical policy to promote eco-innovation, *Journal of Cleaner Production* 86, 238-244

Moore, G. (1999) *Crossing the Chasm*, Rev. edition, HarperCollins, New York

Nieuwenhuis P., Beresford A., Choi A.K.-Y. (2012) Shipping or local production? CO2 impact of a strategic decision: An automotive case study, *International Journal of Production Economics* 140, 138-148

Norton J., Bass F. (1987) A Diffusion Theory Model for Successive Generations of High-technology Products, *Management Science* 33, 1069-1086

Orbach Y., Fruchter G. E. (2011) Forecasting sales and product evolution: The case of the hybrid/electric car, *Technological Forecasting and Social Change* 78, 1210-1226

Oxford Dictionaries (2015) Oxford Dictionary: Green technology, Saatavilla:
<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/green-technology>

Police G., Diana S., Giglio V., Iorio B., Rispoli N. (2006) Downsizing of SI Engines by Turbo-charging, 8th Biennial ASME Conference of Engineering Systems Design and Analysis. 4.-7.7. 2006, Torino, Italia

Poullikkas A. (2015) Sustainable options for electric vehicle technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 1277-1287

Rogers E. (2003) Diffusion of Innovations, 5th ed., The Free Press, New York

Rogers E., Shoemaker F. (1971) Communications of Innovations: A Cross-Cultural Approach, The Free Press, New York

Sarasini S. (2014) Electrifying the automotive industry: The geography and governance of R&D collaboration, *Environmental Innovation and Societal Transitions* 13, 109-128

Subramoniam R., Huisingh D., Chinnam R. (2009) Remanufacturing for the automotive aftermarket-strategic factors: literature review and future research needs, *Journal of Cleaner Production* 17, 1163-1174

Tesla Motors (2014a) Lehdistöiedote: Nevada Selected As Official Site for Tesla Battery Gigafactory [Verkkodokumentti] [Viitattu 9.4.2015] Saatavilla: <http://www.teslamotors.com/blog/nevada-selected-official-site-tesla-battery-gigafactory>

Tesla Motors (2014b) Lehdistöiedote: Panasonic and tesla Sign Agreement for the Gigafactory [Verkkodokumentti] [Viitattu 9.4.2015] Saatavilla: <http://www.teslamotors.com/blog/panasonic-and-tesla-sign-agreement-gigafactory>

Tian G., Chu J., Hu H., Li H. (2014) Technology innovation system and its integrated structure for automotive components remanufacturing industry development in China, *Journal of Cleaner Production* 85, 419-43201

Trafi (2015a) Liikenteen turvallisuusvirasto: Ajoneuvokannan käyttövoimia [Verkkodokumentti] [Viitattu 12.4.2015] Saatavilla: http://www.trafi.fi/tietopalvelut/tilastot/tieliikenne/ajoneuvokanta/lk-ajoneuvojen_kayttovoimatilastot

Trafi (2015b) Liikenteen turvallisuusvirasto: Henkilöautojen ensirekisteröinnit käyttövoimittain [Verkkodokumentti][Viitattu 12.4.2015] Saatavilla: http://www.trafi.fi/filebank/a/1421751383/b8f1cecfa41d535a814a447f5b6347b3/16644-HA-ensirek_sahkot_2014_1-12.pdf

Turton H. (2006) Sustainable global automobile transport in the 21st century: An integrated scenario analysis, *Technological Forecasting & Social Change* 73, 607-629

Winton N. (2015) Electric Car Sales Jump in Europe but Likely to Stall Soon [Verkkodokumentti] [Viitattu 13.4.2015] Saatavilla: <http://www.forbes.com/sites/neilwinton/2015/02/03/electric-car-sales-spurt-in-europe-but-likely-to-stall-soon/>

Yiannakoulis N., Bland W., Scott D. M. (2014) A geography of moral hazard: Sources and sinks of motor-vehicle commuting externalities, *Health & Place* 29, 161-170

Zapata C., Nieuwenhuis P. (2010) Exploring innovation in the automotive industry: new technologies for cleaner cars, *Journal of Cleaner Production* 18, 14-20