



# Aurinkoenergian hyödyntäminen ajoneuvoissa

Aarne Mattila

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2021

Ajoneuvotekniikka  
Älykkäät koneet

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Ajoneuvotekniikka  
Älykkäät koneet

MATTILA, AARNE:  
Aurinkoenergian hyödyntäminen ajoneuvoissa

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Huhtikuu 2021

---

Uusiutuvan energian kysynnän kasvaessa uusiutuvaa energiaa tuottavan tekniikan merkitys korostuu. Opinnäytetyössä arvioitiin aurinkoenergian mahdollisuuksia ajoneuvokäytössä sekä millaisia teknisiä haasteita teoreettisessa aurinkoenergian talteenotossa kohdattiin. Aurinkopaneelien asentamisen kannattavuutta ajoneuvoon arvioitiin paneelien asentamisella saavutettujen hyötyjen ja haittojen avulla.

Aurinkopaneelien tuottamalla lisäenergialla oli mahdollista saada useita satoja, jopa tuhansia teoreettisia lisäkilometrejä ajoneuvon vuosittaiseen kantamaan. Erityisesti aurinkoisissa maissa, kuten Australiassa, oli aurinkovoiman tuottaman lisäenergian määrä ajoneuvolle merkittävä osa ajoneuvon vuosittaisesta energiankulutuksesta. Tutkimustulokset syntyivät vertaamalla eri maissa teoreettisesti kerätyn aurinkoenergian määrää ajoneuvojen energiankulutukseen eri ajotilanteissa.

Tulosten perusteella voitiin havaita, että aurinkoenergian hyödyntäminen oli kaikista kannattavinta sellaisissa maissa, joissa sähkön hinta ja maahan kohdistuvan aurinkoenergian määrä olivat vuositasolla verrattain korkeita. Opinnäytetyön tuloksista selvisi sellaisia maita, joissa aurinkoenergian hyödyntämistä ajoneuvovalmistajien kannattaisi tutkia käytännön kokeilla. Aurinkoenergian hyödyntämisen käytännön kokeita olisi opinnäytetyössä esitettyjen tulosten perusteella kannattavaa tehdä. Käytännön kokeet olisi järkevintä tehdä sähköisillä linja-autoilla, sillä opinnäytetyössä esitetyn Linkkerin linja-auton aurinkolatausjärjestelmä oli opinnäytetyössä läpikäydyistä järjestelmistä kannattavin.

---

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkopaneeli, aurinkokenno

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree programme in Vehicle Engineering  
Intelligent Machines

MATTILA, AARNE:  
Utilization of Solar Energy in Vehicles

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 0 pages  
April 2021

---

The purpose of this study was to gather information about the utilization of solar energy in vehicles. The topic of the thesis was chosen due to the writers own personal interest of the utilization of solar power in vehicles. This thesis reviewed a yearly amount of solar irradiance in different countries and how much energy that irradiance would have been able to produce in different types of vehicles which were theoretically equipped with solar panel systems.

Study was done by collecting solar irradiance data from European Union solar irradiance calculator. Solar irradiance was imaginably captured by solar panels which were theoretically placed on vehicles. Different types of vehicles had a different usable area for the solar panels, and the results were formed by calculating solar panels energy output and comparing that energy output to energy which the vehicle consumes in a different driving performance. The research results were produced by comparing the yearly solar energy amount the solar panels produced to the electricity prices in selected countries.

The results show that the utilization of solar energy is most profitable when done in countries which have comparatively high solar irradiance on a yearly basis, and where electricity price is comparatively high. It was also found that solar energy is most profitable in vehicles which have a comparatively large roof area, such as electric buses.

The results contain a certain margin of error, which means that actual real life tests are needed in order to evaluate the real potential of solar panel utilization in vehicles. The findings suggest that there is potential in utilization of solar panels in vehicles, especially in electric buses. Therefore, an electric bus would be the most sensible vehicle for real life testing. The potential of solar panel utilization means that there is a high chance that the real life testing would be profitable. The findings indicate those countries where solar utilization is theoretically most profitable, therefore those countries present the most sensible real life testing regions.

---

Key words: solar energy, solar panel, solar cell

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	AURINKOENERGIA .....	7
3	AURINKOKENNOJEN KYKY TUOTTAA ENERGIAA .....	8
	3.1 Markkinoilla olevat paneelit .....	8
	3.1.1 Mono- ja polykristallipaneeli .....	8
	3.1.2 Ohutkalvopaneelit.....	9
	3.2 Kennojen suuntauksen vaikutus tehontuottoon.....	9
	3.3 Kennojen kehitys.....	10
	3.4 Kennoston pinta-alan vaikutus järjestelmän tehontuottoon .....	11
4	AURINKOENERGIAN MÄÄRÄN TARKASTELU .....	12
5	PANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN HENKILÖAUTOSSA.....	13
	5.1 Paneelien vuodessa tuottama energia eri puolilla maapalloa .....	14
	5.2 Sähköauton lataamisen kustannukset pientaloissa .....	15
	5.3 Kustannukset Suomessa .....	15
	5.4 Kustannukset ulkomailla .....	16
	5.5 Paneelien asennuksen kannattavuus.....	16
	5.5.1 Kia E-niron kulutus .....	16
	5.5.2 Paneelien tuottamalla energialla ajettut kilometrit vuodessa	17
	5.5.3 Paneelien asennuskustannusten arviointi .....	19
	5.5.4 Paneeleiden asentamisella saavutetut säästöt.....	19
	5.6 Tulosten arviointi .....	21
6	PANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN LINJA-AUTOSSA .....	22
	6.1 Paneelien vuodessa tuottama energia eri puolilla maapalloa .....	22
	6.2 Sähköbussin lataamisen kustannukset ja paneelien tuottamat säästöt .....	23
	6.2.1 Sähköbussin kulutus.....	23
	6.2.2 Paneelien tuottamalla energialla ajettut kilometrit vuodessa	24
	6.2.3 Paneelien asennuskustannusten arviointi .....	24
	6.2.4 Paneeleiden asentamisella saavutetut säästöt.....	25
	6.3 Tulosten arviointi .....	26
7	PANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN MOOTTORIPYÖRÄSSÄ .....	28
	7.1 Paneelien vuodessa tuottama energia eri puolilla maapalloa ja lataamisen kustannukset eri maissa .....	29
	7.1.1 Livewire-sähkömoottoripyörän kulutus ja paneelien tuottamalla energialla ajettut kilometrit vuodessa.....	30
	7.1.2 Paneelien asennuskustannusten arviointi .....	31
	7.1.3 Paneeleiden asentamisella saavutetut säästöt.....	31

7.2 Tulosten arviointi .....	32
8 VIRHETARKASTELU .....	34
9 POHDINTA .....	36
LÄHTEET .....	38

## 1 JOHDANTO

Ajoneuvot tarvitsevat liikkuaakseen energiaa. Ajoneuvojen yleisimmät kolme energianlähdettä ovat bensiini, diesel sekä sähkö. Sähkö- ja hybridautokannan jatkuvasta kasvun seurauksena ajoneuvovalmistajat käyttävät jatkuvasti enemmän resursseja sähköisten ajoneuvojen kehitykseen. Sähköisten ajoneuvojen kehitykseen kuuluu myös ajoneuvojen latausteknologian kehittäminen.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään aurinkokennojen hyödyntämismahdollisuuksia osana sähköisen ajoneuvon latausjärjestelmää. Opinnäytetyössä selvitetään kennojen asentamisen kustannuksia eri ajoneuvotyypeille sekä kennojen tuottamia säästöjä eri maissa. Opinnäytetyö antaa suuntaa siitä, missä maissa ajoneuvovalmistajien kannattaisi järjestää käytännön kokeiluja aurinkopaneelien kannattavuudesta osana ajoneuvon sähköistä latausjärjestelmää.

Opinnäytetyö on tehty omasta mielenkiinnostani selvittää aurinkokennojen käytön soveltuvuutta ajoneuvoihin. Olen itse ollut mukana Tampereen ammattikorkeakoulun projektikurssilla, jossa yksi tehtävistäni oli suunnitella ja toteuttaa aurinkokennoja hyödyntävä latausjärjestelmä osaksi sähkömoottoripyörän latausjärjestelmää. Uusiutuvan energian kysynnän kasvaessa opinnäytetyön aihe on ajankohtainen. Saavutettujen rahallisten säästöjen lisäksi aurinkokennojen hyödyntäminen ajoneuvoissa lisäisi uusiutuvan energian käyttöä ajoneuvoissa, joka saattaisi vähentää ajoneuvon kokonaispäästöjä sen elinkaaren aikana.

Opinnäytetyön ensimmäisissä kappaleissa esitellään aurinkoenergiaa käsitteenä, ja selostetaan erilaisista aurinkokennotyypeistä. Teoreettiset laskelmat on esitetty kennotyyppien esittelyn jälkeen. Teoreettisia laskelmia seuraa tulosten tarkastelu. Laskelmissa käytetyt tiedot ovat peräisin Euroopan Unionin tuottamasta aurinkoenergian laskentasovelluksesta sekä sähkön hintatietoja kerääviltä internet-sivustoilta.

## 2 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergialla tarkoitetaan energiaa, joka on peräisin auringossa tapahtuvasta fuusiosta. Auringossa tapahtuvan fuusion seurauksena aurinko muuttaa joka sekunti neljä miljoonaa tonnia massastaan energiaksi. (Auringon rakenne ja elinkaari 2021.) Osa fuusiossa vapautuvasta energiasta kulkeutuu maan pinnalle näkyvänä valona sekä infrapunasäteilynä.

Maan etäisyydellä auringosta auringon säteilyn teho on noin 1366 wattia neliometriä kohden (Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut 2021). Maan pinnan tavoittavan säteilyn teho on kuitenkin vähemmän kuin 1366 wattia neliometriä kohden, sillä pilvet, meret sekä ilmakehässä olevat partikkelit heijastavat osan auringon säteilystä takaisin avaruuteen (Earth's Energy Budget 2009).

Maan pinnan saavuttavan aurinkoenergian hyödyntämiseksi ajoneuvoissa on auringon säteily pystyttävä muuttamaan sähköiseksi energiaksi. Auringon säteily saadaan muutettua sähköiseksi varaukseksi aurinkopaneelien avulla. Sähköistä energiaa voidaan tuottaa auringonvalosta joko sähköisen valoilmion tai keskitettävän aurinkovoiman avulla. Sähköisessä valoilmiossa auringonvalo tuottaa potentiaalieron aurinkokennon positiivisen ja negatiivisen lähdön välille. Potentiaalieron tuottama sähköinen energia voidaan käyttää välittömästi tai se voidaan varastoida akustoon. Aurinkokennoista saadaan aurinkopaneeli kytkemällä kennoja rinnan tai sarjaan. (Concentrated solar power 2020a.)

Keskitettävä aurinkovoima perustuu auringonsäteilyn keskittämiseen, jolloin säteilyllä voidaan lämmittää jokin väliaine korkeaan lämpötilaan. Väliaineen lämpöenergiaa hyödyntämällä voidaan höyrystää vettä, jolloin höyrystyneellä vedellä saadaan höyrymoottori pyörimään. Höyrymoottorin mekaaninen energia voidaan muuttaa sähköiseksi energiaksi generaattorin avulla. (Concentrated solar power 2020.)

### 3 AURINKOKENNOJEN KYKY TUOTTAÄ ENERGIAÄ

Nykyisten aurinkokennojen kyky tuottaa sähköä auringonvalosta on toistaiseksi melko alhainen. Markkinoilla olevien aurinkokennojen hyötysuhde on korkeimmillaankin vain hieman yli 20 prosenttia. Alhaisen hyötysuhteen vuoksi yhden neliömetrin paneeli pystyy tuottamaan noin 200 watin tehon standardiolosuhteissa. Auringon säteilyn intensiteetti maan pinnalla on standardiolosuhteissa 1000 wattia neliömetrille. (Homer pro 2021.)

Maanpinnalle kirkkaana päivänä osuva aurinkoenergia on noin 1000 wattia neliömetrille, joten aurinkopaneelien kehityksessä on mahdollista edistyä. Aurinkopaneelijärjestelmän tehontuottoa mitataan piikkiwattina, joka tarkoittaa paneelijärjestelmän suurinta tehontuottoa standardiolosuhteissa. Standardiolosuhteissa kennojen lämpötila on 25 celsiusastetta ja sää on tyyni. (Homer pro 2021.)

#### 3.1 Markkinoilla olevat paneelit

Sähköistä valoilmiotä hyödyntävien aurinkokennojen kokonaistuotanto piikkigigawattina mitattuna vuonna 2019 oli yhteensä 136,8 piikkigigawattia. Aurinkokennojen hyötysuhteet vaihtelevat laajasti kennon tyypistä ja valmistajasta riippuen. Monokristallikennojen osuus kokonaistuotannosta oli noin 66 prosenttia ja monikiteisten kennojen osuus oli noin 29 prosenttia. Ohutkalvokennojen osuus kokonaistuotannosta oli loput viisi prosenttia. (PV Production by Technology 2020.)

##### 3.1.1 Mono- ja polykristallipaneeli

Vuonna 2019 monokristallipaneelit olivat tuotetuin kennotyyppi. Monokristallikenno on valmistettu yhdestä piikiteestä. Kaupallisten LG:n valmistamien monokristallikennojen hyötysuhde on korkeimmillaan noin 22 prosenttia (Choosing the Right Technology 2020). Sunpower markkinoi monokristallikennojaan markkinoiden parhaimmaksi kennoiksi, ja lupaavat tuotteelleen 22,8 prosentin hyötysuhteen (Unmatched Performance, Reliability and Aesthetics 2021).



Polykristallipaneelit valmistetaan useammasta piikiteestä, ja niiden hyötysuhde on monokristallipaneeleita alhaisempi. Kaupallisesti myytävien polykristallipaneelien hyötysuhteet ovat noin 15-18 prosenttia. (What are Polycrystalline Solar Panels? 2020.)

### 3.1.2 Ohutkalvopaneelit

Ohutkalvokennot valmistetaan latomalla useita valosähköisestä materiaalista valmistettuja kalvoja päällekkäin. Ohutkalvokennon tyyppi riippuu valosähköisen materiaalin tyypistä. Ohutkalvokennot ovat perinteisiä piikiteestä valmistettuja kennoja ohuempia sekä kevyempiä, mutta hyötysuhteeltaan heikompia. (What is a thin film solar panel? 2020.)

Tyypillisesti hyötysuhde on kyseisellä kennotyypillä on noin 4-12 prosenttia. Korkean hyötysuhteen ohutkalvokennoja on mahdollista valmistaa hyödyntämällä galliumarsenidia valosähköisenä materiaalina, jolloin ohutkalvokennon hyötysuhteeksi voidaan saada 28,8 prosenttia. Galliumarsenidikennot ovat kalliita, jonka vuoksi niitä hyödynnetään lähinnä avaruusaluksissa. (What is a thin film solar panel? 2020.)

### 3.2 Kennojen suuntauksen vaikutus tehontuottoon

Kennojen suuntaamisella voidaan lisätä kennoston tehontuottoa. Tehontuoton lisäys perustuu kennoston kulman muuttamiseen suhteessa aurinkoon niin, että kennosto vastaanottaisi auringon säteilyn mahdollisimman kohtisuorasti. Auringon kulma suhteessa yksittäiseen kennostoon muuttuu jatkuvasti päivän aikana, jolloin myös kennoston tehontuotto muuttuu jatkuvasti. Aurinkopaneeleja asennettaessa kotitalouksiin niiden kulma pyritään optimoimaan niin, että auringon säteilyn intensiteetti olisi kennoston pinnalla mahdollisimman suurta mahdollisimman suuren osan päivästä. (Solar panel orientation 2018.)

Valoa jäljittävän anturoinnin avulla on mahdollista rakentaa järjestelmä, joka jatkuvasti tarkkailee auringon kulman muutosta suhteessa paneeleihin. Valon tulo-kulmaa tarkkaileva järjestelmä osaa kääntää paneeleita tarvittaessa niin, että ne ovat mahdollisimman kohtisuorassa kulmassa suhteessa auringon valoon. Valoa jäljittävällä järjestelmällä saavutetaan paras tehontuotto optimaalisen paneelikulman seurauksena. Optimaalisessa tilanteessa auringonvalo osuu paneeliin kohtisuorasti, jolloin paneelin pinta-ala näyttää auringon valon tulokulmasta mahdollisimman suurelta, ja näin paneelin koko pinta-ala käytetään tehokkaasti auringonvalon hyödyntämisessä.

Opinnäytetyössä tarkastellaan aurinkopaneelien hyödyntämismahdollisuuksia ajoneuvojen kohtisuoraan taivasta kohden suuntautuvilla pinnoilla, kuten paneelin asennus auton katolle sekä konepellille. Ylöspäin suuntautuvat pinnat ovat aurinkopaneelien tehontuoton kannalta paras valinta, sillä näin ajoneuvon oma varjo ei häiritse paneelin tehontuottoa. Paneelien suuntaus otetaan opinnäytetyössä vain pintapuolisesti huomioon, sillä suuntausjärjestelmän tuottamia lisäkustannuksia sekä sen viemää tilaa on haasteellista arvioida ilman suuntausjärjestelmän suunnittelua erikseen jokaiselle ajoneuvotyypille.

### **3.3 Kennojen kehitys**

Yhdysvaltojen kansallisen uusiutuvan energian laboratoriossa on kyetty rakentamaan 47,1 prosentin hyötysuhteeseen kykenevä moniristeinen aurinkokenno. Aurinkokennon 47,1 prosentin hyötysuhde on saavutettu keskittämällä auringonvaloa kennoon. Kyseisen kennon korkeimmaksi hyötysuhteeksi on mitattu 39,2 prosenttia ilman keskitettyä auringonvaloa. (NREL Six-Junction Solar Cell Sets Two World Records for Efficiency 2020.)

Moniristeisellä kennolla on korkea hyötysuhde muihin kennotyyppeihin verrattuna. Verrattain korkea hyötysuhde perustuu erilaisten aurinkosähköisten kerrosten kykyyn hyödyntää auringon säteilyn eri spektrejä. (NREL Six-Junction Solar Cell Sets Two World Records for Efficiency 2020.)

### 3.4 Kennoston pinta-alan vaikutus järjestelmän tehontuottoon

Aurinkopaneelien tehontuotto ilmoitetaan yksikössä watti jaettuna neliömetrillä, joten aurinkokennosto tuottaa sitä enemmän tehoa, mitä suurempi kennoston pinta-ala on. Teoriassa lähes koko ajoneuvon pinta-ala voitaisiin päällystää aurinkokennoilla, jolloin kennoston pinta-alasta saataisiin mahdollisimman suuri.

Aurinkopaneelijärjestelmän kokonaishyötysuhde kuitenkin laskee, mikäli ajoneuvoon asennetaan kennoja sellaisille pinnoille, jotka ovat verrattain vinossa kulmassa aurinkoon nähden. Kokonaishyötysuhteen laskiessa myös järjestelmän kustannustehokkuus heikkenee, jonka vuoksi opinnäytetyössä tarkastellaan vain kustannustehokkaimpia asennuspintoja.

## 4 AURINKOENERGIAN MÄÄRÄN TARKASTELU

Aurinkoenergian määrää eri maissa tarkasteltiin opinnäytetyössä Euroopan Unionin tuottamalla maantieteellisellä auringonsäteilyn tietojärjestelmällä. Järjestelmä perustui satelliitin keräämiin tietoihin eri puolilta maailmaa. Maan pinnalle yltävän säteilyn intensiteetin laskemiseksi järjestelmä huomio ilmassa leijuvan vesihöyryn, pölyn sekä otsonikerroksen paksuuden. Tietojärjestelmä laski aurinkopaneelien vuosittaisen tehontuoton automaattisesti, kun opinnäytetyötä tehtäessä järjestelmälle syötettiin aurinkopaneelien sijainti sekä paneeliston tuottama teho piikkiwatteina. (Data sources and calculation methods 2020b.)

Järjestelmän tuottamissa tuloksissa huomioitiin lisäksi aurinkopaneelin tyyppi sekä lämpötilan vaikutukset paneelin tehontuottoon. Kaikki opinnäytetyössä esitetyt tulokset auringon säteilyn määrässä eri puolilla maapalloa huomioivat arvioidun kymmenen prosentin lataushäviön energian siirtyessä kennoilta akustolle. (Data sources and calculation methods 2020b.)

## 5 PANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN HENKILÖAUTOSSA

Kuvitteelliseksi henkilöautoksi, johon aurinkopaneelit asennettaisiin, valikoitui Kia e-Niro sähköauto-katumaasturi. Tarkasteltava ajoneuvo on ulkoisilta mitoiltaan kohtuullisen pieni katumaasturiksi. Kia-merkkisiä ajoneuvoja myyvässä liikkeessä suoritetuissa mittauksissa todettiin, että E-niron katon ja konepellin pinta-ala on alle 10 prosenttia suurempi, kuin esimerkiksi keskikokoisen henkilöauton Kia Xceedin vastaava pinta-ala.

E-niron katon ja konepellin yhteensä muodostamaksi pinta-alaksi, jolle aurinkokennoja on mahdollista asentaa, mitattiin noin 2,9 neliometriä. Asennettavat paneelit oletetaan suorakulmion muotoisiksi, jolloin osa konepellin pinta-alasta jää hyödyntämättä konepellin kaarevien muotojen seurauksena. Kuvissa yksi ja kaksi näkyy ajoneuvon katolle asennettujen kuvitteellisten aurinkopaneelien vaikutus ajoneuvon ulkonäköön.



KUVA 1. Kia e-niron kuvitteelliset aurinkopaneelit (Kia Niro, muokattu)



KUVA 2. Kia Ceedin kuvitteellisen aurinkopaneelin vaikutus ulkonäköön (Kia Ceed, muokattu)

### 5.1 Paneelien vuodessa tuottama energia eri puolilla maapalloa

Ajoneuvossa teoreettisesti käytettyjen Sunpowerin valmistamien paneelien hyötysuhteen ollessa 22,6 prosenttia ja paneelien asennuspinta-alan ollessa 2,9 neliometriä, Kiaan olisi mahdollista asentaa noin 0,66 piikkikilowattinen aurinkokennosto (SunPower SPR-MAX3-400 2021). Taulukosta yksi nähdään kiinteästi asennetun sekä valoa jäljittävän 0,66 piikkikilowattisen kennoston energiantuotto vuodessa valituissa sijainneissa.

TAULUKKO 1. Kiaan asennettujen paneelien tehontuotto vuodessa

Kia E-niroon asennetun kennoston tehontuotto vuodessa eri maissa (kWh/v)		
Sijainti	Kiinteä kennosto	Valoa jäljittävä kennosto
Suomi, Helsinki	509,9	858,12
Suomi, Tampere	458,39	771,09
Britannia, Lontoo	574,4	904,63
Saksa, Berliini	587,71	934,7
Italia, Rooma	883,87	1406
Egypti, Kairo	1147,71	1719,49
Yhdysvallat, Las Vegas	1065,59	1789,88
Yhdysvallat, New York	776,8	1147,03
Australia, Karratha	1196,87	1762,72
Kiina, Hong Kong	795,33	970,55
Chile, Camina	1377,2	1991,01

## 5.2 Sähköauton lataamisen kustannukset pientaloissa

Taulukkoon kaksi on koottu neljän eri sähköntoimittajan tarjoamat sähkön hinnat määräaikaiselle 24 kuukauden sopimukselle (Fortum; Helen; Nordic green energy; Vattenfall 2021). Sähköyhtiöiden tarjoamista hinnoista on muodostettu keskiarvo, jonka avulla arvioidaan sähköauton latauksen kustannuksia pientalossa. Taulukossa kolme on esiteltyä pientalojen keskimääräinen sähkönsiirtohintaa vuoden 2021 maaliskuussa. (Sähkön hintatilastot 2021.)

Sähköauton latauksen hyötysuhde riippuu auton mallista, käytetystä lataustavasta, sekä siitä, kuinka paljon akussa on varausta lataushetkellä. Autotie verkkosivun esittelemien laskelmien mukaan Nissan Leaf ja Tesla model 3 lataavat akkuja noin 85 prosentin hyötysuhteella (Mikä on Leaf-sähköauton AC-latauksen hävikki? 2020).

TAULUKKO 2. Eri yhtiöiden tarjoamat sähkön hinnat Suomessa

Sähköyhtiö	Fortum	Helen	Vattenfall	Nordic green energy	Keskiarvo
Sähkön hinta (snt/kWh)	5,94	5,39	5,59	6,39	5,83

TAULUKKO 3. Pientalojen sähkön siirtohinnat Suomessa

Pientalon sähkönkulutus vuodessa (kWh)	5000	18000	20000	Keskiarvo
Sähkön siirtohintaa (snt/kWh)	10,08	7,32	6,81	8,07

## 5.3 Kustannukset Suomessa

Sähköauton lataamisesta koituvat kustannukset ovat eriteltynä taulukossa neljä. Laskelmien perusteella voidaan arvioida, että sähköauton akustoon saatettu energia maksaa autoaan pientalossa lataavalla henkilölle noin 16,34 senttiä kilowattitunnilta.

TAULUKKO 4. Akustoon ladatun energian hinta pientaloissa Suomessa

Sähkön hinta siirtoineen (snt/kWh)	Latauksen hyötysuhde	Akustoon ladatun energian hinta (snt/kWh)
13,89	0,85	16,34

## 5.4 Kustannukset ulkomailla

Sähköauton latauksen kustannukset ulkomailla on arvioitu taulukossa viisi. Taulukossa esitellyt hinnat ovat sähköauton latauksen lopullisia kuluttajahintoja.

Kuluttajahinnoissa huomioitiin latauksen 85 prosentin hyötysuhde. Taulukon tiedot perustuvat vuoden 2020 kesäkuun sähkön hintoihin (Electricity prices 2020).

TAULUKKO 5. Akustoon ladatun energian hinta ulkomailla

Maa	Akustoon ladatun sähkön hinta (snt/kWh)
Britannia	25,8
Saksa	37,5
Italia	25,1
Egypti	3,5
Yhdysvallat	14,8
Australia	25,8
Kiina, Hong Kong	14,8
Chile	19,1

## 5.5 Paneelien asennuksen kannattavuus

Paneelien asennuksen kannattavuuden arviointi perustui aurinkopaneelijärjestelmän avulla saatujen taloudellisten säästöjen arviointiin. Arvioinneissa vertailtiin kiinteästä latauspisteestä ladatun sähkön hintaa aurinkopaneelien tuottamaan sähkön hintaan.

Paneelien asennuksen kannattavuudessa ei huomioitu mahdollisia järjestelmän käyttöönotosta koituvia päästöjä. Aurinkokennojärjestelmällä saavutettuja säästöjä kokonaispäästöissä ei arvioitu opinnäytetyössä lainkaan.

### 5.5.1 Kia E-niron kulutus



Ajoneuvojen energiankulutusta ja päästöjä mittaava WLTP ajosuoritemittauksesta tuli Euroopassa rekisteröitävälle uusille ajoneuvoille pakollinen mittaus syyskuusta 2017 lähtien. (New and improved...2017.) Mittaukset tehdään 23 celsiusasteen lämpötilassa. (Dietsche & Reif 2018. 883) E-niron kulutus WLTP-mittauksen mukaan on noin 141 wattituntia kilometriltä, ja valmistajan ilmoittama kulutus on 159 Wh kilometrillä. Valmistajan ilmoittamassa kulutuksessa on huomioitu latauksesta aiheutuvat häviöt.

Ajoneuvoilla ajetaan kuitenkin hyvin erilaisia ajosuoritteita, joten pelkästään WLTP-mittauksesta saatu kulutus ei suoraan kerro kuluttajalle ajoneuvon kulu- tusta eri ajotilanteissa. Taulukossa kuusi on esiteltyä ajoneuvon kulutus yhdis- tetyssä ajossa sekä maantie- ja kaupunkiajossa kahdessa eri ulkolämpötilassa. Taulukossa on lisäksi ajoneuvon kantama eri ajotilanteissa. (Kia e-Niro 64 kWh 2021.)

TAULUKKO 6. E-niron kulutus ja kantama eri ajotilanteissa

Kia E-niro 64 kWh kulutus		
Ajosykli	Kulutus (kWh/km)	Kantama (km)
Maantie (23°C)	0,188	340
Kaupunki (23°C)	0,116	552
Yhdistetty (23°C)	0,151	424
Maantie (-10°C)	0,242	264
Kaupunki (-10°C)	0,175	366
Yhdistetty (-10°C)	0,206	311

### 5.5.2 Paneelien tuottamalla energialla ajatut kilometrit vuodessa

Taulukossa seitsemän on esiteltyä teoreettinen kilometrimäärä, joka pystyttäisiin ajamaan sillä lisäenergialla, jonka paneelit tuottavat autolle vuodessa. Taulukossa seitsemän on huomioitu eri ajotilanteiden sekä lämpötilan vaikutus saavutettuun lisäkilometrimäärään.

Taulukossa kahdeksan on esiteltyä teoreettinen kilometrimäärä, joka pystyttäisiin ajamaan valoa jäljittävien paneelien tuomalla lisäenergialla. Taulukoissa seitsemän ja kahdeksan on merkitty punaisella värillä pienin saavutettu lisäkilometrimäärä, ja vihreällä värillä on merkitty suurin saavutettu lisäkilometrimäärä.

TAULUKKO 7. Kiinteiden paneelien tuottamat lisäkilometrit vuodessa

E-niron aurinkopaneelien tuottamasta energiasta saadut lisäkilo- metrit vuodessa						
Sijainti	Maantie (23°C)	Kaupunki (23°C)	Yhdistetty (23°C)	Maantie (- 10°C)	Kaupunki (- 10°C)	Yhdistetty (- 10°C)
Suomi, Helsinki	2712	4396	3377	2107	2914	2475
Suomi, Tam- pere	2438	3952	3036	1894	2619	2225
Britannia, Lon- too	3055	4952	3804	2374	3282	2788
Saksa, Berliini	3126	5066	3892	2429	3358	2853
Italia, Rooma	4701	7620	5853	3652	5051	4291
Egypti, Kairo	6105	9894	7601	4743	6558	5571
Yhdysvallat, Las Vegas	5668	9186	7057	4403	6089	5173
Yhdysvallat, New York	4132	6697	5144	3210	4439	3771
Australia, Kar- ratha	6366	10318	7926	4946	6839	5810
Kiina, Hong Kong	4230	6856	5267	3286	4545	3861
Chile, Camina	7326	11872	9121	5691	7870	6685

TAULUKKO 8. Valoa jäljittävien paneelien tuottamat lisäkilometri vuodessa

E-niron valoa jäljittävien aurinkopaneelien tuottamasta energiasta saadut lisä- kilometrit vuodessa						
Sijainti	Maantie (23°C)	Kaupunki (23°C)	Yhdistetty (23°C)	Maantie (- 10°C)	Kaupunki (- 10°C)	Yhdistetty (- 10°C)
Suomi, Helsinki	4564	7398	5683	3546	4904	4166
Suomi, Tam- pere	4102	6647	5107	3186	4406	3743
Britannia, Lon- too	4812	7799	5991	3738	5169	4391
Saksa, Berliini	4972	8058	6190	3862	5341	4537
Italia, Rooma	7479	12121	9311	5810	8034	6825
Egypti, Kairo	9146	14823	11387	7105	9826	8347
Yhdysvallat, Las Vegas	9521	15430	11854	7396	10228	8689
Yhdysvallat, New York	6101	9888	7596	4740	6554	5568
Australia, Kar- ratha	9376	15196	11674	7284	10073	8557
Kiina, Hong Kong	5163	8367	6427	4011	5546	4711
Chile, Camina	10590	17164	13185	8227	11377	9665

### 5.5.3 Paneelien asennuskustannusten arviointi

Kia E-niroon kuvitteellisesti asennettu 400 piikkiwattinen, noin 1,77 neliömetrinen Sunpower SPR-MAX3-400 aurinkopaneeli maksaa yli sadan paneelin sarjoina ostettaessa 323 euroa (SunPower SPR-MAX3-400 2021). Paneelille tulee tällöin neliömetrihinnaksi noin 183 euroa. Mikäli E-niroon paneelit pystytettäisiin valmistamaan suhteessa samalla hinnalla, tulisi E-niron noin 2,9 neliömetrisen kennoston hinnaksi 534 euroa.

Suunnittelukuluja niille muutoksille, jolla paneelin saataisiin osaksi ajoneuvoa on haastavaa arvioida ilman ajoneuvovalmistajan tekemää arviota asiasta. Ajoneuvon tuotantolinjastoa jouduttaisiin muuttamaan, joka myös toisi lisäkustannuksia paneelien asentamisen kokonaishinnalle. Paneelien johdotukset olisi helppo yhdistää osaksi ajoneuvon johtosarjaa, jolloin paneelien johtosarjan asennuksesta ei koituisi merkittäviä lisäkustannuksia. Paneelien yksinkertaisen muodon ja vaihtottoman asennuspaikan ansiosta paneelien asentamiselle voitaisiin arvioida asennusaikaa yhteensä noin tunti. Paneelit voitaisiin asentaa ajoneuvoon muutamalla pultilla. Paneelien pulttien ja johtosarjan asennusajaksi voitaisiin arvioida kahdelta henkilöltä noin 20 minuuttia yhtä paneelia kohden. Helposti ajoneuvon koriin sovitettavaksi tarkoitetun paneelin sovitusajaksi voitaisiin olettaa kahdelta henkilöltä noin kymmenen minuuttia. Molempien paneeleiden asennusajaksi voitaisiin siis olettaa tunti kahdelta työntekijältä.

Kaksi tuntia työaikaa voisi tarkoittaa noin 120 euron asennuskustannuksia, mikäli työntekijän oletetaan maksavan yritykselle tunnilta noin 60 euroa. Työntekijän kustannukset tunnilta ovat General Motorsilla, FCA-yhtymällä ja Fordilla noin 60 euroa tunnilta (Labor costs for...2020).

### 5.5.4 Paneeleiden asentamisella saavutetut säästöt

Paneeleiden asentamisella saavutetut teoreettiset säästöt vuodessa on esitelty taulukossa yhdeksän. Taulukon yhdeksän säästöt vastaavat sitä euromäärää, joka jouduttaisiin maksamaan, mikäli henkilöautoon haluttaisiin ladata aurinkopaneelien vuodessa tuottama energiamäärä kotitalouksissa.

Latausasemalataukset rajattiin laskelmien ulkopuolelle, sillä Suomessa on latauskartan mukaan vain 1435 latausasemaa. Suomen pinta-alalla 1435 latausasemaa tarkoittaa yhtä latausasemaa noin 236 neliökilometriä kohden (Latauskartta. 3/2021), ja kun huomioidaan Suomen noin 50 000 sähkö- ja hybridiajoneuvokanta (Koko Suomen sähköautojen...2020), niin voidaan perustellusti todeta, että kotilataus on latausmuodoista käytetyin.

Taulukossa yhdeksän on eriteltynä paneelien tuomat säästöt ensimmäisen seitsemän vuoden aikana. Paneelien tuottamasta säästöstä seitsemän vuoden aikana on taulukossa vähennetty arvioitu paneelin hinta 534 euroa sekä arvioidut 120 euron työkustannukset. Paneelien takaisinmaksuaika on esitelty taulukossa viisi. Takaisinmaksuaika on se aika, mikä järjestelmältä kuluu paneelien kokonaishinnan kattamiseksi. Takaisinmaksuajassa ei ole huomioitu yhtiön haluamaa voittoprosenttia, sillä paneelien tuomat lisäkustannukset yhtiölle eivät todellisuudessa ole todennäköisesti sama kuin paneelien kuluttajahinta. Taulukossa yhdeksän esitellyissä vuosittaisissa säästöissä ei ole huomioitu paneelista koituvia kustannuksia.

TAULUKKO 9. Kiinteiden paneelien tuottamat säästöt ja takaisinmaksuaika

Sijainti	Säästöt vuodessa (e)	Säästöt seitsemässä vuodessa (e) (paneelin kustannukset huomioitu)	Paneeelien takaisinmaksuaika (v)
Suomi, Helsinki	83,3	-70,8	7,8
Suomi, Tampere	74,9	-129,7	8,7
Britannia, Lontoo	148,0	381,9	4,4
Saksa, Berliini	220,6	889,9	3,0
Italia, Rooma	221,5	896,4	3,0
Egypti, Kairo	40,5	-370,4	16,1
Yhdysvallat, Las Vegas	158,0	451,7	4,1
Yhdysvallat, New York	115,1	152,0	5,7

Australia, Kar-ratha	308,4	1504,6	2,1
Kiina, Hong Kong	117,9	171,3	5,5
Chile, Camina	262,5	1183,3	2,5

## 5.6 Tulosten arviointi

Taulukosta yhdeksän voidaan huomata, että aurinkopaneelien asennuksen kannattavuus henkilöautoon vaihtelee maittain huomattavan paljon. Kaikista kannattavinta aurinkopaneelien asennus ajoneuvoon olisi maissa, joissa sähkön hinta ja auringon säteilyn määrä ovat verrattain korkeita. Vastaavasti paneelien asennuksesta ei saada juurikaan hyötyä maissa, joissa sähkön hinta ja auringon säteilyn määrä ovat matalia. Tutkittaessa paneelien kannattavuutta, voidaan huomata, että esimerkiksi Suomen oloissa aurinkopaneelit eivät ole maksaneet itseään takaisin ensimmäisen seitsemän vuoden aikana.

Kannattamattominta paneelien asennus henkilöautoon on Egyptin Kairossa, vaikka Kairossa on saatavilla toiseksi eniten aurinkoenergiaa taulukon yksi vertailumaista. Erityisen kannattamattomaksi aurinkoenergian hyödyntämisen Kairossa tekee maan matala sähkön hinta. Matala sähkön hinta tarkoittaa pitkää, taulukossa yhdeksän arvioitua yli 16 vuoden takaisinmaksuaikaa kennostolle.

Australian Karrathassa kennosto kykenisi tuottamaan vain hieman enemmän energiaa kuin Kairossa, mutta Australian sähkön hinnan ollessa kohtuullisen korkea, olisi aurinkolatausjärjestelmä taulukon yhdeksän mukaan hieman yli kahden vuoden kuluttua auton ostohetkestä maksanut itsensä takaisin.

Egyptiläisten kuluttajien olisi mahdollisesti tulevaisuudessa kannattavaa varustella ajoneuvonsa aurinkokennoilla, vaikka vielä vuonna 2021 se ei vaikuta järkevältä. Mikäli Egyptin kaltaiset maat kykenevät nostamaan bruttokansantuotettaan, niin on hyvin mahdollista, että myös sähkön hinta kyseisessä maassa nousee. Aurinkopaneelien asennuksen kannattavuus eri maissa onkin auringon säteilyn määrän lisäksi vahvasti riippuvainen tarkastelumaan sähkön hinnasta.

## 6 PANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN LINJA-AUTOSSA

Aurinkolatausjärjestelmän kannattavuutta linja-autossa tarkasteltiin opinnäytetyössä hyödyntämällä Suomalaisen sähköbussin Linkkerin teknisiä tietoja. Linkker on varustettu 40 kilowattitunnin akustolla (Bussiliikenteen sähköistäminen 2021, 14). Linkkerin kattopinta-ala on 32,64 neliometriä. Koko kattoa ei voi peittää aurinkopaneeleilla, sillä linja-autoa ladataan katolla sijaitsevasta latausliittimestä.

Katon kautta tapahtuvan latauksen arvioidaan vähentävän paneeleille jäävää kattopinta-alaa noin kaksi neliometriä. Paneeleille hyödynnettävän kattopinta-alan ollessa 30,64 neliometriä ja käytettävän aurinkopaneelin hyötysuhteen ollessa 22,6 prosenttia, on paneelijärjestelmän nimellisteho on noin 6,92 piikkikilowattia.

### 6.1 Paneelien vuodessa tuottama energia eri puolilla maapalloa

Bussissa käytettäisiin samoja Sunpowerin aurinkopaneeleja kuin edellä mainitussa Kian henkilöautossa. Taulukosta kymmenen nähdään kiinteästi asennetun sekä valoa jäljittävän 6,92 piikkikilowattisen kennoston energiantuotto vuodessa valituissa sijainneissa.

Taulukossa kymmenen esitettyjen tietojen perusteella huomattiin, että mikäli kennoja voitaisiin suunnata valon mukaan, saataisiin kennojen vuosittainen energiantuotto korkeammaksi kuin kiinteillä kennoilla. Kennojen vuodessa tuottama energiamäärä olisi myös sitä korkeampi, mitä korkeammalle kennojen hyötysuhde saataisiin nostettua.

TAULUKKO 10. Sähköbussiin asennettujen paneelien tehontuotto vuodessa

Sähköbussiin asennetun kennoston tehontuotto vuodessa eri maissa (kWh/v)		
Sijainti	Kiinteä kennosto	Valoa jäljittävä kennosto
Suomi, Helsinki	5346	8997
Suomi, Tampere	4806	8085
Britannia, Lontoo	6022	9485
Saksa, Berliini	6162	9800
Italia, Rooma	9267	14742

Egypti, Kairo	12034	18029
Yhdysvallat, Las Vegas	11173	18767
Yhdysvallat, New York	8145	12026
Australia, Karratha	12549	18482
Kiina, Hong Kong	8339	10176
Chile, Camina	14440	20875

## 6.2 Sähköbussin lataamisen kustannukset ja paneeleiden tuottamat säästöt

Sähköbussin latauksen kustannukset ulkomailla on arvioitu taulukossa 11. Taulukossa esitellyt hinnat ovat sähköbussin latauksen lopullisia hintoja yrityksille.

Hinnoissa huomioitiin laturissa tapahtuva, noin kymmenen prosentin arvioitu häviö (Bussiliikenteen sähköistäminen 2021, 30) . Taulukon tiedot perustuvat vuoden 2020 kesäkuun sähkön hintoihin (Electricity prices 2020).

TAULUKKO 11. Sähköbussin akustoon ladatun energian hinta maittain

Maa	Akustoon ladatun sähkön hinta (snt/kWh)
Suomi	11,0
Britannia	22,3
Saksa	21,4
Italia	20,4
Egypti	6,8
Yhdysvallat	10,3
Australia	14,3
Kiina, Hong Kong	13,4
Chile	13,8

### 6.2.1 Sähköbussin kulutus

Sähköbussin kulutus on noin yksi kWh kilometrillä Tampereen kaupungin tekemien laskelmien mukaan (Bussiliikenteen sähköistäminen 2021, 30). Linkkerin mukaan sähköbussin kulutus on 0,5-0,8 kWh kilometrillä.

Sähköbussin todelliseen kulukseen vaikuttaa kuitenkin myös erilaisten lisälaitteiden käyttö. Tampereen kaupunki oli huomionnut kulutuslaskelmissaan matkustamon lämmityksen, jäähdytyksen, sekä apulaitteiden, kuten ovien avauksen vaativan energian. (Bussiliikenteen sähköistäminen 2021, 30.)

### 6.2.2 Paneelien tuottamalla energialla ajatut kilometrit vuodessa

Taulukossa 12 on esiteltynä teoreettinen kilometrimäärä, joka pystyttäisiin ajamaan sillä lisäenergialla, jonka paneelit tuottavat sähköbussille vuodessa. Taulukossa 12 on esiteltynä sekä kiinteiden, että valoa jäljittävien paneelien tuottaman lisäenergian mahdollistamat kilometrit vuodessa.

TAULUKKO 12. Linkkerin paneelien tuottamat lisäkilometrit vuodessa maittain

Sähköbussin aurinkopaneelien tuottamasta energiasta saadut lisäkilometrit vuodessa		
Sijainti	Kiinteä kennosto	Valoa jäljittävä kennosto
Suomi, Helsinki	5287	8897
Suomi, Tampere	4753	7995
Britannia, Lontoo	5956	9380
Saksa, Berliini	6094	9691
Italia, Rooma	9164	14578
Egypti, Kairo	11900	17828
Yhdysvallat, Las Vegas	11048	18558
Yhdysvallat, New York	8054	11893
Australia, Karratha	12410	18276
Kiina, Hong Kong	8246	10063
Chile, Camina	14279	20643

### 6.2.3 Paneelien asennuskustannusten arviointi

Linkkerissä kuvitteellisesti käytetyn paneelien neliömetrihinnaksi arvioitiin sama 183 euron neliömetrihintaa, mikä arvoitiin kappaleessa neljä esitellyssä henkilöautossa. Näin kennoston hinnaksi tulisi noin 1266 euroa.

Sähköbussin paneelit asennettaisiin kuten henkilöautonkin paneelit. Paneelit jouduttaisiin kuitenkin tekemään useammasta osasta, sillä 12 metrisen paneelin valmistus olisi tuskin järkevää, sillä se aiheuttaisi merkittäviä logistisia ongelmia. Pa-



neelit voitaisiin asentaa 300 wattisina, jolloin paneeleja tulisi yhteensä sähköbussiin 13 kappaletta. Paneelien jakaminen useampaan osaa tekisi myös paneelien korjauksesta kustannustehokkaampaa, sillä mitä pienempi paneeli, sitä edullisempää se olisi vaurion tullessa vaihtaa uuteen.

Suunnittelukuluja muutoksille, jolla paneeli saataisiin osaksi sähköbussia, ei arvoitu. Edellä mainittu arviointi olisi haastavaa, ja arviosta tulisi mahdollisesti hyvin epätarkka ilman valmistajan näkemystä asiasta. Yhden paneelin asennuskuluksi arvioitiin sama 60 euroa kuin henkilöauton yhden paneelin asennuskuluksi. Näin asennuskuluksi arvioitiin yhteensä 780 euroa. Paneelien arvioidut hinnat ja asennuskulut oli yhteensä 2046 euroa.

#### **6.2.4 Paneelien asentamisella saavutetut säästöt**

Paneelien asentamisella saavutetut teoreettiset säästöt on esitelty taulukossa 13. Taulukon 13 säästöt vastaavat sitä euromäärää, joka jouduttaisiin maksamaan, mikäli yritys haluaisi ladata aurinkopaneelien vuodessa tuottaman energiamäärän suoraan sähköverkosta.

Taulukossa 13 on eriteltynä paneelien tuomat säästöt Tampereen kaupungin oletettaman 12 vuoden elinkaaren aikana (Bussiliikenteen sähköistäminen 2021, 17). Paneelien tuottamasta säästöstä oletetun elinkaaren aikana on taulukossa 13 vähennetty arvioidut paneelien käyttöönoton aiheuttamat kustannukset. Paneelien takaisinmaksuaika on esitelty taulukossa 13. Takaisinmaksuaika on se aika, mikä järjestelmältä kuluu paneelien kokonaishinnan kattamiseksi. Takaisinmaksuajassa ei ole huomioitu Linkkerin mahdollisesti haluamaa euromääräistä voittoprosenttia paneelien asennuksesta. Taulukossa 13 esitellyissä vuosittaisissa säästöissä ei ole huomioitu paneeleista koituvia kustannuksia. Paneelien suorituskyvyn lasku paneelien ikääntymisen oli huomioitu taulukon 13 tuloksissa. Paneelien suorituskyky laskee valmistajan mukaan vuosittain noin 0,2 prosenttia, mikä tarkoitti sähköbussin elinkaaren aikana keskimäärin noin yhden prosentin tehontuoton laskua vuositasolla.

TAULUKKO 13. Linkkerin kiinteiden paneelien tuottamat säästöt ja takaisinmaksuaika

Sijainti	Säästöt vuodessa €	Säästöt elinkaaren aikana (e) (paneelien kustannukset huomioitu)	Paneeleiden takaisinmaksuaika (v)
Suomi, Helsinki	582	4933	3,5
Suomi, Tampere	523	4228	3,9
Britannia, Lontoo	1330	13915	1,5
Saksa, Berliini	1307	13635	1,6
Italia, Rooma	1874	20437	1,1
Egypti, Kairo	807	7633	2,5
Yhdysvallat, Las Vegas	1142	11654	1,8
Yhdysvallat, New York	832	7941	2,5
Australia, Karratha	1779	19298	1,2
Kiina, Hong Kong	1109	11258	1,8
Chile, Camina	1967	21562	1,0

### 6.3 Tulosten arviointi

Taulukosta 13 voidaan huomata, että aurinkopaneelien asennuksen kannattavuus liikennöintiin tarkoitettussa sähköbussissa vaihteli maittain huomattavan paljon. Sähköbussin paneeliston asennuksen kannattavuus vaihteli maittain kuitenkin vähemmän kuin henkilöauton paneelien asennuksen kannattavuus, sillä yritysten sähköstä maksama hinta vaihteli maittain vähemmän kuin yksityisten kuluttajien sähkönhinta.

Laskelmat perustuivat Tampereen kaupungin arvioon Linkkerin kulutuksesta. Eri maissa bussien ajosuoritteet saattavat poiketa merkittävästi Tampereen bussien ajosuoritteista, jolloin aurinkopaneelien asennuksen kannattavuutta laskettaessa kohdemaan lisäksi tulisi ottaa huomioon bussien ajamien linjojen muodostamat

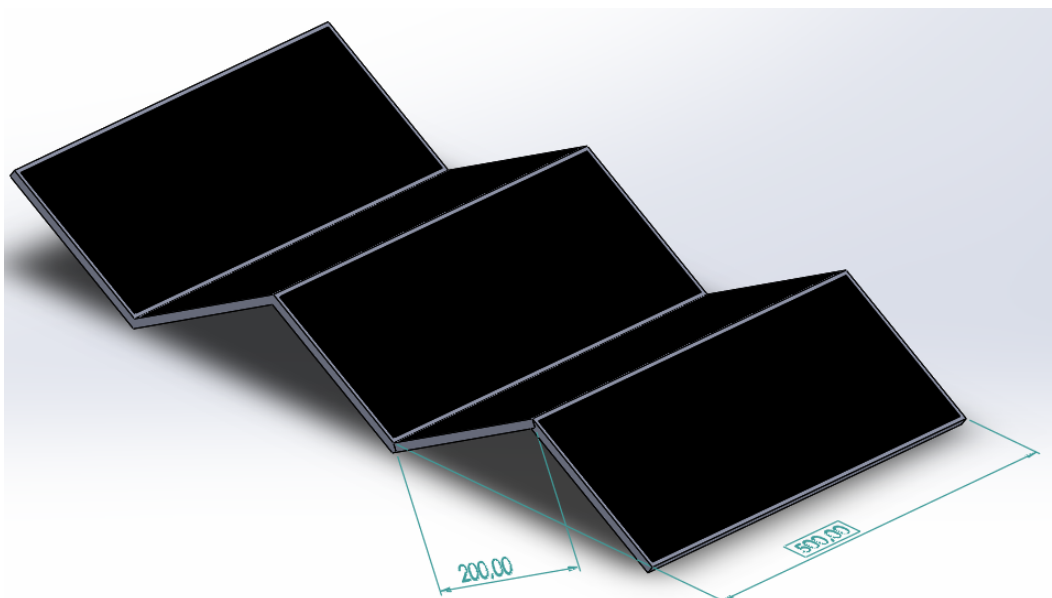
ajosuoritteet. Huolimatta ajosuoritteiden mahdollisista muutoksista maittain, saatiin taulukosta 13 selville, missä maissa paneelien asennuksesta saadaan todennäköisesti eniten hyötyä.

## 7 PANEELIEN HYÖDYNTÄMINEN MOOTTORIPYÖRÄSSÄ

Tarkastelukohteena opinnäytetyössä käytettiin Harley-Davidsonin Livewire sähkömoottoripyörää, joka oli varustettu 15,5 kilowattitunnin akustolla. Moottoripyörien energiankulutus kilometriä kohden on tyypillisesti henkilö- ja linja-autoja pienemmät, sillä moottoripyörien massa sekä otsapinta-ala ovat yleensä maltilliset, jolloin myös ajovastukset ovat verrattain pieniä.

Sähköisten moottoripyörien akuston lataaminen aurinkopaneelien kautta hyvällä hyötysuhteella on kuitenkin haastavaa, sillä moottoripyörien ulkoinen pinta-ala on melko pieni. Moottoripyörien katteisiin olisi mahdollista asentaa kohtuullisella pinta-alalle olevat kennot, ongelmaksi kennojen asennuksessa muodostuu kuitenkin niiden suuntaaminen. Polttoainetankin päälle muotoiltu kennosto olisi kennon tehontuoton kannalta hyvässä kulmassa aurinkoon nähden, ongelmaksi kuitenkin muodostuu tässä tapauksessa kuljettajan tuottama varjo polttoainetankin ylle. Mikäli kennot asennettaisiin sivukatteisiin, olisi toinen sivukate aina moottoripyörän omassa varjossa.

Moottoripyörään olisi mahdollista asentaa taitettava tai rullattava kennosto, joka voitaisiin avata pyörän ollessa paikallaan. Kasaan taittuvia, kuvan yksi esimerkin mukaisia paneelipaketteja voitaisiin asentaa moottoripyörään kaksi kappaletta niin, että ne osoittaisivat kohtisuoraan taivasta vasten. Esimerkkikuvan paneeli on metrin pitkä, ja puoli metriä leveä. Moottoripyörän päälle avattuna kaksi paneelia tuottaisi yhteensä yhden neliömetrin pinta-alan. Kennot tuottaisivat yhteensä 0,226 piikkikilowattisen tehonlähteen paneelien hyötysuhteen ollessa 22,6 prosenttia.



KUVA 1. Kuvitteellinen taitettava aurinkopaneeli millimetrimittoinen

### 7.1 Paneelien vuodessa tuottama energia eri puolilla maapalloa ja lataamisen kustannukset eri maissa

Moottoripyörässä käytettäisiin samoja Sunpowerin aurinkopaneeleja kuin edellä mainitussa Kian henkilöautossa. Taulukosta 14 nähdään kiinteästi asennetun sekä valoa jäljittävän 0,226 piikkikilowattisen kennoston energiantuotto vuodessa valituissa sijainneissa.

Moottoripyörän latauksen kustannukset ulkomailla on arvioitu taulukossa 15. Taulukossa esitellyt hinnat ovat moottoripyörän latauksen lopullisia hintoja yksityishenkilöille kotitalouksissa, joissa on huomioitu laturissa tapahtuva, noin kymmenen prosentin arvioitu häviö. Taulukon tiedot perustuvat taulukossa neljä esitettyyn arvioituun sähkön hintaan Suomessa sekä vuoden 2020 kesäkuun sähkön hintoihin (Electricity prices 2020).

TAULUKKO 14. Moottoripyörän paneelien tehontuotto vuodessa maittain

Moottoripyörään asennetun kennoston tehontuotto vuodessa eri maissa (kWh/v)		
Sijainti	Kiinteä kennosto	Valoa jäljittävä kennosto
Suomi, Helsinki	174,6	293,8
Suomi, Tampere	157,0	264,0
Britannia, Lontoo	196,7	309,8

Saksa, Berliini	201,2	320,1
Italia, Rooma	302,7	481,4
Egypti, Kairo	393,0	588,8
Yhdysvallat, Las Vegas	364,9	612,9
Yhdysvallat, New York	266,0	392,8
Australia, Karratha	409,8	603,6
Kiina, Hong Kong	272,3	332,3
Chile, Camina	471,6	681,8

TAULUKKO 15. Moottoripyörän akustoon ladatun energian hinta maittain

Maa	Akustoon ladatun sähkön hinta (snt/kWh)
Suomi	15,4
Britannia	24,2
Saksa	35,4
Italia	23,7
Egypti	3,3
Yhdysvallat	13,9
Australia	24,3
Kiina, Hong Kong	13,9
Chile	18,2

### 7.1.1 Livewire-sähkömoottoripyörän kulutus ja paneelien tuottamalla energialla ajatut kilometrit vuodessa

Livewiren kantama oli valmistajan mukaan kaupunkiajossa noin 235 kilometriä ja yhdistetyn ajon kantama oli noin 153 kilometriä (Detailed Specs 2021). Akuston ollessa 15,5 kilowattituntia, on moottoripyörän kulutus kaupunkiajossa noin 6,6 kilowattituntia sadalla kilometrillä, vastaavan yhdistetyn kulutuksen lukeman ollessa noin 10,1 kilowattituntia.

Taulukossa 16 on esiteltyä teoreettinen kilometrimäärä, joka pystyttäisiin ajamaan sillä lisäenergialla, jonka paneelit tuottavat moottoripyörälle vuodessa. Taulukon 16 tuloksista voitiin huomata, että kaupunkiajossa moottoripyörän kantama on suurempi kuin yhdistetyssä ajossa, sillä moottoripyörän ajovastukset ovat kaupunkinopeuksissa huomattavasti alhaisemmat kuin maantienopeuksissa.

TAULUKKO 16. Moottoripyörän paneelien tuottamat lisäkilometrit vuodessa

Livewiren aurinkopaneelien tuottamasta energiasta saadut lisäkilometrit vuodessa

Sijainti	Kaupunki	Yhdistetty
Suomi, Helsinki	2647	1722
Suomi, Tampere	2379	1548
Britannia, Lontoo	2982	1940
Saksa, Berliini	3051	1985
Italia, Rooma	4588	2985
Egypti, Kairo	5958	3877
Yhdysvallat, Las Vegas	5531	3599
Yhdysvallat, New York	4032	2624
Australia, Karratha	6213	4043
Kiina, Hong Kong	4128	2686
Chile, Camina	7149	4652

### 7.1.2 Paneelien asennuskustannusten arviointi

Livewiressä kuvitteellisesti käytetyn paneeliston neliömetrihinta sekä yhden paneelin asennushinta arvioitiin samaksi kun aiemmin esitellyissä Linkkerissä ja Kiassa. Yhden moottoripyörän paneelit kustantaisivat moottoripyörää valmistavalle yritykselle noin 366 euroa, työkustannusten ollessa 120 euroa.

Yhden moottoripyörän varustelu aurinkopaneeleilla tulisi näin maksamaan yritykselle arviolta 486 euroa. Suunnittelukuluja muutoksille, jolla paneeli saataisiin osaksi moottoripyörää ei arvoitu, sillä moottoripyörävalmistajan näkemystä asiaan ei ollut saatavilla.

### 7.1.3 Paneelien asentamisella saavutetut säästöt

Paneelien asentamisella saavutetut teoreettiset säästöt on esitelty taulukossa 17. Taulukon 17 säästöt vastaavat sitä euromäärää, joka jouduttaisiin maksamaan, mikäli kuluttaja haluaisi ladata aurinkopaneelien vuodessa tuottaman energiamäärän suoraan sähköverkosta.

Taulukossa 17 oli listattuna aurinkopaneelien tuottamat säästöt ensimmäisen kymmenen vuoden aikana. Säästölaskuissa ei oltu huomioitu suunnittelukustannuksia, eikä valmistajan haluamaa voittoprosenttia paneelijärjestelmän myymisestä.

TAULUKKO 17. Kiinteiden paneelien tuottamat säästöt ja takaisinmaksuaika

Livewiren aurinkopaneelien tuottamasta energiasta saadut lisäkilometrit vuodessa			
Sijainti	Säästöt vuodessa €	Säästöt 10 vuoden aikana (e) (paneelien kustannukset huomioitu)	Paneelien takaisinmaksuaika (v)
Suomi, Helsinki	27	-217	18,0
Suomi, Tampere	24	-244	20,1
Britannia, Lontoo	48	-10	10,2
Saksa, Berliini	71	227	6,8
Italia, Rooma	72	230	6,8
Egypti, Kairo	13	-355	37,1
Yhdysvallat, Las Vegas	51	21	9,6
Yhdysvallat, New York	37	-117	13,2
Australia, Karratha	100	511	4,9
Kiina, Hong Kong	38	-108	12,8
Chile, Camina	86	373	5,7

## 7.2 Tulosten arviointi

Aurinkopaneelien asentaminen moottoripyörään oli kaikista tarkastelukohteista kannattamattominta. Jokaisessa tarkastelumaassa paneelien takaisinmaksuajat olivat pitkiä, lyhimmilläänkin vain noin viisi vuotta. Haasteena moottoripyörässä on hyvin rajoitettu kennoston pinta-ala, ja näin ollen paneeliston piikkikilowattilukema jää alhaiseksi. Taitettavan paneeliston asentaminen moottoripyörään myös todennäköisesti muuttaisi moottoripyörän ulkonäköä, mikä saattaisi karsia kuluttajien kiinnostusta asentaa paneelit moottoripyörään. Paneeliston eduksi voitaisiin katsoa sen kyky ladata energiaa akustoon sellaisissa paikoissa, joissa verkkovirtaa ei ole saatavilla.

Suomen olosuhteissa kesäkuussa kyseinen paneelisto kykenisi tuottamaan energiaa Euroopan Unionin laskurin mukaan noin 29 kilowattituntia (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM 2019). Kesäkuussa moottoripyörään voitaisiin siis ladata noin yksi kilowattitunti energiaa päivässä, mikä oli hieman yli kuusi prosenttia Livewiren akuston kokonaiskapasiteetista. Akuston



lataaminen aurinkoenergialla olisi kestänyt Suomessa valoisimpana kuukautena vuodessa yli kaksi viikkoa, mikä saattaisi karsia kuluttajien kiinnostusta kyseistä teknologiaa kohtaan.

Aurinkopaneelit voisivat olla järkevä ratkaisu esimerkiksi Super Soco TSX 1500 mopossa, jonka kantama jälleenmyyjän mukaan on parhaimmillaan noin 64 kilometriä 1,8 kilowattitunnin akustolla (TSX 1500 2021). Supersocolla olisi parhaimmillaan päässyt yhden kilowattitunnin energiamäärälle noin 35 kilometriä. Päivittäinen 35 kilometrin lisäkantama voisi kiinnostaa sellaisia kuluttajia, joilla ei ole mahdollisuutta ladata sähkömopoaan esimerkiksi hieman kauempana sijaitsevalla työpaikalla, jolloin aurinkoenergialla voitaisiin saada päivittäiseen kantamaan merkittävää lisämatkaa.

## 8 VIRHETARKASTELU

Virhettä taulukoissa esiintyvissä laskutoimituksissa tuotti tarkan tiedon puuttuminen latauksen hyötysuhteista sekä paneeliston asentamisen todellisista hinnoista. Taulukoissa esitetyt tiedot olettavat, että ajoneuvon paneelit eivät ole rakennuksien tai luonnollisten varjojen varjossa. Todellisuudessa paneelisto ei välttämättä kykene tuottamaan vuosittain taulukoissa esitettyjä energiamääriä varjojen vaikutuksen vuoksi. Euroopan Unioni ei ilmoittanut aurinkopaneelijärjestelmien tuottaman vuosittaisen tehon virhemarginaalia, joka myös osaltaan vaikuttaa tulosten epävarmuuteen.

Aurinkokennojen avulla akustoon ladatun energian hyötysuhteeksi oletettiin 90 prosenttia, joka on huomioitu laskuissa. Hyötysuhde-oletus perustuu siihen, että ladattaessa sähköautoa kiinteästä latauspisteestä, vaihtovirta joudutaan muuntamaan tasavirraksi. Ladattaessa sähköautoa kiinteästä latauspisteestä hyötysuhde on noin 85 prosentin luokkaa, joten on perusteltua olettaa, että kun vaihtovirtaa ei tarvitse muuntaa tasavirraksi, on latauksen hyötysuhde parempi kuin 85 prosenttia.

Paneelit tulisi myös pitää puhtaana ympäri vuoden, varsinkin silloin kun auringon säteilyn intensiteetti on korkeimmillaan. Paneelien suorituskyky laskee, mikäli paneelin pinnalla on epäpuhtauksia tai jotakin muuta sellaista, joka taittaa valoa paneelista pois päin. Talvisin aurinkopaneelit tuottavat energiaa Suomen olosuhteissa todella heikosti, joten esimerkiksi lumien putsaaminen paneeleilta ei vaikuta merkittävästi vuotuisen energiantuottoon.

Lopputulokseen vaikuttavia virhemarginaaleja oli mahdoton arvioida tarkasti, sillä aiheesta ei ollut riittävästi käytännön tutkimustietoa saatavilla. Opinnäytetyössä esitetyt tulokset ovat siis vain suuntaa antavia tuloksia. Ainoa keino tarkkojen tutkimustulosten tuottamiseksi olisi tehdä käytännön kokeita aurinkopaneelien hyödyllisyydestä osana ajoneuvon latausjärjestelmää.

Opinnäytetyössä esitetyt laskelmat perustuivat ilmoitettuihin lähdetietoihin. Opinnäytetyössä esitettyjä sähkön hintatietoja Suomessa voidaan pitää luotettavina,

sillä ne perustuivat eri sähköyhtiöiden tarjoamaan todelliseen sähkön hintaan. Ulkomailla esitettyjen sähkön hintatietoja voidaan pitää kohtalaisen luotettavina, sillä esimerkiksi sähkön hintatietoja maailmanlaajuisesti keräävän Statistan ilmoittama sähkön keskihinta oli suurin piirtein samaa luokkaa kuin opinnäytetyössä lähteenä käytetyn Globalpetrolprices sivuston ilmoittamat keskihinnat (Household electricity prices...2020).

Auringon säteily määrän määrittämiseksi käytettyä Euroopan Unionin verkkolähdettä voidaan pitää luotettavana, sillä Euroopan Unionin ilmoittamat tiedot perustuvat laskettuihin tuloksiin. Opinnäytetyössä ilmoitettujen kennostojen hyötysuhteita voidaan pitää kohtalaisen luotettavina, sillä tiedot perustuivat kohtalaisen hyvin tunnettujen kennovalmistajien tuotelupauksiin.

Opinnäytetyössä ilmoitettujen ajoneuvojen kulutusten voitiin ajatella pitävän kohtuullisen hyvin paikkansa, sillä kulutuslukemat perustuivat joko WLTP-mittauksiin, Tampereen kaupungin tekemiin arvioihin tai valmistajien ilmoittamaan kantamaan. Valmistajien ilmoittamat kantamat voivat kuitenkin poiketa todellisuudesta huomattavasti, sillä erityisesti kovat pakkaskelit vähentävät kantamaa. Kovilla pakkaskeleillä ajoneuvon akuston tarjoamaa energiaa joudutaan käyttämään matkustamon lämmitykseen, jolloin on luonnollista, että opinnäytetyössä ilmoitetut kantamat saattavat poiketa todellisesta kantamasta merkittävästi.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyössä käsitellyt ajoneuvot olivat täyssähköisiä ajoneuvoja. Paneelien tuottamaa energiamäärää ei verrattu opinnäytetyössä fossiilisiin polttoaineisiin. Mikäli hybridihenkilöautoon asennettaisiin paneelisto, voisi sillä teoreettisesti saavuttaa enemmän säästöjä kuin mitä taulukossa yhdeksän on esitetty. Paneeliston ansiosta kuluttaja saattaisi välttyä ajamasta korkeahintaisilla fossiililla polttoaineilla.

Aurinkopaneelien asentaminen vaikuttaa myös ajoneuvon tai matkustustilojen korkeuteen, sillä opinnäytetyössä käytetty esimerkkipaneeli on 40 millimetriä paksu. Paneelin asennus olisi ainakin henkilöauton tapauksessa kompromissi matalamman matkustamon tai korkeamman ja ilmanvastukseltaan suuremman ajoneuvon väliltä. Ilmanvastusten lisäksi myös ajoneuvon paino nousisi paneelien asentamisen vaikutuksesta, mikä vaikuttaisi erityisesti kevyiden ajoneuvojen, kuten mopojen ja moottoripyörien hallittavuuteen ja suorituskykyyn.

Aurinkopaneelit olisi mahdollista suunnata valoa jäljittävällä järjestelmällä, jolloin aurinkopaneelien tuottamaa energiaa saataisiin vuositasolla merkittävästi nostettua, kuten taulukosta kymmenen voitiin havaita. Aurinkopaneelien suuntaaminen auringon valoon nähden kohtisuorasti olisi ajoneuvokäytössä haasteellista, sillä paneeleja suunnatessa paneelistolla pitäisi olla mahdollisuus nousta jokaiselta neljältä sivultaan, joka vaikuttaisi ajon aikana tapahtuviin ilmanvastuksiin. Olisi myös mahdollista, että valoa jäljittävä järjestelmä lisäisi aurinkopaneelijärjestelmän paksuutta, jolloin ilmanvastus edelleen kasvaisi tai matkustustilojen korkeus laskisi. Lisäksi suuntausjärjestelmästä tulisi lisää painoa ajoneuville, joka osaltaan vähentäisi järjestelmän kokonaishyötysuhdetta.

Aurinkopaneeleilla saavutettuja hyötyjä ajoneuvokäytössä arvioitiin vertaamalla paneelien asennuksesta koituvia teoreettisia kustannuksia paneelien tuottamiin teoreettisiin säästöihin. Aurinkopaneelien asennus ajoneuvoon tuo kuitenkin muitakin kuin mahdollisia taloudellisia hyötyjä. Aurinkopaneelien tuottama energia ei ole riippuvainen ulkoisista virtalähteistä, jolloin ajoneuvon akustoja olisi mahdollista ladata paneelien avulla sellaisissa paikoissa joissa ulkoista

sähkön lähde ei ole. Paneelien asennuksella saataisiin myös pidennettyä ajoneuvon kantamaa busseissa ja henkilöautoissa, sillä paneelisto kykenisi lataamaan ajoakkua myös ajon aikana. Paneelien tuoma lisäenergia myös pidentäisi ajoakun käyttöikä. Ajoakun käyttöikä lyhenee mitä pienemmästä varaustasosta ajoakkua aletaan ladata. Aurinkoenergiaa hyödyntävän ajoneuvon ajoakun varaustaso olisi korkeampi aloitettaessa lataus ulkoisesta lähteestä, kuin sellaisessa ajoneuvossa jossa aurinkoenergiaa ei hyödynnetä.

Opinnäytetyössä esitetyistä tuloksista huomattiin, että aurinkoenergian hyödyntämisen kannattavuus on vahvasti sidonnainen siihen, missä aurinkoenergiaa halutaan hyödyntää. Suomen olosuhteissa aurinkoenergian hyödyntäminen ei ole kovinkaan merkityksellistä, kun verrataan järjestelmän tuottaman sähkön määrää vuoden 2020 ja 2021 sähkön hintoihin. Suomalainen keskivertoautoilija ajoi vuonna 2016 vuorokaudessa keskimäärin 52 kilometriä (Henkilöliikennetutkimus 2018). Taulukon seitsemän mukaan paneelien tuottamalla energialla voitaisiin Suomessa ajaa vuosittain vain noin 3000 kilometriä, mikä olisi noin 16 prosenttia suomalaisten vuosittain ajamasta ajomatkasta. Mikäli paneelien asentaminen ajoneuvoon suomen olosuhteissa olisi todellisuudessa kannattavaa, tulisi paneeliteknologian kehittyä energiatehokkaammaksi ja kustannuksiltaan edullisemmaksi.

Opinnäytetyöstä selvisi hyvin ne maat, joissa paneelien käyttöä ajoneuvoissa olisi kannattavinta kokeilla käytännössä. Taulukosta yhdeksän voitiin huomata aurinkopaneelien asennuksen olevan kohtuullisen kannattavaa Australiassa, Chilessä, Saksassa ja Italiassa. Mikäli ajoneuvovalmistajat kiinnostuisivat aurinkoenergian hyödyntämisestä ajoneuvoissa, niin käytännön kokeilut kannattaisivat tehdä Australiassa. Mikäli aurinkopaneelien asennus osoittautuisi käytännön kokeilussa Australiassa kannattamattomaksi, tarkoittaisi se sitä, että se olisi nykyisellä teknologialla myös muualla maailmassa kannattamatonta.

## LÄHTEET

Autotie. 2020. Mikä on Leaf-sähköauton AC-latauksen hävikki?. Julkaistu 29.3.2020. Luettu 16.3.2021. [https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/sahkoauto\\_leaf40kwh\\_lataushavikki](https://www.autotie.fi/tien-sivusta/sahkoautoileva-motoristi/sahkoauto_leaf40kwh_lataushavikki)

CNBC. 2020. Labor costs for Detroit automakers expected to increase upward of \$1 billion by 2023. Julkaistu 17.1.2020. Luettu 18.3.2021. <https://www.cnbc.com/2020/01/17/labor-costs-for-detroit-automakers-expected-to-increase-by-up-to-1b.html>

Delta Auto. n.d. Kia Ceed. Luettu 29.12.2020. <https://www.delta.fi/fi/autot/kia-ceed-1-0-t-gdi-100hv-lx-5d-2021-241278?category=u>

Delta Auto. n.d. Kia Niro. Luettu 29.12.2020. <https://www.delta.fi/fi/autot/kia-niro-1-6-gdi-hybrid-ex-dct-2020-228539?category=u>

Dietsche, K., Reif, K. 2018. Automotive handbook. 10. painos. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH.

Energiavirasto. n.d. Sähkön hintatilatot. Luettu 15.3.2021. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilatot>

Energy education. 2018. Solar panel orientation. Päivitetty 11.5.2018. Luettu 11.3.2021. [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar\\_panel\\_orientation](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_panel_orientation)

Europa. 2020a. Concentrated solar power. Julkaistu 28.4.2020. Luettu 15.2.2021. [https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-power\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/solar-power_en)

Europa. 2020b. Data sources and calculation methods. Päivitetty 29.10.2020. Luettu 6.3.2021. <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>

Europa. 2017. New and improved car emissions tests become mandatory on 1 September. Julkaistu 31.8.2017. Luettu 15.2.2021. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_17\\_2822](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_17_2822)

Europa. 2019. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. Päivitetty 15.10.2019. Luettu 26.3.2021. [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#PVP](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP)

Europe-solarstore. n.d. SunPower SPR-MAX3-400. Luettu 18.3.2021. <https://www.europe-solarstore.com/solar-panels/manufacturer/sunpower/sunpower-spr-max3-400.html>

Ev-database. n.d. Kia e-Niro 64 kWh. Luettu 15.3.2021. <https://ev-database.org/car/1260/Kia-e-Niro-64-kWh>

Fortum. n.d. Hintavarmuus 24 kk. Luettu 15.3.2021. [https://www.fortum.fi/koti-asiakkaille/sahkoa-kotiin/sahkosopimukset?utm\\_term=fortum%20s%C3%A4hk%C3%B6n%20hinta&utm\\_campaign=Search+-+Brand+-](https://www.fortum.fi/koti-asiakkaille/sahkoa-kotiin/sahkosopimukset?utm_term=fortum%20s%C3%A4hk%C3%B6n%20hinta&utm_campaign=Search+-+Brand+-)

[+PKS&utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&hsa\\_acc=3752639039&hsa\\_cam=1596335406&hsa\\_grp=68817200148&hsa\\_ad=379571978613&hsa\\_src=g&hsa\\_tgt=aud-461020972266:kwd-414186270197&hsa\\_kw=for-tum%20s%C3%A4hk%C3%B6n%20hinta&hsa\\_mt=e&hsa\\_net=adwords&hsa\\_ver=3&gclid=CjwKCAiAhbeCBhBcEi-wAkV2cY97BHHSMSEydx7Gkq16hrAbgUBj2bHH5UGue5ku-QGofuG7U8atEUxoCuowQAvD\\_BwE](https://www.google.com/ads/preferences?utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=3752639039&hsa_cam=1596335406&hsa_grp=68817200148&hsa_ad=379571978613&hsa_src=g&hsa_tgt=aud-461020972266:kwd-414186270197&hsa_kw=for-tum%20s%C3%A4hk%C3%B6n%20hinta&hsa_mt=e&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=CjwKCAiAhbeCBhBcEi-wAkV2cY97BHHSMSEydx7Gkq16hrAbgUBj2bHH5UGue5ku-QGofuG7U8atEUxoCuowQAvD_BwE)

Fraunhofer. 2020. PV Production by Technology. [pdf] Fraunhofer institute. Julkaistu 16.9.2020. Luettu 19.2.2021.

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Globalpetrolprices. n.d. Electricity prices. Luettu 16.3.2021.

[https://www.globalpetrolprices.com/electricity\\_prices/](https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/)

Harley-Davidson. n.d. Detailed Specs. Luettu 21.3.2021. <https://www.harley-davidson.com/us/en/motorcycles/livewire.html>

Helen. n.d. Kiinteähintainen 24 kk. Luettu 15.3.2021. <https://www.helen.fi/sahko/sahkosopimus>

Homerenergy. n.d. HOMER Pro. Luettu 4.3.2021. [https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/standard\\_test\\_conditions.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/standard_test_conditions.html)

Ilmatieteenlaitos. n.d. Auringon rakenne ja elinkaari. Luettu 9.2.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>

Ilmatieteenlaitos. n.d. Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut. Luettu 9.2.2021. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>

Latauskartta. n.d. Latauspisteet. Luettu 18.3.2021. <https://latauskartta.fi/>

LG. 2020. Choosing the Right Technology. Julkaistu 19.11.2020. Luettu 19.2.2021. <https://www.lg.com/us/solar/blog/monocrystalline-vs-polycrystalline-what-does-it-mean>

Nasa. 2009. Earth's Energy Budget. Julkaistu 14.1.2009. Luettu 9.2.2021. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page4.php>

Nordic green energy. n.d. Valitse sähkösojimus. Luettu 15.3/2021. <https://www.nordicgreen.fi/kampanja/sahkosopimus/>

NREL. 2020. NREL Six-Junction Solar Cell Sets Two World Records for Efficiency. Julkaistu 13.4.2020. Luettu 25.2.2021. <https://www.nrel.gov/news/press/2020/nrel-six-junction-solar-cell-sets-two-world-records-for-efficiency.html>

Solarreviews. 2020. What is a thin film solar panel?. Päivitetty 7.11.2020. Luettu 19.2.2021. <https://www.solarreviews.com/blog/thin-film-solar-panels>

Statista. 2020. Household electricity prices worldwide in 2020, by select country. Julkaistu 25.3.2020. Luettu 11.4.2020. <https://www.statista.com/statistics/263492/electricity-prices-in-selected-countries/>

Sunpower. n.d. Unmatched Performance, Reliability and Aesthetics. Luettu 19.2.2021. <https://us.sunpower.com/solar-panels-technology/x-series-solar-panels>

Tampere. n.d. Bussiliikenteen sähköistäminen. Luettu 26.2.2021. [https://www.tampere.fi/tiedostot/t/W0CdNZVvf/bussiliikenteen\\_sahkoistaminen\\_tautaselvitys.pdf](https://www.tampere.fi/tiedostot/t/W0CdNZVvf/bussiliikenteen_sahkoistaminen_tautaselvitys.pdf)

Traficom. 2018. Henkilöliikennetutkimus. [pdf] Liikenne- ja viestintävirasto. Päivitetty 17.4.2018. Luettu 15.2. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti\\_2018-01\\_henkiloliikennetutkimus\\_2016\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2018-01_henkiloliikennetutkimus_2016_web.pdf).

Urbanebikes. n.d. TSX 1500. Luettu 21.3.2021. <https://urbanebikes.com/collections/electric-mopeds/products/super-soco-tsx1500>

Vattenfall. n.d. Määräaikaiset sähkö sopimukset. Luettu 15.3.2021. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/>

Yle. 2020. Koko Suomen sähköautojen latauspisteet nyt kartalla – kartasta nettiversio ja mobiilisovellus. Julkaistu 16.12.2020. Luettu 18.3.2021. <https://yle.fi/uutiset/3-11700121>