



AURINKOPANEELIN HYÖDYNTÄMINEN HENKILÖAUTON TOIMINTAMATKAN KASVATTAMISEKSI

Tutkimus aurinkopaneelien vaikutuksesta sähkömoottori- ja polttomoottoriauton toimintamatkaan

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Sähkötekniikan kandityö

2023

Tekijä: Elias Syrjämäki

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Paula Immonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Sähkötekniikka

Elias Syrjämäki

AURINKOPANEELIN HYÖDYNTÄMINEN HENKILÖAUTON TOIMINTAMATKAN KASVATTAMISEKSI. Tutkimus aurinkopaneelien vaikutuksesta sähkömoottori- ja polttomoottoriauton toimintamatkaan

Sähkötekniikan kandidaatintyö

2023

35 sivua, 2 kuvaa ja 6 taulukkoa

Tarkastaja: Tutkijaopettaja Paula Immonen

Avainsanat: aurinkopaneeli, autot, hybridi, toimintamatra, polttomoottori, sähkömoottori, sähköauto, hybridiauto, kulutus, neliöteho, piikkiteho, hyötysuhde

Maailmalla on valmistettu sähköautoja, joiden ainoana energianlähteenä on aurinkopaneelit. Aurinkoenergialla saadaan lisäkilometrejä lataamatta autoa. Polttomoottorillinenkin auto tarvitsee sähköä, jota voisi tuottaa aurinkopaneeleilla. Millaisen hyödyn aurinkopaneeleista voi saada tarkasteltaessa toimintamatkaa ja milloin auton laturin voisi osittain tai kokonaan korvata aurinkopaneelilla? Tutkimukseen valittiin kaksi teholtaan erilaista aurinkopaneelia, joista toinen on suunniteltu matkailuautoon ja toinen Lightyear-sähköautoon. Polttomoottorillisessa autossa aurinkopaneeleista saatavaa tehoa verrataan auton laturin vaatimaan tehoon. Paneelien teholla tuotetun sähkön lasketaan olevan pois laturin tarpeesta tuottaa sähköä. Sähköautoissa oletetaan olevan samat sähkölaitteet kuin polttomoottorillisessa autossa. Sähköauton kulutus ilmoitetaan valmiiksi sähkötehona, joten toisin kuin polttomoottorillisessa, aurinkoenergia voidaan suoraan laskea kuluvan sähköauton kulutukseen. Polttomoottorillinen auto voisi laskennallisesti saada lisäkilometrejä matkailuautoon suunnitellulla 185 Wp aurinkopaneelilla kahden neliön katolta 4,5 kilometriä 100 kilometrille ja Lightyearin 1000 Wp paneelilla samalta katolta 5,8 kilometriä 100 kilometrille. Samoilla arvoilla sähköauto, johon laitetaan matkailuauton paneelit, saa 2,5 lisäkilometriä 100 kilometriä kohti ja Lightyear-sähköauton paneeleilla 3,2 lisäkilometriä 100 kilometriä kohti. Paneeleista saatu hyöty on vielä pieni. Aurinkopaneeleissa sekä hyötysuhteen että tehon pitää kasvaa tulevaisuudessa. Tehokkaimman hyödyn saamiseksi aurinkopaneelien täytyisi polttomoottorillisesta autosta korvata laturi aurinkoenergialla ja sähköautossa tuottaa tasaisesti kaikki ajossa kuluva sähkö.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Electrical Engineering

Elias Syrjämäki

UTILIZING THE SOLAR PANEL TO INCREASE THE MILEAGE OF A PASSENGER CAR. Research on the effect of solar panels on the operating distance of an electric motor and combustion engine car

Bachelor's thesis

2023

35 pages, 2 figures and 6 tables

Examiners: Associate professor Paula Immonen

Keywords: solar panel, cars, hybrid, range, internal combustion engine, electric engine, electric car. Hybrid car, consumption, square power, peak power, efficiency

Electric cars have been manufactured in the world, the only energy source of which is solar panels. With solar energy you can get extra kilometers without charging the car. Even a car with an internal combustion engine needs electricity, which could be produced with solar panels. What benefit can you get from solar panels when looking at operating range and when could a car charger be partially or completely replaced with a solar panel? Two solar panels of different power were chosen for the study. One is designed for a motorhome and the other made for a Lightyear electric car. In a combustion engine car, the power obtained from the solar panels is compared to the power required by the car's charger. The electricity produced by the power of the panels is counted as being excluded from the charger's need to produce electricity. Electric cars are supposed to have the same electrical devices as in a combustion engine car. The consumption of an electric car is already declared as electric power, so unlike a combustion engine, solar energy can be directly calculated into the consumption of an electric car. A combustion engine car with two square meter roof could gain 4.5 kilometers per 100 kilometers more distance with the 185 Wp solar panel designed for a motorhome. With the same roof and Lightyear's 1000 Wp panel car gets 5.8 kilometers to 100 kilometers. With the same values an electric car could get 2.5 kilometers per 100 kilometers with motorhome panels and 3.2 kilometers per 100 kilometers with the Lightyear's panels. Benefit from solar panels is still low. In addition to the efficiency of solar panels, their power must increase in the future. Efficiency and power of solar panels should significantly grow in the future to replace charger and battery in cars.

KIITOKSET/ ACKNOWLEDGEMENTS

Tiina-Maria Syrjämäki

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

1	Johdanto.....	15
2	Aurinkopaneeleista saatu teho	18
2.1	Jälkiasennettävien aurinkopaneelien teho	18
2.2	Aurinkopaneeleja hyödyntävien sähköautojen paneelit.....	19
2.3	Aurinkopaneeli auton liikkuesssa	19
2.4	Aurinkopaneelien hyötysuhde.....	20
2.5	Auton katolta saatava teho	21
2.6	Hyödyksi saatu teho	21
2.7	Lasketut tulokset	22
3	Aurinkopaneelista saadun tehon käyttö polttomoottorillisen auton toimintamatkaan .	23
3.1	Polttomoottorillinen auto	23
3.2	Laturin korvaaminen	24
3.3	Kulutus	27
3.4	Toimintamatka	29
4	Aurinkopaneeleista saadun tehon käyttö sähköauton toimintamatkaan.....	31
4.1	Teknologia sähköautossa	31
4.2	Auton kulutus ja toimintamatka	32
5	Hybridi.....	32
5.1	Lasketut kilometrit aurinkopaneeleilla.....	33
5.2	Järjestelmien ero.....	34
6	Aurinkopaneelit tulevaisuudessa	34
6.1	Aurinkopaneelien tulevaisuus.	34
6.2	Kehittyneiden aurinkopaneelien tuomat kilometrit.....	35
7	Tulevaisuus.....	36
7.1	Polttomoottorillinen auto aurinkopaneeleilla tulevaisuudessa.....	36
7.2	Sähkömoottorillinen auto aurinkopaneeleilla tulevaisuudessa	36

7.3	Hybridiauto aurinkopaneeleilla tulevaisuudessa.....	37
8	Johtopäätökset	38
	Lähteet	40

Kuvaluettelo

Kuva 1: Auton sähkölaitteiden vaatima polttoaine

Kuva 2: Auton kulutuksen optimaalinen ajonopeus

Taulukkoluetelo

Taulukko 1: Kahden eri aurinkopaneelin tuottamat tehot

Taulukko 2: Sähkölaitteiden kulutuksen vaikutus polttoaineen kulutukseen

Taulukko 3: Sähkötehon tarve eri nopeuksilla

Taulukko 4: Sähköön kulutetun polttoaineen osuus kokonaiskulutuksesta 100 kilometrillä

Taulukko 5: Aurinkopaneelilla saatu toimintamatka jokaista 100 kilometriä kohti.

Taulukko 6: Laskettujen kilometrien vertailu.

1 Johdanto

Autot ovat aina sisältäneet sähköä, vaikka suurin osa maailman autoista kulkee polttomoottorilla. Perinteisessä polttomoottorissa sähköä tuotetaan hihnavetoisella laturilla akulle, joka varastoi sitä. Perinteinen auto käyttää sähköä pääosin käynnistykseen, ilmastointiin, valoihin ja mahdollisiin lisävarusteisiin. Pieni osa saattaa mennä moottorin sytytykseen, mutta se on murto-osa verrattuna muihin laitteisiin. Sähkön lataaminen autoon laturilla kuluttaa moottoritehoa. Sähkön lataaminen kuluttaa tehoa pieniä määriä, mutta tarpeeksi jotta uudet autot lakkaavat käyttämästä laturia akun ollessa täysi. Tämä säästää hieman polttoainetta pitkällä matkalla. Polttoaineen säästäminen lisää auton maksimaalista toimintamatkaa.

Sähköautot keksittiin jo 1800-luvulla, mutta niiden suosio ja kehittäminen jäivät käyttökustannusten takia merkittävästi polttomoottoriautoista jälkeen. Vasta 2010-luvulla suureen yleisön kiinnostus sähköautoja kohtaan heräsi. Sähköautojen suosio on siitä lähtien noussut räjähdysmäisesti. Niiden teknologian kehitys on kasvanut samassa suhteessa. Sähköautoista löytyy käytännössä kaksi sähköjärjestelmää. Sähköauto liikkuu korkeajännitteisillä moottoreilla, jotka käyttävät joko tasavirrasta muunnettua säädettyä vaihtovirtaa tai säädettyä tasavirtaa. Tämä sähköjärjestelmä vaatii isot ja painavat akut, jotka pitkälti määrittävät auton toimintamatkan. Korkeajännitejärjestelmä luovuttaa tarvittaessa energiaa 12 voltin järjestelmälle, jota kutsutaan myös pienjännitejärjestelmäksi. Auton ilmastointi, valot ja muut vastaavat laitteet, jotka autoissa kuuluu olla turvallisuuden ja mukavuuden kannalta, toimivat 12 voltin järjestelmässä. Välillisesti siis esimerkiksi ilmastoinnin käyttö vaikuttaa sähköauton toimintamataan, joka on noussut sähköauton ongelmaksi vertailussa polttomoottoreihin.

Toimintamatkaongelman ja ekologisuuden lisäämisen ratkaisuksi ovat tulleet hybridautot. Hybridit sisältävät monella erilaisella variantilla sekä sähkömoottorin että polttomoottorin. Osassa hybrideistä polttomoottori on vain auton lataamista varten. Toinen vaihtoehto on käyttää sähkömoottoria vain lisäenergiana, jolloin auto ei osaa ladata itseään, vaan lataus tuodaan ulkopuolelta. Kolmas vaihtoehto on hyödyntää molempia moottoreita optimoiden

niiden käyttöä ja ladata sähköä ajettaessa polttomoottorilla esimerkiksi moottorijarruttamalla. Loogisesti ajateltuna hybridi olisikin liikenteessäärkevin vaihtoehto, koska sähkömoottorin suurin hyöty saadaan auton lähtiessä paikaltaan liikkeelle ja polttomoottorin suurin hyöty saadaan korkeamman nopeuden tasaisessa matka-ajossa. Maailmalla on nähty erityyän suorituskykyisiä urheiluautoja, kun tietokone ohjaa moottorien toimintaa. Moottoriurheilu onkin siirtynyt hybridiakakauteen formula 1-luokassa ja WRC-sarjassa. Formula 1 – sarja päivitti autot hybrideiksi vuonna 2014 [22]. WRC-sarjan autot hybridien tulosta alkaen tunnettu Rally 1 – autoina [17]. Hybridin toimintamatkaan vaikuttaa polttoaineen kulutus ja määrä sekä akkujen koko. Hybridin toimintamatka on siis suoraa yhdistetty sähkö- ja polttomoottoriauton toimintamatka. Hybrideistäkin löytyy 12 voltin järjestelmä, joka ladataan polttomoottorilta.

Yksi auton tärkeimmistä ominaisuuksista on sen toimintamatka. Erityisesti energian hinnan kallistuessa on aina olennaista, milloin autoon joutuu ostamaan lisää polttoainetta tai lataamaan lisää sähköä, koska kumpikaan ei ole ilmaista. Myös ekologisuus on nykypäivänä olennainen tarkastelukohde. Mitä pidemmälle pääsee vähällä, sen parempi. Kun polttomoottori kuluttaa vähän, se saastuttaa vähän ja sillä pääsee pitkälle. Sähköauton saasteet tulevat pääasiassa valmistusvaiheessa ja suurilta osin akkujen valmistuksesta. Akkujen kestäessä pitkään niiden saasteet pienenevät suhteessa ajettuihin kilometreihin. Toisaalta sähköauton käyttäjän tulee myös tietää, millä tavoin kulutettu sähkö on tuotettu [21]. Kaikissa autoissa kuitenkin toimintamatkan lisääminen ilman polttoaineen tai akun koon lisäämistä on auton ekologisuuden lisäämistä.

Aurinkopaneelien valmistus on lähes päästötöntä akkujen valmistukseen nähden [20] [21]. Työn tutkimuksen kohteena onkin aurinkopaneelien hyödyntäminen autoissa. Aurinkopaneelien tavoitteena on lisätä auton toimintamatkaa päästöttömästi. Työn tarkastelussa aurinkopaneeleita hyödynnetään kaikissa kolmessa edeltävässä auton liikuttamisen ratkaisussa. Tarkasteltavat sähköjärjestelmät jaetaan kahteen luokkaan. Korkeajännitejärjestelmä löytyy sähkö- ja hybridi-autosta. 12 voltin järjestelmä löytyy taas käytännössä kaikista katulaillisista autoista. Tutkimuksessa on tarkoituksena kirjallisuuskatsauksen keinoin ottaa selvää

aurinkopaneelin vaikutuksesta molemmissa sähköjärjestelmissä. Tavoitteena on myös selvittää eroavaisuuksia järjestelmien välillä hyödyn suhteen tarkasteltuna.

Aurinkopaneeli ei ole uusi keksintö ja se tuottaa sähköä. Myöskään sähköauto ei ole kovin uusi keksintö. Maailmassa on jo kehitetty sähköautoja, joissa on aurinkopaneelit katolla. Kuitenkaan tieliikenteessä et voi vielä kovin usein törmätä sähköautoon, jossa on aurinkopaneeli katolla. Tutkimuksen osatavoitteena on kurkistaa tulevaisuuteen. Mitä parametreja täytyy muuttaa, jotta tutkimuksen teknologiaa kannattaisi hyödyntää suuremmissa määrin?

2 Aurinkopaneeleista saatu teho

Aurinkopaneeleista saatava teho ratkaisee, kuinka paljon saadulla teholla voidaan liikuttaa autoa tai korvata laturin tuottamaa tehoa. Aurinkopaneeleilla saatavan energian avulla voidaan tarkastella kulutuksen pienenemistä ja sen vaikutusta toimintamatkaan. Työssä tarkastellaan myös aurinkopaneeleita, joita käytetään jo valmistetuissa autoissa kuten, Lightyear-sähköautossa [16], ja paneeleita, jotka voitaisiin jälkiasentaa autoon.

2.1 Jälkiasennettavien aurinkopaneelien teho

Aurinkopaneelien tuottama teho on erittäin riippuvainen auringon säteilykulmasta eli suoraan osuvien säteiden määrästä ja paneelien pinta-alasta. Usein paneelien ilmoitetaan teho pinta-alan mukaan. Tällöin puhutaan aurinkopaneelien neliötehosta, joka merkintänä on watteina piikkiteho jaettuna kokonaispinta-alalla. Matemaattinen kaava on ilmoitettu seuraavalla tavalla:

$$Neliöteho = \frac{P_{\text{peak}}(\text{Wp})}{\text{pinta-ala}(\text{m}^2)} \quad (1)$$

Aurinkopaneelien neliöteho vaihtelee paneelien välillä ja paneelien kehittyessä se kasvaa jatkuvasti. Neliötehoon ilmoitettu piikkiteho (Wp) määrittyy standardissa EN 60904-3. Aurinkopaneelin nimellisteho on paneelin tuottama teho STC-olosuhteissa auringon osuessa lämpötilaltaan 25 asteiseen paneeliin 35 asteen kulmassa auringon säteilytehon ollessa 1000 W / m² [1]. Työssä ei kuitenkaan vertailla useita paneeleita ja työn tarkoituksena on hyödyntää niitä autoissa, joten tutkimuksessa valitaan kaksi erilaista paneelia ja tutkitaan niiden tuomaa toimintamatkaa henkilöautolle.

SunPowerin aurinkopaneelit ovat teholtaan 420Wp-440Wp ja paneelien mainostetaan olevan hyötysuhteeltaan maailman tehokkaimpia [2]. Scanoffice lupaa tuoda markkinoille 500Wp paneeleita ja maailmalla väitetään olevan yli 700 Wp paneeleita [3]. Valtaosa näistä paneeleista on kuitenkin erittäin isoja ja painavia, eikä niitä ole tarkoitettu liikuteltavaksi. Matkailuautoihin myytävät kevyemmät ja pienemmät aurinkopaneelit ovat teholtaan 55 Wp

– 185 Wp [4] [5]. Jotta tutkimuksen aurinkopaneeli olisi mahdollista saada käyttöön Suomessa, kaikki ilmoitetut paneelien tehot on otettu Suomessa aurinkopaneeleja myyvistä verkkokaupoista. Ulkomailla on vielä tehokkaampia paneeleita myös asuntoautoihin, mutta käyttöolosuhteet voivat olla toiset ja valmistusmateriaalit voivat olla erilaisia kuin Suomessa säädökset vaativat. Laskentaan valitaan tarjontahaarukan kärjestä aurinkopaneeli, joka on tarkoitettu ajoneuvoon, eli 185Wp aurinkopaneeli. Paneelin pinta-ala oli 1,1 neliometriä, joten neliötehon kaavalla on 168,4 wattia neliometriä kohti.

2.2 Aurinkopaneeleja hyödyntävien sähköautojen paneelit

Maailmalla on valmistettu autoja, joissa on katolla valmiiksi aurinkopaneelit. Nämä autot ovat kaikki sähköautoja ja niiden aurinkopaneelien tarkoitus on tuoda lisää energiaa auton liikuttamiseen. Esimerkiksi Lightyear one pyrkii käyttämään pelkästään saamaansa aurinkoenergiaa liikkumiseen. Verrattuna edellisen kappaleen laskelmiin auton aurinkopaneelit ovat huomattavasti isommat ja tehokkaammat. Pinta-alan aion pitää samana, keskimääräisenä 2 neliömetrinä, koska tavoitteena on tarkastella aurinkopaneelien käyttöä, eikä yksilöllistä autoa.

Vertailtavien Lightyearin lasisten aurinkopaneelien huipputeho on 1075 Wp, joka on huomattavasti suurempi kuin matkailuautoihin suunnitellut paneelit. Paneeli on kooltaan myös isompi viisi neliometriä ja Lightyear onen neliötehoksi ilmoitetaan 215 wattia neliometriä kohti [16].

2.3 Aurinkopaneeli auton liikkeessa

Edeltävien kappaleiden laskelmissa ei huomioida auton liikettä ja aurinkopaneelin kohtauskulman vaihtumista liikkeessa. Asennettaessa aurinkopaneeleita paikalleen esimerkiksi talon katolle voidaan Suomen olosuhteissa nyrkkisääntönä ajatella laskennalliseksi hyötysuhteeksi 15 % huipputehosta vuodessa [14].

Auto kuitenkin liikkuu ja voidaan ajatella, etteivät auton paneelit ole ollenkaan käytössä pimeänä aikana. Vaikuttava asia on kuitenkin auringon kohtauskulman vaikutus saatuun tehoon. Kohtauskulman ollessa alle 15 astetta, ilmakehä imee yli 50 % auringon säteilystä. Auringon säteistä kuitenkin hajasäteilyä noin 50 % säteilystä. Hajasäteilyä tulee myös

pilvisellä säällä, jolloin kaikki säteily on hajasäteilyä [14]. Suomessa optimikulmalla aurinkopaneeli tuottaa noin 90 % huipputehostaan [15].

Autolla liikkussa voidaan ajatella paneelin olevan ajoittain optimikulmassa, jolloin saadaan 90 % hyöty ja välillä ajetaan pilvisellä säällä, jolloin saadaan hajasäteilystä 50 % hyöty. Keskimäärin voidaan auton liikkeessä ollessa laskea saatavan energiaa 70 % hyötysuhteella aurinkopaneelin piikkitehoon nähden. Sään täytyy kuitenkin vaihdella aurinkoisen ja kohtalaisen pilvisyyden välillä, jotta auton nousukulmat ja liikkuminen saadaan huomioitua. Paikallaan ollessa voitaisiin harkita jotain mekanismia, joka nostaisi paneelin optimaaliseen kulmaan ja seuraisi aurinkoa, mutta tämä tuo lisää painoa autoon. Tätä mahdollista ominaisuutta ei oteta tämän tutkimuksen laskelmiin mukaan. Laskennoissa käytetään 70 % hyötysuhdetta.

2.4 Aurinkopaneelien hyötysuhde

Aurinkopaneelien hyötysuhde määritellään standardiarvoilla, jotka on esitelty kappaleessa 2.1. Hyötysuhde perustuu auringon säteiden energiasta saatavaan hyötyyn. Auringon säteissä olisi siis enemmän energiaa kuin paneeleilla saadaan irti. Motivan sivuilla on aurinkopaneelin hyötysuhteelle seuraava kaava [7].

$$n = \frac{P_{\text{peak}}(\text{Wp})}{\text{pinta-ala} (\text{m}^2) * 1000 \text{ W/m}^2} \quad (2)$$

Aurinkopaneelien hyötysuhteen kaavaan sijoitetaan tarkasteltavan aurinkopaneelin piikkiteho ja käytetään paneelin alkuperäistä pinta-alaa pinta-alan arvona.

Sijoitetaan hyötysuhteen kaavaan matkailuautoon suunnitellun paneelin piikkiteho 185 Wp ja pinta-ala eli 1,1 neliometriä. Kaavasta saadaan 16,8 % hyötysuhde aurinkopaneeleille. Tämä tarkoittaa, että paneelit pystyvät muuntamaan 16,8 % saamastaan auringon säteistä tehoksi.

Kun hyötysuhteen kaavaa käytettäessä tehokkaampiin paneeleihin, arvoilla 1000 Wp ja viisi neliometriä saadaan aurinkopaneelin hyötysuhteeksi 20 %. Tämä tarkoittaa paneelien muuntavan 20 % saamastaan auringon energiasta sähkötehoksi.

2.5 Auton katolta saatava teho

Aurinkopaneeleja käytävissä prototyypeissä aurinkopaneelit on sijoitettu auton katolle. Sijainti autossa on järkevin, koska katolla on todennäköisin osumapinta auringonsäteille. Täysin läpinäkyviä ikkuna-aurinkopaneeleja on suunniteltu, mutta niitä ei ole vielä saatavilla. Jälkiasennettuna aurinkopaneeli voi siis käytännössä olla vain auton katon pinta-alan kokoinen.

Lähimpien pihassa olevien kahden auton mitatut pinta-alat olivat 1,7 neliometriä ja 2 neliometriä. SGM-yhtiön, joka valmistaa auton kattojen eristeitä, sivuilla ilmoitetaan henkilöauton katon pinta-alaksi noin 2,5 neliometriä [6]. Edellä mainituista kolmesta arvosta keskimääräisin on 2 neliometriä ja se valitaan vertailukohteeksi laskentoihin. Joissain autoissa on varmasti isompi ja osassa pienempi katto, mutta automalleja on valmistettu niin paljon, että vertailujen tekemiseksi on valittava jokin keskimääräinen arvo. Matkailuautoon suunniteltu paneeli on neliöteholtaan $168,4 \text{ W/m}^2$, joten kahden neliömetrin katolta paneelin tehoksi saadaan 336,8 wattia. Lightyearin paneelin neliöteho on 215 W/m^2 , joten saman auton katolla se tuottaa 430 wattia tehoa.

2.6 Hyödyksi saatu teho

Aurinkopaneelijärjestelmästä häviää tehoa johtimiin, jos sähköä pitää muuntaa. Yleiset tehonsiirron häviöt ovat kuitenkin pieniä ja laskennassa oletan ne olemattomiksi. Paneelien teho on laskettu neliötehoksi, josta saadaan todellinen teho kertomalla arvo katon pinta-alalla eli kahdella neliometrillä. Matkailuautoihin suunnitelluista aurinkopaneeleista saadaan 336,8 wattia tehoa ja Lightyearin paneeleista taas saadaan 430 wattia tehoa kahden neliömetrin katolta. Ottaen huomioon auton liikkumisen paneelien teho putoaa ajossa 70 prosenttiin huipputehosta. Matkailuauton paneeli tuottaa ajossa auton katolta 235,8 wattia tehoa ja Lightyearin paneeli 301 wattia tehoa.

2.7 Lasketut tulokset

Aurinkopaneelien laskennan kaava ovat molemmat Motivan sivuilta [7]. Motiva on valtion kestävä kehityksen yhtiö, joka tutkii ympäristöä ja teknologioita, jotka tukevat kestävä kehitystä. Yhtiön verkkosivuilta löytyy tutkimuksia ja ohjeellisia laskentakaavoja hiilineutraalien energiaratkaisujen laskentaan ja kehittämiseen.

Aurinkopaneelien teho riippuu suuresti piikkitehosta, joka kertoo aurinkopaneelien kennojen tuottamasta tehosta ja asennettavasta pinta-alasta, jotka molemmat vaikuttivat huomattavasti laskujen tuloksiin.

Taulukko 1 Kahden eri aurinkopaneelin tuottama teho auton katolla

	Ilmoitettu huipputeho	Huipputeho katolla	Teho ajossa
Matkailuauton paneelit	185	336,8 W	235,8 W
Lightyear-auton paneelit	1000	430 W	301 W

Edeltävässä taulukossa on esitetty lasketut tulokset. Säästettyyn tehoon käytetään viimeisen sarakkeen todellisia tehoja ajossa, joissa ei huomioida kuin aurinkopaneelien häviöt.

3 Aurinkopaneelista saadun tehon käyttö polttomoottorillisen auton toimintamatkaan

Henkilöautoja käsitellessä on hyvä ottaa huomioon, että Suomessa valtaosa henkilöautoista kulkee polttomoottorilla. Sen vuoksi tutkimuksessa on oleellista käsitellä myös polttomoottorillisen auton mahdollisuuksia hyötyä aurinkopaneeleista. Autoissa täytyy olla Suomen lain mukaan valot, ja moottori saattaa vaatia sytytykseen sähköä. Myös monet lisävarusteet toimivat sähköllä, joka polttomoottorilla pyöritettävällä laturilla on kallista verrattuna verkkosähköön tai aurinkosähköön. Tavoitteena on aurinkopaneelien teholla korvata laturin teho mahdollisuuksien mukaan.

3.1 Polttomoottorillinen auto

Aurinkopaneeleja on asennettu polttomoottorillisiin autoihin jo pitkään. Paneelit eivät kuitenkaan ole olleet kytkettynä auton sähköjärjestelmään ajossa, vaan ovat mukana retkilaturina tai yleisenä energianlähteenä esimerkiksi puhelimen tai kannettavan tietokoneen lataamista varten. Valtaosa paneeleista on asuntoautoissa lisäenergian lähteenä, mutta paneeleita ei ole liitetty varsinaiseen auton liikuttamiseen tarkoitettuun järjestelmään, vaan ruoanlaittoon ja erilaisten viihdelaitteiden lataamiseen ja virroissa pitämiseen. Tutkimuksen vertailussa rajataan auton liikuttamisen ulkopuolelle jäävä viihdekäyttö pois sähkön kulutuksesta. Myös loput asuntoautokäytöstä jää pois, koska asuntoauto ei pitkien matkojen ajosta huolimatta ole suuren ilmanvastuksensa ja kokonsa takia järkevä tarkastelukohta tässä vertailussa, kun puhutaan yleisellä tasolla auton toimintamatkasta.

Tässä kappaleessa on tavoitteena tarkastella polttomoottorin saamaa hyötyä aurinkopaneelista toimintamatkaa tarkastellessa. Polttomoottoriautot polttavat energiansa jostain polttoaineesta, eivätkä lähtökohtaisesti kulje sähköllä. Sähkösytytteisiä järjestelmiä löytyy polttomoottoreista, mutta ne kuluttavat niin vähän virtaa, että niiden virrankulutusta on vaikea tutkia erillisenä kulueränä moottorin toiminnassa. Pitää kuitenkin huomioda, että polttomoottori ei ole energiankulutuksellisesti kovin tehokas, koska suurin osa polttoaineen

tehosta hukkaantuu lämpöenergiana [11]. Autossa tarvitaan kuitenkin aina sähköä ja eniten polttomoottorillisessa autossa virtaa kuluttaa pienjännitejärjestelmä, jonka pääasiallinen virtavarasto on akku, jolle energia tuodaan laturilta.

Autossa laturi toimii pyörimällä ja muuntamalla kineettistä energiaa sähköksi. Pyörimisvoimansa laturi ottaa auton polttomoottorilta hihnavetoisesti. Laturi kuluttaa erittäin pienen osan moottorin tehosta laitteiden lataamiseksi. Aurinkopaneelin hyödyntäminen energianlähteenä voisi olla juuri laturin korvaava teknologia, koska tällöin energiaa ei tarvitsisi ottaa moottorilta. Motivan tutkimuksen mukaan ”jokaisen bensiinimoottorisen auton laturin tuottama kilowattitunti kuluttaa noin 0,65 litraa polttoainetta” [8]. Jos siis aurinkopaneeleilla voitaisiin korvata laturin kilowattitunteja, voitaisiin laturiin hukatut polttoainelitrat käyttää auton toimintasäteeseen. Täytyy toki muistaa, että numerot ovat keskimääräisiä ja polttomoottoriauton kulutukseen vaikuttaa enemmän ajotapa kuin laturi.

Aurinkopaneeleilla ei kuitenkaan voi korvata laturia kokonaan, koska ulkokelit vaihtelevat ja joka päivä ei voida ladata akkua aurinkopaneelilla. Usein auton akku on myös suunniteltu niin pieneksi, että suurempitehoisten äänentoistolaitteiden tai kaikkien auton sähköisten laitteiden päälle kytkeminen pakottaa lataamaan akkua jatkuvasti ajon aikana. Uudemmissa autoissa on älytoimintoja sähkökulutuksen säätämiseksi. Esimerkiksi auton järjestelmä voi ottaa laturin pois lataustilasta, kun akku on täysi. Silloin laturi ei kuluta energiaa moottorilta. Erityisesti dieselautot, jotka eivät tarvitse moottorin sytyttämiseen sähköä, saattavat matkajossa ottaa laturin pois, kun virran kulutus on tasaista ja vähäistä.

3.2 Laturin korvaaminen

Auton järjestelmässä polttoaineella sähköä tuottava helposti korvattava ja kulutukseen vaikuttava laite on laturi. Laskennallisesti Motivan mukaan auto kuluttaa jokaista 1000 wattituntia kohti 0,65 litraa polttoainetta. Keskimääräinen sähkölaitteiden tehon tarve ajossa on 700 wattia [8]. Joka tunti siis kuluu 700 wattituntia (Wh) sähkötehoa, joka vaatii 0,45 litraa polttoainetta. Jos ajettaisiin tunti nopeudella 100 kilometriä tunnissa, niin kulutuksesta 0,45 litraa menisi sähköntuottamiseen. Motivan sivuilla on koottuna heidän tuloksistaan koottuna seuraava taulukko.

Taulukko 2. Auton sähkönkulutuksen vaikutus polttoaineenkulutukseen ja lisääntyneen kulutuksen aiheuttama kustannusten kasvu vuositasolla erilaisissa ajoympäristöissä [12].

Ajoympäristö	Sähkötarve kWh/100km	Polttoaineenkulutuksen kasvu l/100 km	Kustannus €/100 km	Kulutus vuodessa litraa	Kustannus vuodessa €
EU-yhdistetty (32,4 km/h)	2,2	1,4	3,0	126	270,9
EU-maantie (62,6 km/h)	1,1	0,7	1,5	63	135,5
EU-kaupunki (18,7 km/h)	3,7	2,4	5,2	216	464,4

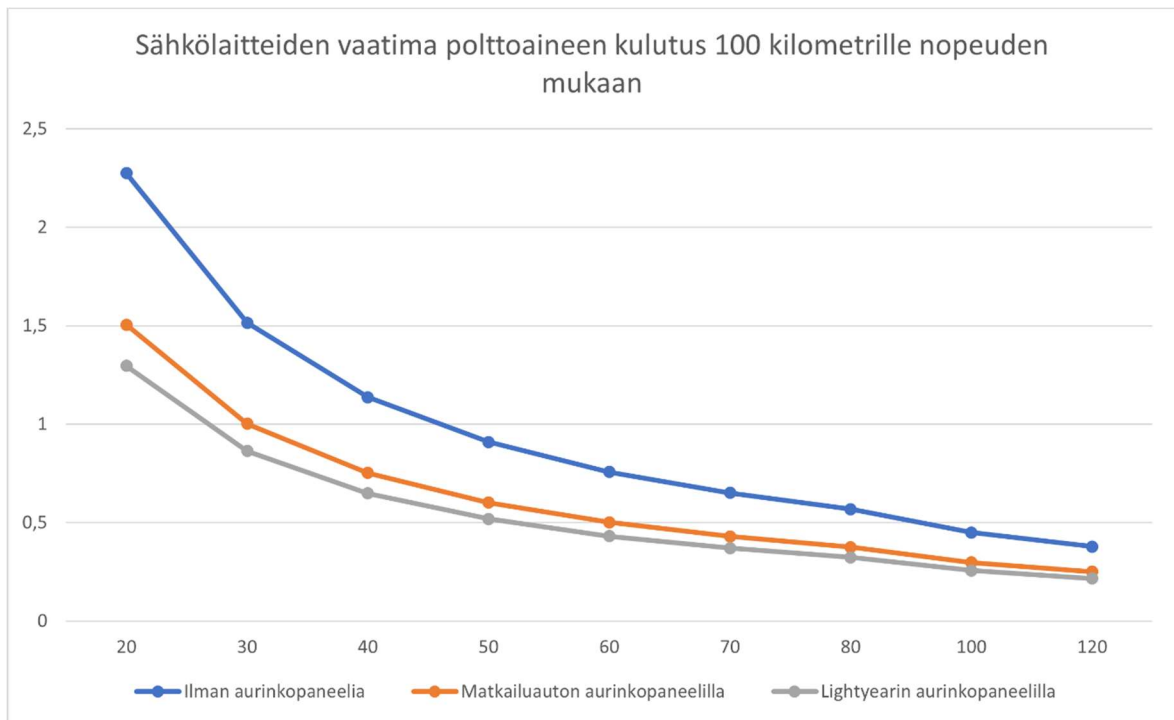
Taulukon 2 laskelmaoletukset: 95 E 2,15 €/litra (5.8.2022); hyötysuhteet: moottori 20 %, laturi 90 %, laturin hihnaveto 95 %; 9 000 km/vuosi (puolet keskimääräisestä vuosisuorituksesta) [12].

Eri nopeuksilla sähköenergiaa kuluu eri määrä 100 kilometriä kohti, koska matkaan kuluu eri aika. Tunnissa lasketaan kuluvan 700 wattituntia ja nopeudet ovat kilometriä tunnissa, joten esimerkiksi 20 kilometriä tunnissa matkaan menisi viisi tuntia ja sähköä kuluisi 3500 wattituntia. Tästä sähkön määrästä tuotetaan kaikki laturilla ja tavoitteena on korvata osa energiasta aurinkopaneelilla. Matkaan kuluneen sähköenergian laskemiseen tarvitaan matkaan kulunut aika. Matkaan kulunut aika lasketaan ajonopeudesta. Ajan perusteella saadaan matkalle kulunut energia sähkönä ja sähkön tuottamiseen kulunut polttoaineen määrä. Polttoaineen kulutuksessa huomioidaan laturin hyötysuhde (90 %) ja hihnan hyötysuhde (95 %) Aurinkopaneelien tuottamaa tehoa verrataan kuluneeseen tehoon. Tästä saadaan prosentti, paljonko aurinkopaneelit säästäisivät laturin vaatimasta polttoainekulutuksesta. Nopeudet ovat Suomen tieliikenteen nopeudet [18].

Taulukko 3 Nopeuksien vaatima sähköenergia 100 kilometrin matkalle

Nopeus (km/h)	20	30	40	50	60	70	80	100	120
Aika (h)	5	3,33	2,5	2	1,67	1,43	1,25	1	0,83
Kulunut energia (Wh)	3500	2331	1750	1400	1167	1001	875	700	583
Polttoaineena (litraa)	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Matkailuauton paneeli (Wh)	1184	788	592	473	395	339	296	237	197
Lightyearin paneeli (Wh)	1505	1002	753	602	503	430	376	301	250
Säästö prosentti Matkailuauton paneeli (%)	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Säästö prosentti Lightyear paneeli (%)	43	43	43	43	43	43	43	43	43
Säästetty polttoaine, matkailuauton paneelilla (litraa)	0,77	0,51	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,15	0,13
Säästetty polttoaine, Lightyearin paneeli	0,98	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24	0,19	0,16

Taulukosta havaitaan selkeä suhdeluku kuluvan sähköön ja aurinkopaneelien tuottaman energian välillä. Matkailuauton paneelilla tuotettu teho on 34 % sähkölaitteiden vaatimasta tehosta. Vastaavasti Lightyearin paneeleilla tuotettu teho on 43 % sähkölaitteiden vaatimasta tehosta. Sähkölaitteiden käyttöön tarvittavalla polttoaineen kulutuksella kerrotaan edeltävät prosentit. Prosenttiosuuden lasketaan olevan pois sähköön kuluneesta polttoaineesta, koska se tuotetaan aurinkopaneelilla laturin sijaan. Taulukon arvot on laskettu edellä kuvatulla tavalla molemmille aurinkopaneelityypeille ja molemmista aurinkopaneeleista saadaan oma suhdeprosentti. Arvojen vertailua varten laitetaan samaan kuvaajaan sekä aurinkopaneelilla että ilman paneelia kuluvan polttoaineen tarve.



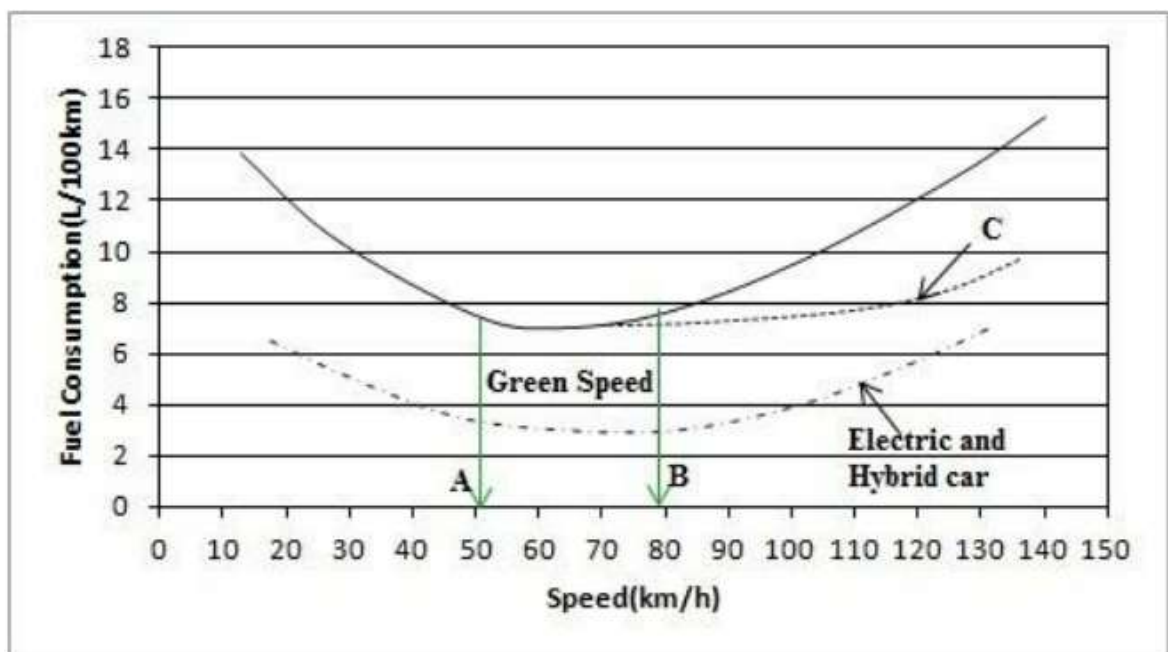
Kuva 1: Auton sähkölaitteiden vaatima polttoaineen kulutus 100 kilometrin matkalla eri nopeuksilla aurinkopaneelilla ja ilman. Vaaka-akselilla on nopeus ja pystyakselilla ovat vaaditut polttoainelitrat.

Kuvassa 1 kuvaajista nähdään auton sähköntarpeen pienenevän suuremmissa nopeudessa. Matkan pysyessä muuttumattomana sähkön tarve pienenee suuremmissa nopeudessa, koska se on sidonnainen aikaan. Kuvasta nähdään myös selkeä ero polttoaineen tarpeesta aurinkopaneelien ollessa katolla ja ilman aurinkopaneelia. Aurinkopaneelin hyöty on osamäärä sähkölaitteiden vaatimasta energiasta ja sen takia hyöty on suurempi pienemmässä nopeudessa, jossa tarvitaan enemmän sähköä matkaan nähden.

3.3 Kulutus

Vuonna 2020 polttoaineen kulutus bensiinimoottorillisessa autossa on keskimäärin 6,9 litraa 100 kilometriä kohti ja dieselautoissa keskimäärin 5,9 litraa 100 kilometriä kohti [13]. Polttoaineena autoissa on käytetty bensaa, dieseliä ja etanolia. Kulutus täytyy ottaa muualta kuin valmistajien tai Euroopan unionin standardeista, koska esimerkiksi EU-kulutusmittauksessa

sähkölaitteita ei käytetä normaalin ajon mukaan. Esimerkiksi äänentoistoa, navigointijärjestelmää, ilmastoinnin puhallinta ja mitään lämmitintä ei ole käytössä virallisessa mittauksessa. Tämä on teknisesti ymmärrettävää, koska osa edellä mainituista laitteista on joissain autoissa lisävarusteita ja EU-kulutuksen mittauksen pitää pystyä vertaamaan kaikkia automalleja tasaisesti keskenään. Tutkimuksessa hyödynnetään nopeuden ja polttoaineen kulutuksen kuvaajaa, joka on laadittu tutkimukseen polttoaineen kulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi älykkäällä liikennejärjestelmällä [19].



Kuva 2: Auton kulutuksen optimaalinen alue tutkimuksesta, jossa tutkitaan auton kulutuksen vähentämisestä älykkäällä liikennejärjestelmällä.

Kuvasta 2 voidaan havaita auton kulutuksen olevan riippuvainen auton nopeudesta. Tielii-kenteeseen suunnitellut autot optimoidaan kuluttamaan vähiten yleisimmillä maantieno-peuksilla. Tutkimus on vuodelta 2014, joten verrattaessa tuloksia nykypäivään täytyy kulu-tusta vähentää 20 % [13]. Tästä saadaan keskikulutus kaikilla nopeuksilla 7,11 litraan 100 kilometrillä, joka vastaa melkein edeltävän artikkelin 2020 vuoden keskiarvoa. Keskikulu-tuksesta voidaan arvioida taulukon henkilöauton olevan keskimääräinen bensamoottorilli-nen auto. Kulutuksesta saadaan verrattua sähkölaitteiden osuutta 100 kilometrillä kuluneesta polttoaineesta, koska kulutus pysyy matkaan suhteessa vakiona. Saadulla prosentilla voidaan

laskea potentiaaliset lisäkilometrit, jotka lasketaan laturin kuluttamasta polttoaineesta, jos laturi korvataan.

Sähkötehoon kulutettu polttoainemäärä jaetaan 100 kilometriin ajettulla polttoainekulutuksella, josta saadaan osamäärä sähköön kulutetusta polttoaineosuudesta. Tämä polttoainemäärä pyritään korvaamaan aurinkoenergialla.

Taulukko 4: Sähköön kulutetun polttoaineen osuus kokonaiskulutuksesta 100 kilometrillä.

Nopeus km/h	20	30	40	50	60	70	80	100	120
Kulutus l/100 km	9,6	8	6,8	5,6	5,6	5,6	6	7,2	9,6
Sähkötehon kuluttama polttoaine	2,3	1,5	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
Prosentteina sähköön kulutettu polttoaine (%)	23,7	18,9	16,7	16,2	13,5	11,6	9,5	6,3	3,9

Taulukosta 4 voidaan nähdä sähkönkulutuksen osuuden putoavan, koska sähkönkulutus on riippuvainen kuluneesta ajasta ja kokonaiskulutus on riippuvainen nopeudesta. Aurinkopaneelien tuottamalla sähköteholla voi vähentää laturin tarvitsemaa polttoaineen määrää. Taulukon 3 sarakkeissa, joissa puhutaan säästöprosentista, on prosenttiarvo, joka voidaan vähentää sähkötehon kuluttamasta polttoaineesta vertailtujen aurinkopaneelien tehon tukiessa laturilla tuotettua tehoa. Säästetty polttoaine voidaan ajaa toimintamatkaan.

3.4 Toimintamatka

Toimintamatkan kasvattaminen vertautuu sähkötehon kuluttamaan polttoaineeseen suhteessa kokonaiskulutukseen, koska sähkötehon kuluttama polttoainemäärä pyritään aurinkoenergian avulla vähentämään kokonaiskulutuksesta. Taulukosta 3 voidaan säästöprosentteilla määrittää sähkötehon kuluttamasta polttoaineesta nopeuden mukaan polttoainesäästö

100 kilometrillä litroina, joka jaetaan kokonaiskulutuksella. Saatu osamäärä on 100 kerrottuna kilometrimäärä, joka saadaan lisää toimintamatkaa per 100 kilometriä.

Taulukko 5: Aurinkopaneeleilla saatu toimintamatka jokaista 100 kilometriä kohti.

Nopeus km/h	20	30	40	50	60	70	80	100	120
Polttoainesäästö matkailuauton paneeli (litrat)	0,77	0,51	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,15	0,13
Polttoainesäästö Lightyearinpaneeli (litrat)	0,98	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28	0,24	0,19	0,16
Lisäkilometrit matkailuauton paneeli (km)	8,0	6,4	5,7	5,5	4,6	4,0	3,2	2,1	1,3
Lisäkilometrit Lightyearinpaneeli (km)	10,2	8,1	7,2	7,0	5,8	5,0	4,0	2,7	1,7

Taulukon arvoista havaitaan suurempi säästö pienemmällä nopeudella, mikä johtuu suuremmasta ajan kulumisesta, mikä lisää korvattavan sähkön kulutusta 100 kilometriä kohti. Lisäkilometriä keskiarvo on 4,5 kilometriä 100 kilometrille matkailuauton paneeleilla ja 5,8 kilometriä 100 kilometrille Lightyearin paneeleilla. Kulutuksen keskiarvo eli keskikulutus on kappaleessa 3.3 todettu olevan 7,11 litraa 100 kilometrille. Nopeudeltaan vaihtelevalla ajolla auton kuluttaessa kuvan 2 mukaan keskimäärin 7,11 litraa 100 kilometrillä, tuottaa matkailuauton paneelit 4,5 kilometriä lisää matkaa ja Lightyearin paneeleilla 5,8 kilometriä lisää matkaa jokaista 100 kilometriä kohti.

4 Aurinkopaneeleista saadun tehon käyttö sähköauton toimintamatkaan

Maailmalla on jo suunniteltu sähköautoja, jotka saavat lisää toimintamatkaa aurinkopaneeleista tai toimivat pelkällä aurinkoenergialla. Näissä autoissa paneelien pinta-alat ovat kuitenkin huomattavasti isompia kuin laskelmissa. Nämä autot, kuten Lightyear on suunniteltu hyödyntämään isoa niihin erikseen suunniteltua aurinkopaneelia. Sähköautot ovat lisääntyneet ja kehittyneet erittäin paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana ja erilaiset autovalmistajat ovat tuoneet omat versionsa markkinoille. Sähköautojen valikoiman oletetaan kasvavan entisestään tulevina vuosina.

4.1 Teknologia sähköautossa

Sähköautoissa on samat pakolliset ja lisävarusteet kuin polttomoottorillisissa autoissa. Verrattuna polttomoottoriin virta otetaan moottorin laturin sijaan akuilta, joilta autoa liikuttavat moottorit ottavat tarvitsemansa sähköä. Välissä on myös 12 voltin akku, joka on tarkoitettu auton varusteille, kuten polttomoottorissa, mutta akku on yhteydessä auton suurta jännitettä käyttävään akkuun. Sähköautoissa lisävarusteiden käytöllä on vielä olennaisempi osa auton toimintamatkassa. Työssä ei vertailla tiettyä sähköautoa tai tiettyjä varusteita toimintamatkassa, joten on selkeämpää verrata aurinkopaneelien tuomaa energialisää suoraan sähköauton kokonaiskulutukseen, jossa ei ole eritelty lisävarusteita ja auton moottoreiden kuluttamaa energiaa.

Verrattuna polttomoottoriin sähköauton moottoreissa on vähemmän liikkuvia osia, jotka kuluvat. Moottori tarvitsee myös selkeästi vähemmän voitelua. Kun moottorin sisällä ei tapahdu suoraa palamista, myös jäähdytyksen tarve on pienempi kuin polttomoottorissa. Edeltävät eroavaisuudet tekevät sähkömoottorista keskimäärin polttomoottoria pitkäikäisemmän. Sähköauton akusto on kuitenkin arkikäytössä kovilla ja sitä joutuu vaihtamaan useammin [10]. Akun kuntoon vaikuttaa eniten siitä huolehtiminen, mikä käytännössä tarkoittaa älylaturia ja auton käyttösuositusten noudattamista. Aurinkoenergia saattaa säästää myös auton

akkua, jos sillä saavutetaan ajossa lisää kilometrejä. Auton akun vaihto on vuonna 2023 sähköauton ylivoimaisesti kallein huoltotoimenpide.

4.2 Auton kulutus ja toimintamatka

Sähköauton kulutukseksi kerrotaan autojen laitteiden valmistajan Webaston sivuilla keskimäärin 15–25 kilowattituntia 100 kilometriä kohden [9]. Motiva on tiedoissaan samalla linjalla arvoilla 15–30 kilowattituntia 100 kilometriä kohden [12]. Kulutuksen vaihtelun oletetaan tulevan ajettavasta nopeudesta, koska sähköauton kulutus nousee ajonopeuden mukaan. Tutkimuksessa tarkastellaan Webaston kulutushaarukan keskikohtaa ja käytetään kulutuksen keskiarvona 20 kilowattituntia 100 kilometrille. Arvo soveltuu molempien artikkeleiden kulutuksen keskivaiheille. Aurinkopaneeleista saatua tehoa verrataan tähän lukuun.

Taulukossa 3 on listattuna kahden aurinkopaneelin tuottama teho 100 kilometrin aikana nopeuksien mukaan. Matkailuauton paneelien keskiarvo näistä numeroista laskettuna on 500,2 wattituntia 100 kilometrille. Lightyearin aurinkopaneelien keskiarvo on 635,8 wattituntia 100 kilometrille. Aurinkopaneelien tuottamaa tehoa verrataan suoraan kulutettuun keskiarvoon eli jakamalla tuotettu teho auton kulutuksella. Tuloksena saadaan suoraan 100 kertottava luku, joka ilmoittaa tuotetut lisäkilometrit aurinkopaneelilla.

Matkailuauton paneelien tuottamalla teholla tulee 2,5 kilometriä jokaista 100 kilometriä kohti. Vastaavasti Lightyearin paneeleilla tuotetaan 3,2 kilometriä lisää matkaa. Sähköauto saa hieman vähemmän kilometrejä lisää kuin polttomoottorillinen auto, mutta sähköauto saa tehona selkeämmin hyödyt käyttöönsä, koska kulutus on suoraan sähkötehona, eikä verrattuna polttoaineeseen.

5 Hybridi

Hybridiautoissa on sekä sähkö- että polttomoottori liikuttamassa autoa. On joitakin malleja, jotka kulkevat sähköllä ja tuottavat sähkön polttomoottorilla. Osiossa on tavoitteena

tarkastella edellisten kappaleiden tuloksien perusteella, kumpaan moottoriin on järkevämpää kytkeä aurinkoenergiaa. Tarkastella siis tuloksia keskenään.

5.1 Lasketut kilometrit aurinkopaneeleilla

Edellisissä kappaleissa lasketuilla tuloksilla voidaan arvioida, mikä järjestelmä hyötyisi eniten aurinkopaneeleista. Helpoin tapa tarkastella tuloksia keskenään on tehdä taulukko. Seuraavassa taulukossa on sähköauton ja polttomoottoriauton saamat lisäkilometrit sadalle kilometrille.

Taulukko 6: Laskettujen kilometrien vertailu.

Paneeli	Auto	Lisäkilometrit/100 kilometriä
Matkailuauton paneeli	Polttomoottori	4,5 km
Lightyearin paneeli	Polttomoottori	5,8 km
Matkailuauton paneeli	Sähkömoottori	2,5 km
Lightyearin paneeli	Sähkömoottori	3,2 km

Taulukossa on ensin molemmat paneelit polttomoottorillisessa autossa kahden neliömetrin katolla ja sitten molemmat paneelit sähköautossa kahden neliömetrin katolla. Paneelien tuomaa mahdollista ilmanvastusta, painoa ja muita tehon siirron häviöitä ei ole otettu huomioon laskelmissa. Polttomoottorille saatiin 4,5 kilometriä ja 5,8 kilometriä lisää matkaa. Sähkömoottorille saatiin 2,5 kilometriä ja 3,2 kilometriä matkaa lisää 100 kilometrille.

Aurinkopaneelien välillä on selkeä ero. Tehokkaammat paneelit tuovat joka kerralla enemmän lisämatkaa, kuin vähempitehoiset. Selkeä ero on myös polttomoottorillisen ja sähkömoottorillisen auton välillä. Polttomoottorillinen auto saa hieman enemmän matkaa lisää kuin sähkömoottorillinen auto.

5.2 Järjestelmien ero

Kun hybridautoon suunnitellaan aurinkopaneeleja, ne kannattaa tulosten valossa asentaa polttomoottorijärjestelmään eli käytännössä pienjännitejärjestelmän osaksi. Tämä sähkö täytyy tavallisesti ladata polttomoottorin laturilla järjestelmän akulle. Todennäköisesti paneelit eivät kata kokonaan lisälaitteiden tarvitsemaa energiaa, jolloin kaikki paneeleista saatu sähkö voidaan käyttää pelkästään niihin.

Ero energijärjestelmien välillä selittyy energiatehokkuuksilla. Sähkömoottori on huomattavasti energiatehokkaampi kuin sähkömoottori. Tarkastellessa tuloksia voidaan päätellä, että kaikki säästö polttomoottorin polttoaineesta on suhteutettuna suurempaa säästöä kuin säästö sähkömoottorin energiavarastosta. Polttomoottorilla tuotettu sähkö on kallista niin rahallisesti kuin energiasisällöllisesti verrattuna sähkömoottoriin, jonka sähkön oletetaan latautuvan sähköverkosta.

6 Aurinkopaneelit tulevaisuudessa

Aurinkopaneelit luokitellaan uusiutuvaksi energianlähteeksi. Aurinkopaneelien rakentamisesta tulee saasteita, mutta ei yhtä paljon kuin esimerkiksi akkuteknologiasta. Aurinkopaneelien energiantuotto perustuu auringonsäteiden osumiseen paneelin pinnalle.

6.1 Aurinkopaneelien tulevaisuus.

Lasketuista hyötysuhteista voimme havaita tehokkaampien paneelien olevan hyötysuhteeltaan vähän parempia. Aurinkopaneelien voidaan ajatella kehittyvän tehokkaammiksi, kun niiden hyötysuhde kasvaa. Käytännössä aurinkopaneelien toivotaan muuntavan entistä suuremmalla hyötysuhteella auringon säteiden energiaa sähkötehoksi.

Jos aurinkopaneelien ajatellaan kehittyvän hyötysuhteeltaan tehokkaammiksi, voidaan laskea vertailtavien aurinkopaneelien tuottamat tehot esimerkiksi 80 % hyötysuhteeseen

kehittyneenä. Tutkimuksen aurinkopaneelien alkuperäiset hyötysuhteet on laskettu kapaleessa 2.4.

Jos Matkailuautoon suunnitellun paneelin hyötysuhde olisi 80 %, paneeli kasvattaisi hyötysuhdetta 63,2 prosenttiyksikköä. Tällöin jo paneeleista saatu teho voidaan kertoa 1,632, jolloin saadaan kasvatettua kyseisen paneelin teho samassa linjassa alkuperäisen tehon mukaan. Hyötysuhdetta kasvattamalla paneelin teho nousisi ajossa saadusta keskimäärin lasketusta 500,2 wattitunnista 816,3 wattituntiin 100 kilometrillä.

Jos puolestaan Lightyearin aurinkopaneelin hyötysuhde olisi 80 %, hyötysuhde kasvaisi 60 prosenttiyksikköä, joka kasvattaisi aurinkopaneelin tehoa lasketusta keskimääräisestä 635,8 wattitunnista 1017,2 wattituntiin 100 kilometrillä.

6.2 Kehittyneiden aurinkopaneelien tuomat kilometrit

Taulukossa 3 on arvot kuluneesta polttoaineesta ja kuluneesta sähkötehosta. Näistä saadaan keskiarvot, jotka ovat hyvin lähellä Motivan taulukon 2 arvoja. Keskimäärin sähkötehoa kuuluu 1,48 kilowattituntia 100 kilometrille, joka kuluttaa keskimäärin yhden litran 100 kilometrillä. Vertailun keskiarvokulutusena oli 7,11 litraa 100 kilometrillä.

Kehittyneemmällä matkailuauton paneelilla voitaisiin korvata 55 % sähkökulutuksesta. Tämä tarkoittaisi, että sähköön kuluneesta yhdestä litrasta voitaisiin korvata 0,6 litraa aurinkoenergialla. Tämä toisi 7,8 kilometriä lisää toimintamatkaa 100 kilometrillä.

Vastaavasti kehittyneemmällä Lightyearin paneelilla voitaisiin korvata 68,8 % sähkökulutuksesta. Tämä tarkoittaisi, että sähköön kuluneesta yhdestä litrasta voitaisiin korvata 0,688 litraa aurinkoenergialla. Tämä toisi 9,7 kilometriä lisää toimintamatkaa 100 kilometrillä.

Sähköautolle kehittynyt matkailuauton paneeli toisi 4,1 kilometriä lisää toimintamatkaa 100 kilometriä kohti ja lightyearin paneelit 5,1 kilometriä.

7 Tulevaisuus

Teknisesti aurinkopaneelin laittaminen katolle on jo mahdollista. Järjestelmä ei kuitenkaan vielä tuota niin paljon sähköä, että paneeleja kannattaisi massoittain asennella autojen katoille. Tarvitaan lisää tehoa paneeleihin ja lisää prototyyppisiä tehdasvalmisteisista autoista, joissa on paneelit katolla, jotta teknologiaa kannattaa ryhtyä testaamaan myös jälkiasennettuna. Kehitys on kuitenkin ollut jatkuvaa ja tehokasta viime vuosina.

7.1 Polttomoottorillinen auto aurinkopaneeleilla tulevaisuudessa

Polttomoottori hyötyisi teknologiasta juuri sen verran kuin laturi tarvitsee tehoa. Jos aurinkopaneeleilla voidaan korvata laturin tarve kokonaan, voitaisiin säästää kulunut energia suoraan polttoaineessa. Tämä tarkoittaisi järjestelmällisesti litran säästöä 100 kilometriä kohti. Tavoite voitaisiin saavuttaa lasketuilla arvoilla 1400 watin tehoisella paneelilla, jos auton katto on arvioitu kaksi neliometriä ja auton korvattava keskimääräinen sähkötehon tarve olisi 700 wattia. Tällöin paneeleista saadaan enemmän hyötyä myös pilvisellä säällä, kun hyötysuhde on 50 %. Laturia ei kuitenkaan voida kokonaan poistaa, koska autossa täytyy olla varma sähkönlähde verrattuna aurinkopaneeleihin, jotka ovat säästä riippuva energiavara. Esimerkiksi valot ovat tärkeitä erityisesti vuorokauden- ja vuodenaikoina, jolloin on pimeää ja aurinkopaneelit eivät tuota energiaa. Valtaosa henkilöautoon tarkoitetuista pienjänniteakuista on tarkoitettu lyhyelle matkalle ilman laturia ja optimoitu antamaan tarpeeksi virtaa muutamaan auton polttomoottorin käynnistykseen. Sen varassa ei tavallisesti voi ajaa pitkiä matkoja nykyaikaisella autolla.

7.2 Sähkömoottorillinen auto aurinkopaneeleilla tulevaisuudessa

Sarjatuotantoon on suunniteltu sähkömoottorillisia autoja, joissa on valmiiksi aurinkopaneelit katolla suoraan tehtaalta. Esimerkiksi tässä työssä vertailut tehokkaammat paneelit ovat Lightyear-sähköautosta, jota oli tarkoitus valmistaa liikenteeseen, ja joka saisi kaiken

energiansa pelkästään aurinkopaneeleista. Auton sarjatuotannon valmistelu keskeytettiin uudemman version nopean kehityksen myötä. Lightyear 2 -autoa valmistellaan sarjatuotantoon Suomessa [23]. Tällä hetkellä ollaan useat autonvalmistajat ovat suunnittelemassa lisää sähköautoja, joissa on aurinkopaneelit. Ajatus on hyvä, koska aurinkoenergia luetaan kestäviin energiaratkaisuihin ja paneeleilla voitaisiin turvata pelkän kestävä energian käyttö. Samalla voitaisiin pienentää auton akuston kokoa pudottamalla auton toimintamatkaa. Sähköauton aurinkopaneelien tehontarpeen voisi lukea loputtomaksi, koska kaiken energian mitä se saa, voidaan hyvin pienillä häviöillä ajaa auton toimintamatkaksi. Tehollisena arvona voitaisiin kuitenkin ajatella aurinkopaneeleista 40 kilowattitunnin tehoa, jolla laskennoissa arvioitu sähköauton keskimääräinen kulutus voitaisiin kokonaan kattaa. Tämä vaatii läpimurron aurinkopaneeliteknologiassa. Tällöin aurinkoisella säällä auto ei kuluttaisi liikkeessään akkua ollenkaan. Parhaimmillaan voisi ajaa ja ladata autoa samaan aikaan. Tarpeeksi tehokkaita aurinkopaneeleita ei ole vielä valmistettu.

7.3 Hybridiauto aurinkopaneeleilla tulevaisuudessa

Hybridiauton voisi ajatella kehittyvän sähköauton tavoin tulevaisuudessa, jos teknologiaa hyödynnettäisiin. Polttomoottorin hyötysuhteen ollessa huono sen polttoaineen käyttöä pyritään välttämään. Tällöin ajettaisiin sähköllä niin kauan kuin energiaa riittää akuissa ja niihin energiaa tuovista paneeleista. Jos paneelit ovat tarpeeksi tehokkaat tukemaan sähkömoottorien energian tarvetta, voitaisiin hybridiautossa korvata polttomoottorin laturin tarvitsema teho kokonaan. Jos autossa on tarpeeksi isot akut, voitaisiin laturin poistoa harkita. Tämä kuitenkin edellyttäisi jonkinlaista optimointia sähkö- ja polttomoottorin välille, ettei polttomoottori lähde käyntiin vasta, kun sähkö on kokonaan autosta loppu. Tämä aiheuttaisi auton totaalisen pimenemisen ja esimerkiksi ajovaloille ei olisi sähköä. Todennäköisesti siis tässäkin asiassa hybridi myötäilisi molempien ajoneuvojen skenaariota ja hyötyisi loputtomasti aurinkopaneelien tuottamasta tehosta, kuten sähköauto, ja sillä tekniikalla korvaisi myös polttomoottorillisen auton energiatarpeen kokonaisuudessaan.

8 Johtopäätökset

Tutkimuksen odotukset olivat optimistisemmat kuin tulokset lopulta olivat. Aurinkopaneeleilla voidaan lisätä auton toimintamatkaa, mutta paneelien täytyy olla tehokkaita. Nykyisin matkailuautoliikkeestä saa aurinkopaneeleita, jotka on suunniteltu auton katolle. Ne ovat kevyitä ja niissä on valmiiksi kiinnikkeet, mutta niiden teho ei tuo lisää toimintamatkaa niin merkittävästi, että se olisi merkityksellistä vertailtaessa 100 kilometrin matkaa, joka on auton kulutuksen yleisin vertailukohta.

Tehokkaammat aurinkopaneelit, joita työssä käytettiin vertailukohteena ja laskelmissa, tuovat jo huomattavan lisän auton toimintamatkaan 100 kilometrillä. Polttomoottorin 5,8 kilometriä on jo merkittävä hyöty ja jopa kannattava pitkällä matkalla, mutta kyseisten aurinkopaneelien saatavuudesta ei löytynyt tietoa, koska ne on tehtaalla suoraan asennettu Lightyear sähköautoon. Pitää myös huomioida aurinkopaneelien optimaalisen kelin tarve eli aurinkoinen sää.

Vertailtaessa sähköautoa ja polttomoottoriautoa voidaan huomata polttomoottorillisen auton hyötyvän aurinkoenergiasta enemmän, jos paneelien teho on molemmissa autoissa sama. Tämä selittyy polttomoottorin huonolla energiahyötysuhteella. Kaikki säästö polttoaineessa on suurempaa säästöä toimintamatkalle kuin sähköauton energiansäästö akuilta. Tämä johtuu siitä, että sähköauton moottorit ottavat polttomoottoria tehokkaammin energian akuilta ja tuovat sen auton renkaille.

Aurinkopaneelien heikkous on valon tarve, ja erityisesti pohjoisella pallonpuoliskolla valoa ei tule ympäri vuoden ja kokoaikaisesti. Vaikka teknologia kehittyisi, sitä ei voitaisi hyödyntää erikseen ja jokaisella autolla ajettavalla matkalla. Saatavat tehot vaihtelevat ajon aikana myös aurinkoisella säällä, koska paneelien kohtauskulma auringon säteisiin ei pysy samana koko matkaa. Lasketut arvot ovat siis erittäin teoreettisia ja todellisuus on riippuvainen säästä, ajopaikasta ja ajoneuvosta.

Laskennan suurin haaste oli rajata laskentaan käytettäviä arvoja. Automalleja on maailmassa erittäin paljon ja tutkiminen voisi olla johonkin suuntaan puolueellista, jos ei pyrittäisi laskemaan mahdollisimman keskimääräisillä arvoilla auton ominaisuuksia. Ainoa äärilaidan suora valinta oli matkailuautoon suunniteltu aurinkopaneeli, jonka arvoilla saatiin pienempiä

tuloksia. Kyseinen paneeli löytyy verkkokaupasta ja on jokaisen ostettavissa, minkä takia sitä voi käyttää hyvänä vertailupohjana. Millaista hyötyä olisi kotiolosuhteissa asentaa kyseistä teknologiaa, vaikka laskelmien mukaan vaadittaisiin todella paljon ajoa optimaalisissa olosuhteissa, että teknologiaa olisi järkevä hyödyntää?

Tulevaisuuden kannalta aurinkopaneelit ovat mahdollisuus, mutta paneelien täytyy kehittyä valtavasti, jotta niistä olisi paljon iloa arkikäytössä. Tarkempi tutkimus on paikallaan, jos markkinoille tulee kuluttajamyyntiin aurinkopaneeleita, jotka ovat neliöteholtaan 700 wattia neliometriä kohti. Tällöin voisi tutkia luotettavammin aurinkopaneelien, auton laturin ja akkujen yhteistoimintaa. Tehokkaammat paneelit asennetaan arkikäytössä oleviin autoihin, minkä jälkeen tutkitaan auton toimintamatkaa aurinkopaneeleilla ja ilman. Näin saataisiin konkreettisia tuloksia aurinkopaneelien kuluttajakäytön mahdollisuuksista henkilöauton toimintamatkassa.

Lähteet

- [1] SFS-en iec 60904-3 standardi, painos vuosi 2019. Viitattu 8.4.2023
- [2] Maailman tehokkain paneeli, my solar. https://my-solar.fi/1_24_sunpower.html. viitattu 8.4.2023
- [3] Aurinkopaneeleista huipputehoa: <https://etn.fi/index.php/13-news/13182-aurinkopaneelist-500-wattia-huipputehoa> etn. viitattu 8.4.2023
- [4] Matkailuautoihin aurinkopaneeleja myyvä verkkokauppa vapaa-aika.com: <https://vapaa-aika.com/c10911/paneelisarjat> viitattu 8.4.2023 viitattu 8.4.2023
- [5] Matkailuautoihin aurinkopaneeleja myyvä verkkokauppa caravanpalvelut: <https://www.caravanpalvelut.fi/product-category/aurinkopaneelit-ja-invertterit/aurinkopaneelit/> viitattu 8.4.2023
- [6] SGM-yhtiön artikkeli auton katon kerroksista. <https://sgm-techno.com/catalog/for-the-ceiling> viitattu 8.4.2023
- [7] Motiva: aurinkosähköjärjestelmän teho. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho viitattu 8.4.2023
- [8] Motiva: Auton sähkölaitteiden käyttö https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/taloudellinen_ajaminen/auton_sahkolaitteiden_kaytto viitattu 24.4.2023
- [9] Webasto: Paljonko sähköautot kuluttavat sähköä? <https://webastolataus.fi/faq/paljonko-sahkoautot-kuluttavat-sahkoa-paljonko-niiden-lataaminen-maksaa-webasto-purella/> viitattu 25.4.2023
- [10] Autolle.com: Sähköautojen kestävyys käytössä. <https://autolle.com/blogi/sahkoautojen-kestavyys-kaytossa> viitattu 25.4.2023
- [11] Aiman M. Albatyneh, Mohammed N. Assaf. October 2020. Comparison of the Overall Energy Efficiency for internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles.

Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/344860096_Comparison_of_the_Overall_Energy_Efficiency_for_Internal_Combustion_Engine_Vehicles_and_Electric_Vehicles Viitattu 28.2.2023.

[12] Motiva. Sivua päivitetty 5.8.2022. Auton sähkölaitteiden käyttö. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ja_liikkuminen/nain_liikut_viisaasti/ta-loudellinen_ajaminen/auton_sahkolaitteiden_kaytto Viitattu 28.2.2023

[13] Moottori: bensiini-autojen kulutus pudonnut 20 prosenttia: <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/bensiini-autojen-kulutus-pudonnut-20-prosenttia-tutki-iso-leasingautoyhtio/> viitatti 9.5.2023

[14] Aurinkopaneelien toimintaperiaate: <https://docplayer.fi/6400608-Aurinkopaneelit-1-aurinkopaneelin-toimintaperiaate-kuva-1-aurinkopaneelin-toimintaperiaate.html> viitattu 10.5.2023.

[15] Vattenfall: usein kysytyjä kysymyksiä aurinkopaneeleista: <https://www.vattenfall.fi/asiakaspalvelu/usein-kysytyja-kysymyksia/usein-kysytyya-aurinkopaneeleista-rd/> viitattu 10.5.2023

[16] Lightyear-sähköauto: <https://lightyear.one/> viitattu 16.5.2023

[17] Car details Toyota Gazoo Racing: <https://toyotagazooracing.com/wrc/cars/2022/> viitattu 16.5.2023

[18] Kysy kirjastonhoitajalta, miten ja million kattonopeudet otettiin käyttöön suomessa: https://www.kirjastot.fi/kysy/miten-ja-milloin-kattonopeudet-otettiin?language_content_entity=fi viitattu 16.5.2023

[19] Mostofa Kamal Nasir, M. A. Kalam, B.M. Masum, Rafidah Md. Noor: Reduction of fuel consumption and exhaust pollutant using intelligent transportsystem. jun 2014: https://www.researchgate.net/figure/Relation-between-fuel-consumption-vers-us-average-speed_fig1_262182035 viitattu 16.5.2023

[20] Cool effect: carbon footprint of solar panel manufacturing: <https://www.cooleffect.org/solar-carbon-footprint> viitattu 18.5.2023

[21] The greenage, Environmental footprint of electric cars : <https://www.thegreenage.co.uk/tech/environmental-footprint-electric-cars/> viitattu 18.5.2023

[22] F1: a racing revolution? Understanding 2014's technical regulations: <https://www.formula1.com/en/latest/features/2014/1/A-racing-revolution-Understanding-2014s-technical-regulations.html> viitattu 21.5.2023

[23] Clean technica: Lightyear Two Coming In 2025 – A Little Less Range, A Lot Less Money: <https://cleantechnica.com/2021/12/17/lightyear-two-coming-in-2025-a-little-less-range-a-lot-less-money/> viitattu 18.5.2023