Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Helen Rankaviita

Aurinkopaneeleilla varustetut sähköajoneuvot ja soveltuvuus Suomen olosuhteissa

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Tekniikan kandidaatin tutkielma
Sähkö- ja energiatekniikka

Vaasa 2025

VAASAN YLIOPISTO
Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö
Tekijä: Helen Rankaviita
Tutkielman nimi: Aurinkopaneeleilla varustetut sähköajoneuvot ja soveltuvuus Suomen olosuhteissa
Tutkinto: Tekniikan kandidaatti
Oppiaine: Sähkö- ja energiatekniikka
Työn ohjaaja: Teemu Ovaska
Valmistumisvuosi: 2025 **Sivumäärä:** 30

TIIVISTELMÄ:
Aurinkoenergia on merkittävä osa vihreää siirtymistä ja nopeasti kasvava energiamuoto, jota pyritään hyödyntämään entistä laajemmin myös integorituna ajoneuvoihin. Vehicle integrated photovoltaics (VIPV) eli ajoneuvoihin integroidut aurinkopaneelit ovat uusi teknologinen sovellus, jossa ajoneuvon ulkopintoja käytetään sähköntuotantoon. Käytettäviä pintoja ovat auton katto, konepelti sekä ovet ja tavaratilan ovi. Katon vaakasuora ja kaareva pinta tuovat haasteita aurinkopaneeliteknologialle ja aurinkoenergian hyödyntämiselle täydessä potentiaalissa. Tämän kandityön tavoitteena on tarkastella VIPV-teknologian hyötyjä ja rajoitteita Suomen olosuhteissa.

Tutkimuksessa analysointiin Suomen ilmasto-olosuhteita, aurinkoenergian saatavuutta sekä VIPV-teknologiaan liittyviä teknisiä haasteita. Lisäksi työssä verrattiin Pohjois-Saksassa toteutetun tapaustutkimuksen tuloksia Suomen olosuhteisiin. Analysoinnin tuloksena todettiin, että Suomen ilmasto luo sekä haasteita, että hyötyjä VIPV:n käyttöönottoon. Se ei kuitenkaan nykyteknologialla ole kannattava ratkaisu Suomessa.

AVAINSANAT: Aurinkoenergia, aurinkopaneelit, ajoneuvot, sähköautot, teknologia, innovaatiot, olosuhteet, soveltuvuus

Sisällys

1 Johdanto 6

2 VIPV:tä tukeva politiikka ja teknologinen kehitys 8

2.1 EU:n ja Suomen ilmastopolitiikka 8

2.2 Sähköautojen yleistyminen 8

2.3 Aurinkoenergia Suomessa 10

2.4 Globaalit trendit 10

3 Aurinkoenergia ja CIPV-teknologia 12

3.1 Varjot ja hot spot –haasteet CIPV-teknologiassa 12

3.2 CIPV aurinkokennot 13

3.3 Paneeliteknologia 13

3.4 CIPV aurinkokennojen kytkentäteknologia 14

3.5 CIPV voimansiirto 14

3.6 Aurinkoenergian varastointi 15

4 VIPV:n soveltuvuus ajoneuvoihin 16

4.1 Kuluttajan lataustottumukset 16

4.2 Ajokantama käytännön testeissä 16

4.3 Hyödyt 17

5 Suomen olosuhteet ja niiden vaikutus 18

5.1 Säteily 18

5.2 Ilmasto 19

6 CIPV Suomessa 20

6.1 CIPV Pohjois-Saksassa, Berliinissä 20

6.1.1 Menetelmät 20

6.1.2 Tekniset tiedot 21

6.1.3 Suomen säteily suhteessa Saksan säteilyyn 21

6.1.4 Tutkielman tulokset ja vertaus Suomeen 21

7 Johtopäätökset 24

8 Yhteenveto 25

Lähteet 27

Kuviot

Kuvio 1. Suomessa ensirekisteröityjen täyssähköhenkilöautojen määrät vuosina 2018-2024 (Suomen virallinen tilasto (SVT)). 9

Kuvio 2. VIPV projektien määrä ajoneuvoittain (muokattu lähteestä Araki ja muut, 2021, s. 16). 11

Kuvio 3. Keskiarvo pinta-ala neliömetreissä saatavilla aurinkopaneeleille ajoneuvoittain (muokattu lähteestä Araki ja muut, 2021, s. 16). 11

Kuvio 4. Voimansiirron lohkokaavio, kun aurinkopaneeli on integroitu henkilö-sähköautoon (Muokattu lähteistä Pochont ja muut, 2023; Mohamed ja muut, 2017). 15

Kuvio 5. Kuukausittainen keskiarvo kokonaissäteilyn säteilyhavainnoista Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa vuonna 2024 (Ilmatieteen laitos, n.d.). 19

Kuvio 6. Kuukausittaiset suora- ja hajasäteilymenetykset prosentteina Berliinissä (muokattu lähteestä Hoth ja muut, 2024). 22

Taulukot

Taulukko 1. Tutkimuksesta saadut tulokset mediaanilta ja suotuisalta pysäköintialueelta Berliinissä (muokattu lähteestä Hoth ja muut, 2024). 22

Taulukko 2. Tutkimustuloksien pohjalta havainnollistettu versio ajokantamaan ja säästöihin Etelä-Suomessa (muokattu lähteestä Hoth ja muut, 2024). 23

Lyhenteet

BIPV	Rakennukseen integroitu aurinkopaneeli
CIPV	Autoon integroitu aurinkopaneeli
DC	Tasavirta
VIPV	Ajoneuvoon integroitu aurinkopaneeli
3D	Kolmiulotteinen

1 Johdanto

Uusiutuvan energian tuotanto on yksi kestävän kehityksen kulmakivistä ja merkitsevä tekijä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Euroopan Unioni on sitoutunut saavuttamaan ilmastoneutraaliuden vuoteen 2050 mennessä, mikä on lisännyt painetta kehittää entistä tehokkaampia ja monipuolisempia ratkaisuja uusiutuvan energian tuotantoon. Tavoite heijastuu paitsi politiikkaan, myös siihen, millaisia teknologioita tuetaan ja otetaan käyttöön. Aurinkoenergia on yksi nopeimmin kehittyviä uusiutuvan energian muotoja (Hemetsberger ja muut, 2025), ja sen soveltaminen liikenteessä on noussut esiin uutena innovaatiokehityksen alueena. Erityisesti aurinkopaneelien integrointi ajoneuvoihin (Vehicle integrated photovoltaics, VIPV) tarjoaa mahdollisuuden lisätä sähköisen liikenteen omavaraisuutta ja vähentää sen riippuvuutta latausasemien suhteen (Pochont ja muut, 2023).

VIPV-teknologian soveltamisessa on kuitenkin huomioitava ajoneuvojen liikkuvuus: auto ei useinkaan ole päivän aikana optimaalisessa asennossa aurinkoon nähden, ja se saattaa olla pysäköitynä epäsuotuisissa olosuhteissa, kuten parkkihalleissa tai varjoisilla alueilla. Myös auton sijainti työpäivän aikana sekä se, säilytetäänkö auto ulkona vai autotallissa, vaikuttaa aurinkoenergian hyödyntämiseen. Varjoiset tai muuten epäsuotuisat ympäristöt heikentävät paneelien toimintaa, ja näitä haasteita pyritään ratkaisemaan muun muassa kytkentäteknologian ja materiaalien kehityksellä hyötysuhteen parantamiseksi (Commault ja muut, 2021; Özkalay ja muut, 2024; Macías ja muut 2024).

Myös Suomen säteily- ja ilmasto-olosuhteet vaikuttavat aurinkopaneelien toimintaan. VIPV-teknologian näkökulmasta haasteita aiheuttavat erityisesti pitkäkestoinen lumipeite sekä hajasäteilyn suuri osuus kokonaissäteilystä, mikä heikentää auton katolle asennettujen, kaltevien aurinkopaneelien mahdollisuuksia hyödyntää saatavilla olevaa säteilyä (Motiva, 2025; Tuomenvirta ja muut, 2018).

Tässä työssä perehdytään aurinkopaneelien integrointiin ajoneuvoihin (vehicle integrated photovoltaics, VIPV) ja tarkemmin henkilösähköautoihin (car-integrated

photovoltaics, CIPV) sekä teknologian potentiaaliin Suomessa nykytilanteessa ja tulevaisuudessa. Lisäksi työn lopussa tarkastellaan Pohjois-Saksassa tehtyä simulaatiota ja verrataan näiden tuloksia Suomen olosuhteisiin.

2 VIPV:tä tukeva politiikka ja teknologinen kehitys

2.1 EU:n ja Suomen ilmastopolitiikka

Hanna Eskonen ja Heikki Ali-Hokka (2024) kirjoittavat EU:n ilmastotavoitteista:

> Maat ovat sopineet, että siihen [2030] mennessä EU vähentää 55 prosenttia nettopäästöistään. Vuoteen 2050 mennessä EU:n taas pitäisi olla hiilineutraali, eli päästöjen ja niitä imevien nielujen pitäisi olla yhtä suuret. Tavoitteita viedään jäsenmaissa jo täytäntöön osana EU:n ilmastolakia.

EU:n laatiman ilmastopolitiikan lisäksi Suomella on omat tavoitteet hiilineutraaliuden saavuttamiseen. Vuoteen 2035 mennessä Suomen tulee olla hiilineutraali ja siitä eteenpäin päästöt eivät saa ylittää nielujen määrää, ja tavoitteena on edelleen vähentää kokonaispäästöjä (Huttunen ja muut, 2022, s. 68-69).

Suomi on linjannut ilmasto- ja energiastrategiassaan mm. puhtaiden innovaatioiden, uusien energiateknologioiden ja sähköistymisen kehittämistä, rahoittamista sekä käyttöönottoa (Huttunen ja muut, 2022, s. 59). Tämä antaa jalansijaa uusiutuvien energiateknologioiden kehittymiselle ja lisää aurinkosähköteknologian kysyntää. Strategiassa korostetaan myös investointien merkitystä siirryttäessä pois fossiilisista polttoaineista. Esimerkiksi vuosina 2022–2023 henkilöautoliikenteen sähköistämistä tuettiin valtionavustuksin: sähköautojen hankintatukeen osoitettiin 13 miljoonaa euroa ja taloyhtiöiden latausinfrastruktuuriin 30 miljoonaa euroa (Huttunen ja muut, 2022, s. 79). Tällaiset toimet tukevat laajemmin myös aurinkosähköajoneuvojen käyttöönottoa, kun latausratkaisut kehittyvät rinnalla.

2.2 Sähköautojen yleistyminen

Sähköautojen myynti alkoi kasvaa merkittävästi 2020-luvun alussa (ks. Kuvio 1), kun markkinoille alettiin saamaan useampia eri hintaluokan sähköautomalleja ja Suomen

latausverkko laajeni. Tällä hetkellä julkisia latausasemia on Suomessa arviolta 15 000 (Puro, 2025). Yksityishenkilöitä on myös kannustettu sähköautojen ostamiseen erilaisilla tuilla. Vielä vuonna 2022 ostajan oli mahdollista saada 2000 euron suuruinen hankintatuki täyssähköhenkilöautoon, ja tukea laajennettiin koskemaan myös sähköpaketti- ja sähkökuorma-autoja (Ilmasto-opas, 2023). Lisäksi Suomessa on poistettu autovero 1.10.2021 tai myöhemmin käyttöön otetuista täyssähköautoista (Verohallinto, 2024).

Kuvio 1 kuvastaa täyssähköhenkilöautojen yleistymistä Suomessa lähivuosina ja Virta (2025) arvioi sähköautojen ja hybridien osuuden Suomen autokannasta olevan kymmenen prosenttia. Täyssähköautoissa on kehitysalueita, mitkä vielä vaikuttavat ihmisten halukkuuteen ostaa niitä, mm. suorituskyky, sähkömoottorin kestävyys ja ajokantama.

Kuvio 1. Suomessa ensirekisteröityjen täyssähköhenkilöautojen määrät vuosina 2018-2024 (Suomen virallinen tilasto (SVT)).

Sähköautojen myynnin odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, kun akku- ja sähkömoottoriteknologia kehittyvät. Uudet kiinteän olomuodon akut tarjoavat energiatehokkuutta, pidempää käyttöikää ja turvallista käyttöä, ja samalla kehittyneet sähkömoottorit lisäävät ajoneuvojen suorituskykyä ja ajokantamaa (Akinsooto ja muut, 2025).

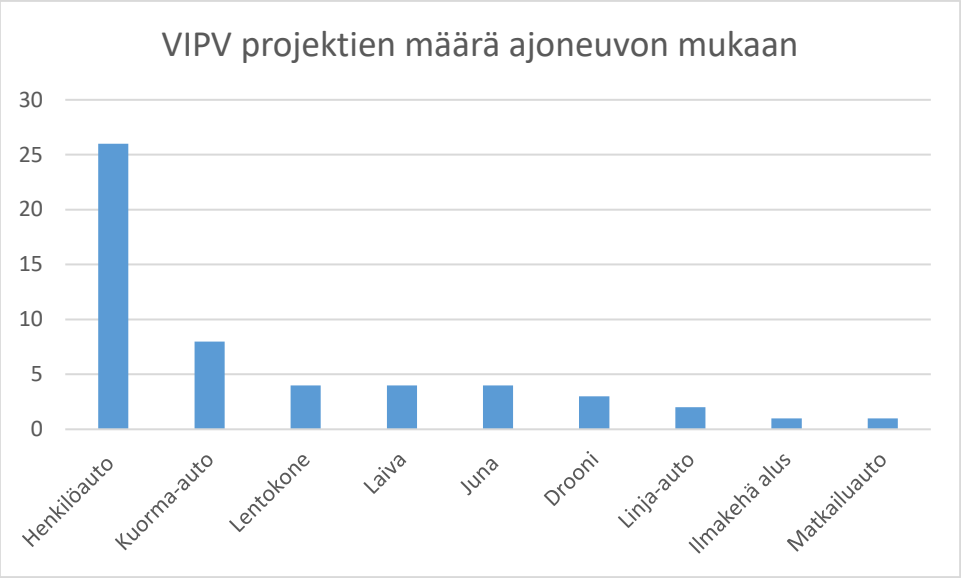
2.3 Aurinkoenergia Suomessa

Nykyisillä aurinkopaneeleilla voidaan Suomessa saavuttaa taloudellista tuottoa omakotitaloissa ja taloyhtiöissä, ja aurinkosähköä voidaan varastoida akkuihin tuottoisina päivinä ja käyttää myöhemmin iltaisin tai kylmempinä jaksoina. (Auvinen ja Jalas, 2020). Energiakriisi lisää yksityishenkilöiden mielenkiintoa omavaraisuuteen ja sitä kautta aurinkoenergia investointeihin.

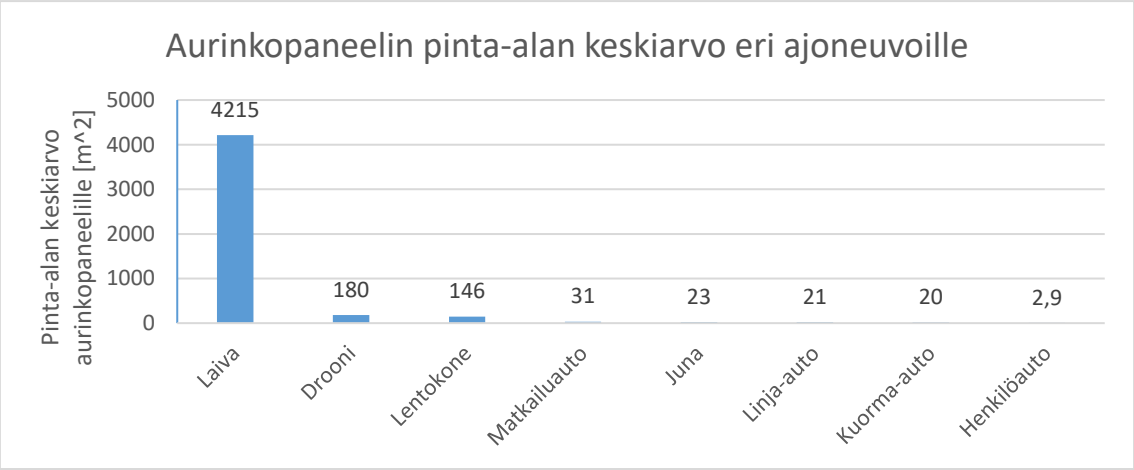
Suomessa pientuotanto on pääosin verovapaata, ja sähköverolaki poislukee sähkön, joka tuotetaan ajoneuvossa sen omiin tarpeisiin (Sähköverolaki 1260/1996). Tämä tarkoittaa, että VIPV-teknologiaa hyödyntävä autoilija ei joudu huolehtimaan oman taloutensa sähköntuotannon ylityksestä.

2.4 Globaalit trendit

Aurinkoenergiateknologia on kehittynyt 20-luvulla huomattavasti ja on ollut nopeiten kehittyvä teknologia uusiutuvista energialähteiden muodoista, mihin on vaikuttanut aurinkopaneeleiden monimuotoisuus: käyttöön otto mahdollista niin pienemmissä kotitalouksissa kuin suuremmissa laitoksissa, tehtaissa ja voimaloissa (Hemetsberger ja muut, 2025). Aurinkopaneeleiden ja täyssähköautojen teknologioiden kehittyessä niiden myyntihinnat ovat myös laskeneet, millä on vaikutusta myös siihen, miksi suurin osa markkinoilla saatavasta VIPV-teknologiasta ja sen prototyypeistä ovat henkilöautoja (Commault ja muut, 2021). Kuvioista 2 ja 3 nähdään, että vaikka henkilöautoon on saatavilla pienin pinta-ala aurinkopaneeleille, ovat ne vuonna 2021 olleet yleisimpiä VIPV projekteja.



Kuvio 2. VIPV projektien määrä ajoneuvoittain (muokattu lähteestä Araki ja muut, 2021, s. 16).



Kuvio 3. Keskiarvo pinta-ala neliömetreissä saatavilla aurinkopaneeleille ajoneuvoittain (muokattu lähteestä Araki ja muut, 2021, s. 16).

3 Aurinkoenergia ja CIPV-teknologia

Ajoneuvojen rakenteisiin integroidut aurinkopaneelit vaativat erilaista teknologiaa kuin esimerkiksi yleiset aurinkopaneelit kotitalouksien katoilla. Jos halutaan heniklöauton katon materiaali vaihtaa aurinkoenergiaa kerääväksi paneeliksi, tulee ottaa huomioon katon kaltevuus, virtaviivaisuus ja paneliston paino (Commault ja muut, 2021). Paneelien massa tulisi minimoida, etteivät ne olisi liian painavat ja auto ei kuluttaisi enemmän energiaa painavien paneelejen kuljettamiseen. Myös esteettisyys on merkittävä tekijä, sillä se voi vaikuttaa aurinkopaneeleilla varustettujen henkilöautojen myyntivoimaan. Tässä luvussa käsitellään VIPV-teknologian keskeisiä piirteitä aurinkokennoista paneelin ominaisuuksiin ja kytkentäteknologiaan, sekä haasteita teknologiassa.

3.1 Varjot ja hot spot –haasteet CIPV-teknologiassa

Ajoneuvoihin integroitujen aurinkokennojen tuotanto ja kehitys eroavat merkittävästi kotitalouksiin tai teollisuuteen suunnattujen aurinkopaneelien valmistuksesta. Henkilöautot liikkuvat paikasta toiseen ja voivat pysäköityinä olla osittain varjossa, mikä heikentää aurinkopaneelien tuottoa. Osittaisella varjostuksella voi olla suuri vaikutus kokonaistehoon, mikä tulee ottaa huomion aurinkopaneelin materiaalin ja kytkentöjen tekemisessä. Seran ja Baghzouzin (2008) tutkimuksen mukaan, jos kaksi saman alamoduulin kennoa joutuu varjoon, vaikutus on sama kuin koko alamoduuli olisi varjossa. Vastaavasti, jos varjostus kohdistuu kahteen eri alamoduulin kennoon, seurauksena voi olla molempien alamoduulien tehonmenetys.

Osittainen varjostus voi lisäksi aiheuttaa niin sanotun *hot spot* -ilmiön. Tämä tapahtuu, kun varjostus aktivoi ohitusdiodin (*bypass diode*), ja se lämpenee, kun varjopuoli paneelista tuottaa eri suuruista virtaa kuin auringossa oleva puoli. Samalla varjossa olevat kennot voivat tuottaa negatiivista jännitettä, mikä voi johtaa läpilyöntijännitteen ylittymiseen ja hot spotin syntymiseen (Özkalay ja muut, 2024). Hot spot voi nostaa paikallisen lämpötilan jopa 130–150 °C:een, jolloin aurinkokenno, moduulimateriaali ja diodi altistuvat merkittävälle lämpökuormalle.

3.2 CIPV aurinkokennot

Aiemmin mainitut ominaisuudet, kuten taipuisuus ja pieni massa, rajaavat jo lähtökohtaisesti monia markkinoilla olevia aurinkokennomalleja CIPV-käytön ulkopuolelle. Commault ja muut (2021) esittävät CIPV-sovelluksiin soveltuviksi seuraavia kennotyyppejä:

- Kidepiikenno: Luotettava, edullinen ja suhteellisen tehokas.
- Ohutkalvoteknologia: Heikompi hyötysuhde, mutta parempi taipuisuus ja kevyempi rakenne.
- Perovskiittikennot: Lupaava uusi teknologia, jolla voi olla korkea hyötysuhde, alhainen hinta, kevyt ja taipuva rakenne. Haasteina kuitenkin nykyisin käyttöikä ja luotettavuus.

Commault ja muut (2021) toteavat, että katkotuilla kennoilla (normaali kokoinen kenno esim. puolitetaan) toteutetuilla kytkentäteknologiolla on useita etuja sähköajoneuvosovelluksissa. Tällaiset rakenteet voivat vähentää osittaisesta varjosta aiheutuvia haittoja.

3.3 Paneeliteknologia

Kennoteknologian taipuisuuden lisäksi myös itse paneelin on mukauduttava auton katon muotoon. Nykyisissä VIPV-projekteissa hyödynnetään pääasiassa kolmea ratkaisua: kaarevia aurinkopaneeleja (*curved PV*), joustavia paneeleja (*flexible PV*) sekä kevyitä jäykkiä paneeleja (*light rigid PV*) (Commault ja muut, 2021).

Kaarevat aurinkopaneelit ovat useimmiten kaksikerroksisia, joko lasi- ja taustalevy yhdistelmällä tai kaksinkertaisella lasilevyllä, joissa käytetään 3D-taivutettua lasia. Niiden heikkoutena on kuitenkin lasin lisäämä paino. Joustavat paneelit puolestaan ovat taipuisia ja kevyitä, minkä vuoksi ne sopivat hyvin kaareville pinnoille. Kevyet jäykät paneelit eivät vielä ole taipuisia, mutta ne ovat kevyitä ja niissä on potentiaalia hyödyntää 3D-taivuttamisteknologiaa.

CIPV-paneeliteknologian kehitystä tukee vahvasti rakennuksiin integroitujen aurinkosähköjärjestelmien (BIPV, Building-Integrated Photovoltaics) edistyminen, sillä monet teknologiat ja valmistusratkaisut ovat sovellettavissa myös ajoneuvokäyttöön.

3.4 CIPV aurinkokennojen kytkentäteknologia

CIPV:n kytkentäteknologialla voidaan vaikuttaa sen energian tuotantoon ja hot spot -ilmiön vähentämiseen ilman, että paneelin normaalitoiminta heikkenisi, tuotanto vaikeituisi tai kustannukset nousisivat merkittävästi. Vaikka voisi olettaa, että kytkentäteknologian ensisijainen tavoite olisi aina tuotetun energian maksimointi, sähköajoneuvojen tapauksessa tärkeämpää on ajokantaman maksimointi myös epäsuotuisissa olosuhteissa (Macías ja muut, 2024). Tämä tarkoittaa käytännössä energiahävikin minimoimista varjo-olosuhteissa.

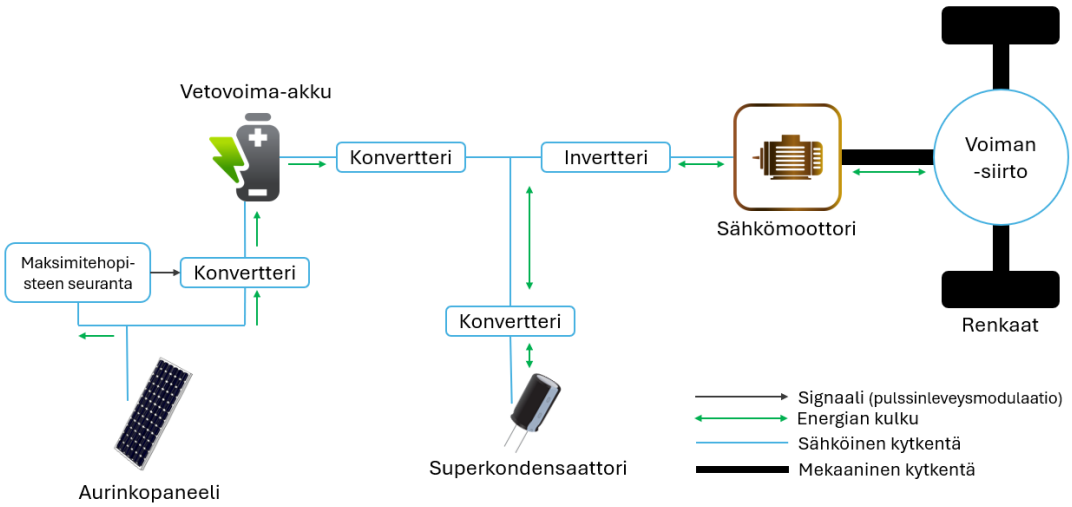
Macías ja muut (2024) tutkivat energian tuotantoa kymmenellä eri kytkentämenetelmällä osittaisessa varjostuksessa. Tulokset osoittavat, että kennojen koon pienentäminen (katkotut kennot) ja ohitusdiodien lisääminen (80-160 kpl) sarjaankytkennässä johtaa jopa 41%:n energian tuottoon. Haittapuolena on kuitenkin huomattavasti kasvava valmistuksen monimutkaisuus.

Kun lisätään rinnankytkentöjen määrää paneelissa, pystytään myös diodien määrää vähentää huomattavasti ja päästään lähelle samoja tuloksia. Tällä tavalla saavutetaan vain 5-9% pienempi energian tuotanto kuin 160 diodilla. Tutkimuksen mukaan kytkentämenetelmillä voidaan vaikuttaa energiahäviöihin epäsuotuisissa olosuhteissa, mikä tukee CIPV-teknologian kehitystä tulevaisuudessa.

3.5 CIPV voimansiirto

Kuvio 4 esittää lohkokaavio-esimerkin voimansiirrosta CIPV-teknologiassa. Aurinko-paneelilta sähkö siirtyy tasavirtana konvertterille (DC-DC-muuntaja) ja maksimiteho-pisteen seurantaohjaimelle (Mohamed ja muut, 2017). Maksimitehopisteen

seurantaohjain säätelee konvertteria pulssinleveysmodulaation avulla, mikä mahdollistaa aurinkoenergian optimaalisen hyödyntämisen (Mohamed ja muut, 2017). Kuvio 4 havainnollistaa, että aurinkopaneelin integrointi henkilösähköauton voimansiirtojärjestelmään on rakenteellisesti yksinkertaista: ainoaksi haasteeksi muodostuu konvertteri, joka sijoittuu akun ja aurinkopaneelin väliin (Pochont ja muut, 2023).



Kuvio 4. Voimansiirron lohkokaavio, kun aurinkopaneeli on integroitu henkilösähköautoon (Muokattu lähteistä Pochont ja muut, 2023; Mohamed ja muut, 2017).

3.6 Aurinkoenergian varastointi

CIPV-järjestelmissä ajoneuvon sähköjärjestelmän tulisi olla aktiivinen, jotta aurinkoenergiaa voitaisiin hyödyntää myös ajoneuvon ollessa pysäköitynä. Tämä saattaisi kuitenkin joissain tapauksissa kuluttaa akkua enemmän kuin mitä aurinkokenno tuottaa, erityisesti pitkiä aikoja pysäköitäessä.

Yhtenä ratkaisuna on aurinkoenergian kerääminen erilliseen pieneen akkuun, esimerkiksi 12 V apuakkuun, josta energiaa siirretään jaksollisesti ajoneuvon pääakkuun (Kaaijk, 2025). Tällä tavoin vähennetään perusjärjestelmän jatkuvaa energiankulutusta ja parannetaan aurinkoenergian hyödyntämistä.

4 VIPV:n soveltuvuus ajoneuvoihin

Markkinoilla on jo muutamia automalleja, joihin on integroitu aurinkopaneelijärjestelmä. Seuraavaksi tarkastellaan tieajotestiä sekä aurinkopaneelien merkitystä sähköajoneuvojen ajokantamaan ja sähkömoottorin kestävyyteen.

4.1 Kuluttajan lataustottumukset

Birnie, D.P. (2016) tarkasteli tutkimuksessaan kuluttajan sähköajoneuvon lataustottumuksien vaikutusta aurinkosähköenergiaan, kun VIPV-järjestelmä oli asennettu ajoneuvoon. Tutkimuksen lopputulos oli, että aurinkosähköä voitaisiin hyödyntää enemmän, jos käyttäjä ei kytkisi autoa välittömästi lataukseen saavuttuaan työpaikalle. Tyypillisen työajan, klo 9-17, aikana keskipäivällä on yleisesti päivän aurinkoisin ajankohta, jolloin on aurinkosähkön hyödyntämisen kannalta tärkeimmät tunnit. Latausta tulisi mielummin jaksottaa, jotta nämä aurinkoisimmat tunnit voitaisiin hyödyntää aurinkosähköllä lataamiseen. Kuluttaja kuitenkin tyypillisesti haluaa ladata autonsa mahdollisimman nopeasti, ja latauksen jaksottaminen veisi aikaa. Kappaleessa 3.5 tuotiin esiin järjestelmään asennettava apuakku, jonka käyttöä ei tässä tutkimuksessa otettu huomioon. Apuakun avulla päivän aikana kerätty aurinkosähkö voitaisiin varastoida ja hyödyntää illalla, pimeämpänä ajankohtana, ajoneuvon lataukseen, jolloin kuluttaja pystyy säästämään sähkön kulutuksesta kotona.

4.2 Ajokantama käytännön testeissä

Japanissa Toyota Priusta testattiin julkisessa tieajossa aurinkosähkövoimalla, ja arvio vuosittaiseksi ajomatkaksi aurinkopaneelin avulla oli 6 211 kilometriä. Tehokkailla aurinkopaneeleilla voidaan saavuttaa keskimäärin jopa 30 km päivässä ja kirkkaimpina päivinä 50 km päivässä (Masuda ja muut, 2025).

Muiden testien tuloksien perusteella on arvioitu, että keskitehoisilla (hyötysuhde 15-20%) VIPV-järjestelmillä voitaisiin tuottaa ajokantamaa 11,7 km päivässä (Parlak ja muut

2024). Vertailuna: Suomessa ajetaan keskimäärin 52 kilometriä vuorokaudessa (Tekniikan maailma, 2018), eli teoriassa tulevaisuudessa voitaisiin hyvällä säällä säästää 1/5 päivän aikana kulutetusta energiasta.

4.3 Hyödyt

Aurinkopaneelien tuottama lisäsähkö vähentää riippuvuutta latausasemista ja voi pidentää akun sekä ajoneuvon käyttöikää, sillä VIPV-järjestelmän hidas ja tasainen lataus ei kuormita akkua samalla tavalla kuin toistuva nopea pikalataus latausasemilla, joka aiheuttaa lämpenemistä ja kulumista (Parlak ja muut, 2024). Muita positiivisia vaikutuksia ovat taloudellinen hyöty ilmaisesta energiasta ja kasvihuonekaasujenpäästöjen väheneminen (Parlak ja muut, 2024).

5 Suomen olosuhteet ja niiden vaikutus

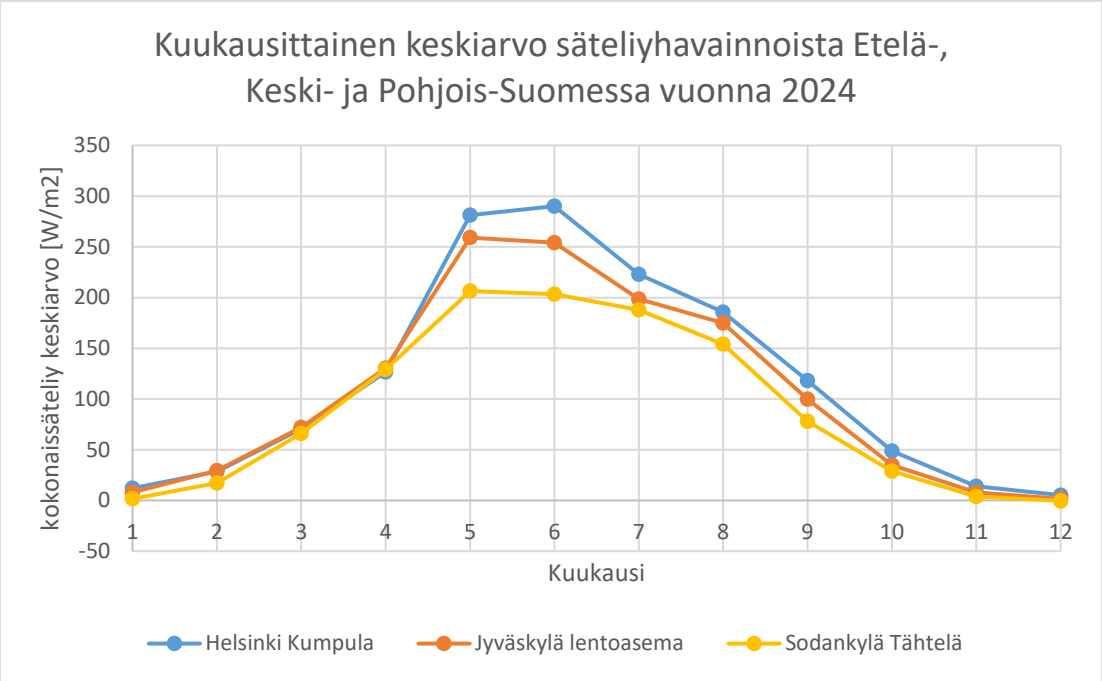
Suomen ilmastolla ja säteilymäärällä on vaikutuksia aurinkoenergian keräämiseen, mitkä tulee ottaa huomioon jo perinteisiä aurinkopaneeleja asennettaessa. Tässä kappaleessa tarkastellaan Suomen olosuhteita ja merkitystä autoihin integroiduissa aurinkopaneeleissa.

5.1 Säteily

Motivan (2025) mukaan auringon säteilystä Suomessa suuri osa on hajasäteilyä, eli pilvistä ja ilmakehän vaikutuksesta taittuvaa säteilyä. Suoraa säteilyä saadaan enimmillään vain pilvettöminä kesäpäivinä, jolloin auringonsäteet osuvat lähes kohtisuoraan paneelin pintaan ilman suurta tulokulmaa. Säteily vaikuttaa perinteisen aurinkopaneelin optimaaliseen asennuskulmaan. Esimerkiksi vaaka-asennossa oleva aurinkopaneeli pystyy enimmäkseen hyödyntämään vain suorasäteilyä, kun taas Suomen leveyspiirille optimoidulla asennuskulmalla pystytään hyödyntämään myös hajasäteilyä.

Autoon integroituna, aurinkopaneelin asennuskulmaan on kuitenkin vaikea optimoida ilman, että auton aerodynamiikka tai ulkonäkö kärsii. Tämän vuoksi suurimman aurinkoenergian saamiseksi olisi hyödyllistä investoida kaikkiin auton pintoihin (katto, etuosa ja ovet), jotta sekä haja- että heijastussäteily saataisiin hyödynnettyä.

Kuviosta 5 nähdään, että merkittävät säteilyhavainnot kokonaissäteilystä painottuvat huhti-elokuuhun. Helsingin Kumpulassa mitatut arvot vastaavat Pohjois-Saksan säteilymäärää (Motiva, 2025). Pohjois-Suomessa säteilyhavainnot ovat kesäkuussa jo n. 100 W/m^2 pienemmät verrattuna Etelä-Suomeen, mikä korostaa Etelä-Suomen pontentiaalia aurinkoenergian hyödyntämisessä.



Kuvio 5. Kuukausittainen keskiarvo kokonaissäteilyn säteilyhavainnoista Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa vuonna 2024 (Ilmatieteen laitos, n.d.).

5.2 Ilmasto

Suomen pitkät pimeät jaksot ja lumipeite talvikuukausina asettavat lisähaasteita aurinkoenergian hyödyntämiselle. Kovilla pakkasilla jäätyneen lumen poistaminen auton pinnalta voi olla hankalaa, ja jos lumipeite säilyy maalis-huhtikuulle, menetetään osa kevään kasvavasta säteilyenergiasta (ks. Kuvio 4). Toisaalta viileä ilmasto tarjoaa edun hyötysuheen kannalta: paneelit toimivat tehokkaammin matalissa lämpötiloissa, sillä lämpökuorma heikentää kennojen suorituskykyä ja voi aiheuttaa esimerkiksi hotspot-ilmiöitä (ks. Luku 3.1).

Ilmastonmuutos voi tulevaisuudessa muuttaa tilannetta. Lumipeitekauden kesto lyhenee ja kevätsäteily on mahdollista hyödyntää aiemmin (Tuomenvirta ja muut, 2018).

6 CIPV Suomessa

Tässä luvussa tarkastellaan analyyttista esimerkkiä sähköhenkilöautojen aurinkopaneeli-integraatiosta (CIPV) Suomen olosuhteissa. Vertailukohtina käytetään Pohjois-Saksassa, Berliinissä tehtyä tutkimusta, jonka tuloksia suhteutetaan Suomen ilmasto- ja säteilyolosuhteisiin.

6.1 CIPV Pohjois-Saksassa, Berliinissä

Hoth ja muut (2024) tutkivat VIPV hyötyjä Pohjois-Saksassa, Berliinissä. Kuten kappaleessa 5.1 todettiin, Etelä-Suomen vuotuinen säteilymäärä on verrattavissa Pohjois-Saksan vastaavaan tasoon, mikä tekee tutkimuksesta hyvän vertailupohjan Suomen olosuhteisiin.

6.1.1 Menetelmät

Tutkimuksessa simuloitiin Berliinin kuukausittaista aurinkosäteilyä, säätietoja sekä kasvillisuuden varjostusvaikutuksia. Simulointiin käytettiin digitaalista pintamallia, jolla saadaan säteilykartta halutusta alueesta, digitaalista maastomallia, tietokantaa Berliinin rakennuksista, sekä Saksan meteorologista dataa vuosilta 2011-2020. Malleilla saadaan simuloitua rakennuksien, maaston ja kasvuston aiheuttamia varjoja:

> Maastomallilla tarkoitetaan maanpintaa kuvaavaa mallia, joka sisältää korkeustiedon lisäksi muutakin tietoa esimerkiksi maan peitteestä, rinteiden kaltevuuksista ja viettosuunnista. Maastomallin tärkein elementti on korkeusmalli. Pintamalli taas on laserkeilauksen myötä käyttöön tullut termi, joka kuvaa maaston ylimmälle korkeustasolle asetettua pintaa. Näin ollen pintamalli sisältää maanpinnan korkeuksia ainoastaan avomaalla, mutta muilla alueilla pinta noudattaa esimerkiksi metsän latvustoa ja rakennusten kattoja. (Maanmittauslaitos, n.d.)

Hoth ja muut raportoivat, että henkilöautot ovat Saksassa keskimäärin 23 tuntia vuorokaudesta pysäköityinä. Tästä syystä simulaatiossa keskityttiin autoihin, jotka ovat ulkona koko päivän. Sisätiloissa sijaitsevat pysäköintialueet rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Muita asioita mitä tutkimuksessa jätettiin huomiotta: haja- ja heijastusäteily, sekä puiden alta paistava auringonsäteily. Lisäksi tutkimuksessa tehtiin olettamus: jos korkeusero pinnan ja maaston välillä on yli neljä metriä, niin säteilyn mittauskohta on puun varjossa.

6.1.2 Tekniset tiedot

Tutkimuksen tulokset laskettiin aurinkopaneelille, jonka:

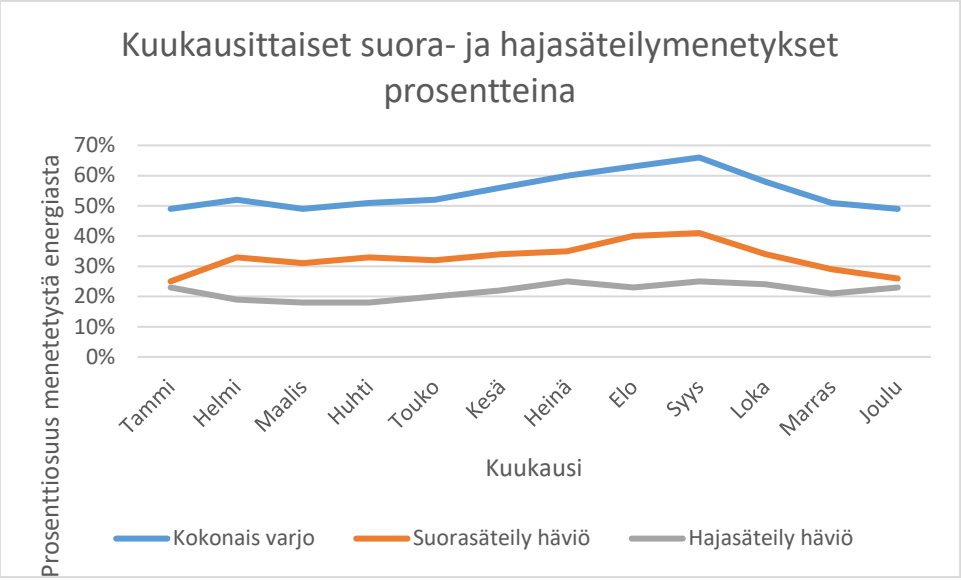
- pinta-ala: 5 m^2
- hyötysuhde: 20 %
- energian siirron hyötysuhde paneelilta sähköauton akkuun: 75 %
- sähköauton kulutus: 13 kWh/100 km
- sähkönhinta latausasemalla: 0,50 €/kWh

6.1.3 Suomen säteily suhteessa Saksan säteilyyn

Berliinin vuotuinen säteilymäärä vaakatasolle on 1132 kWh/m^2 (Hoth ja muut, 2024), kun taas Etelä-Suomen vastaava arvo on 980 kWh/m^2 (Motiva, 2025). Etelä-Suomen säteilymäärä vastaa näin ollen 86,6 % Berliinin säteilytasosta.

6.1.4 Tutkielman tulokset ja vertaus Suomeen

Kaupunkialueella aurinkopaneelit kärsivät merkittävistä energia häviöistä rakennuksien ja kasvuston aiheuttamasta varjostuksesta (ks. Kuvio 6). Tutkimuksen mukaan parhaimmalle, eli avoimelle ja varjottomalle pysäköintilueelle tulee vuodessa 1120 kWh/m^2 aurinkosäteilyä, kun taas mediaani aurinkosäteily Berliinin pysäköintialueilla on 438 kWh/m^2.



Kuvio 6. Kuukausittaiset suora- ja hajasäteilymenetykset prosentteina Berliinissä (muokattu lähteestä Hoth ja muut, 2024).

Taulukko 1. Tutkimuksesta saadut tulokset mediaanilta ja suotuisalta pysäköintialueelta Berliinissä (muokattu lähteestä Hoth ja muut, 2024).

Mediaani pysäköintialue			Suotuisa pysäköintialue		
Päivittäinen ajokantama	Kuukausittainen ajokantama	Kuukausittaiset säästöt	Päivittäinen ajokantama	Kuukausittainen ajokantama	Kuukausittaiset säästöt
6,9 km	2527 km	164,29 €	13,8 km	5027 km	326,74 €

Taulukosta 1 ilmenee, kuinka paljon CIPV voi lisätä ajokantamaa ja kustannussäästöjä kuluttajalle optimaalisten olosuhteiden vallitessa. Jos oletetaan havainnollistamisen vuoksi, että ajokantama ja säästöt skaalautuvat suoraan kappaleessa 6.1.3 esitetyn säteilysuhteen perusteella, voidaan Etelä-Suomen arviot esittää Taulukon 2 mukaisesti. On kuitenkin huomioitavaa, että Suomi sijaitsee korkeammalla leveysasteella, suoransäteilyn osuus kokonaissäteilystä on hieman pienempi, jolloin ajoneuvon katon pintaan osuva säteily on myös pienempi, eikä Suomessa ole tehty vastaavia pysäköintialueiden mittauksia.

Taulukko 2. Tutkimustuloksien pohjalta havainnollistettu versio ajokantamaan ja säästöihin Etelä-Suomessa (muokattu lähteestä Hoth ja muut, 2024).

Mediaani pysäköintialue			Suotuisa pysäköintialue		
Päivittäinen ajokantama	Kuukausittainen ajokantama	Kuukausittaiset säästöt	Päivittäinen ajokantama	Kuukausittainen ajokantama	Kuukausittaiset säästöt
6,0 km	2188 km	142,28 €	12,0 km	4353 km	282,96 €

Tutkimuksessa todetaan, että nykyisellä teknologialla (hyötysuhde 20 %) CIPV:n hyödyt korostuvat vain olosuhteissa, joissa voidaan varmistaa mahdollisimman suuri aurinkoenergian saanti (Hoth ja muut, 2024).

7 Johtopäätökset

Suomen olosuhteet tuovat haasteita, mutta myös mahdollisuuksia aurinkopaneelien integrointiin ajoneuvoihin. Keskeiset haasteet liittyvät alkukevään säteilyn hyödyntämiseen ja paneelien sijoittelun rajoituksiin. Toisaalta kesäkauden korkea säteilymäärä, viileä ilmasto ja ilmastonmuutoksen tuomat muutokset voivat parantaa aurinkoenergian hyödyntämisen edellytyksiä tulevaisuudessa. Kehittyvä paneeliteknologia ja parempi hajasäteilyn hyödyntäminen ovat avainasemassa Suomen vaihtelevisssa olosuhteissa.

Kokonaisuutena tarkastelu osoittaa, että CIPV-teknologian potentiaali Suomessa on nykytilanteessa rajallinen, mutta ei merkityksetön. Optimaalisissa olosuhteissa lisäenergia voi olla käyttäjälle merkittävä erityisesti kesäkuukausina. Teknologian hyödyt korostuvat kuitenkin ennen kaikkea Etelä-Suomessa ja maaseutuympäristöissä, joissa ajo tapahtuu avoimilla teillä. Kaupunkialueilla sen tuoma etu jää todellisuudessa vähäisemmäksi rakennuksien, kasvuston, sekä pysäköinti tottumuksien seurauksena.

8 Yhteenveto

Ilmastonmuutos ohjaa sekä Euroopan unionin että Suomen päätöksentekoa kohti ilmastonmuutoksen torjuntaa ja hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Näitä eurooppalaisia ja kansallisia päätöksiä sekä asetuksia luonnehtii innovaatio- ja teknologialäpimurtojen myönteinen edistäminen, sillä uusille ratkaisuille on tarvetta päästöttömyystavoitteiden saavuttamiseksi. CIPV on nouseva teknologia uusiutuvan energian sektorilla, jonka kehittymistä vauhdittavat erityisesti aurinkopaneeli- ja sähköajoneuvoteknologioiden kehitys.

Tutkimuksen päätavoitteena oli arvioida CIPV-teknologian soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin. Työn edetessä selvitettiin poliittisia, teknologisia ja ilmastollisia tekijöitä, ja niiden vaikutusta CIPV:n käyttöönottoon.

Tämän työn tarkastelu osoittaa, että CIPV:n varsinainen potentiaali riippuu voimakkaasti paikallisista olosuhteista, erityisesti vuotuisesta globaalista säteilystä ja varjostuksesta. Paneelien hyötysuhde nousee keskeisimmäksi tekijäksi, mikäli teknologiaa halutaan laajentaa kannattavasti myös korkeammille leveysasteille, kuten Suomeen. Paneelitekniikoiden kehitys määrittää pitkälti sen, missä määrin CIPV voi tulevaisuudessa toimia arjessa merkittävänä energianlähteenä.

Ilmastonmuutoksella on Suomessa vaikutusta esimerkiksi lumipeitteen keston lyhenemiseen, mikä voi tulevaisuudessa parantaa CIPV:n hyödyntämistä. Samaan aikaan aurinkopaneeliteknologia kehittyy nopeasti.

Nykyhetkessä CIPV-teknologian taloudellinen potentiaali nojaa kuitenkin edelleen vahvasti alueisiin, jotka sijaitsevat lähempänä päiväntasaajaa ja joissa vuosittainen säteilymäärä on huomattavasti suurempi kuin Pohjois-Euroopassa. CIPV voi tällaisissa oloissa maksaa itsensä takaisin jo muutamassa vuodessa.

Kaiken kaikkiaan CIPV on nouseva teknologia, jonka kehitystä ohjaa sekä ilmastopolitiikka että autoteollisuuden sähköistymisen trendit.

Lähteet

Akinsooto, O., Ogunnowo, E. O. & Ezeanochie, C. C. (2025, 4. huhtikuuta). The Future of Electric Vehicles: Technological Innovations and Market Trends. *Engineering And Technology Journal*, *10*(4), *4392–4405*. https://doi.org/10.47191/etj/v10i04.04

Araki, K., Carr, A.J., Chabuel, F., Commault, B., Derks, R., Ding, K., Duigou, T., Ekins-Daukes, N.J., Gaume, J., Hirota, T., Kanz, O., Komoto, K., Newman, B.K., Peibst, R., Reinders, A., Roman Medina, E., Sechilariu, M., Serra, L., Sierra, A., Valverde, A. & Zurfluh, D. (2021). *State-of-the-Art and Expected Benefits of PV-Powered Vehicles 2021*. International Energy Agency. Noudettu 22.9. osoitteesta https://iea-pvps.org/key-topics/state-of-the-art-and-expected-benefits-of-pv-powered-vehicles/

Auvinen, K. & Jalas, M. (2020). *Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus.* Finsolar. Noudettu 4.8.2025 osoitteesta https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/

Birnie, D.P. (2016). Analysis of energy capture by vehicle solar roofs in conjunction with workplace plug-in charging. *Solar Energy, 125, ISSN 0038-092X.* https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.014

Commault, B., Duigou, T., Maneval, V., Gaume, J., Chabuel, F., & Voroshazi, E. (2021). Overview and Perspectives for Vehicle-Integrated Photovoltaics. *Applied Sciences, 11(24), 11598.* https://doi.org/10.3390/app112411598

Eskonen, H & Ali-Hokka, H. (2024, 6. helmikuuta). EU:n uusi ilmastotavoite vaatii hiili-dioksidin talteenottoa – jopa 90 prosenttia päästöistä pois vuoteen 2040 mennessä. *Yle*. Noudettu 14.6.2025 osoitteesta https://yle.fi/a/74-20073255

Hemetsberger, W, Dunlop, S & Schmela, M. (2025). *SolarPower Europe (2025): Global Market Outlook for Solar Power 2025-2029*. SolarPower Europe. https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/global-market-outlook-for-solar-power-2025-2029/detail

Hoth, P., Heide, L., Grahle, A., & Göhlich, D. (2024). Vehicle-Integrated Photovoltaics—A Case Study for Berlin. *World Electric Vehicle Journal*, *15*(3), 113. https://doi.org/10.3390/wevj15030113

Huttunen, R, Kuuva, P, Kinnunen, M, Lemström, B & Hirvonen, P. (2022, 9. syyskuuta). *Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia*. Työ- ja elinkeinoministeriö. http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-811-0

Ilmasto-opas. (2023, 12. kesäkuuta). *Sähköauton hankintatuki ja tuki auton muuttamiselle kaasu- tai etanolikäyttöiseksi*. Noudettu 20.6.2025 osoitteesta https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/sahkoauton-hankintatuki-ja-tuki-auton-muuttamiselle-kaasu-tai-etanolikayttoiseksi#references

Ilmatieteenlaitos. (n.d.). *Havaintojen lataus* [Tietoaineisto]. Noudettu 9.10.2025 osoitteesta https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus

Kaaijk, P. (2025). *Fact Sheet: Vehicle-Integrated PV –Status and Perspectives*. International Energy Agency. Noudettu 16.8.2025 osoitteesta https://iea-pvps.org/fact-sheets/fs-t17-vipv-status-perspectives/

Kaipiainen, P. (2018, 9. maaliskuuta). Suomalainen autoilija ajaa keskimäärin 52 km vuorokaudessa – Näin paljon aikaa suomalaiset käyttävät liikenteessä. *Tekniikan maailma*. Noudettu 22.9.2025 osoitteesta https://tekniikanmaailma.fi/suomalainen-autoilija-ajaa-keskimaarin-52-km-vuorokaudessa-nain-paljon-aikaa-suomalaiset-kayttavat-liikenteessa/

Maanmittauslaitos. (n.d.). *Korkeusmallit*. Noudettu 25.11.2025 osoitteesta https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit

Macías, J, Herrero, R., San José, L.J., Núñez, R. & Antón, I. (2024, 23. toukokuuta). On the optimization of the interconnection of photovoltaic modules integrated in vehicles. *iScience, 110089*. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110089

Masuda, T, Yamaguchi, M, Iwasaki, S, Nakado, T, Takamoto, T & Nishioka, K. (2025, 17. maaliskuuta). Public road driving tests of Toyota Prius equipped with high efficiency III-V triple-junction PV modules. *EPJ Photovoltaics 16, 20*. https://doi.org/10.1051/epjpv/2025008

Mohamed, N., Flah, A., Mouna, B. & Lassaad, S. (2017). Review on autonomous charger for EV and HEV. *2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Hammamet, Tunisia, 2017, pp. 1-6.* https://doi.org/10.1109/GECS.2017.8066273

Motiva. (2025). *Auringonsäteilyn määrä Suomessa*. Noudettu 21.10.2025 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa

Parlak, B.O. & Yavasoglu, H.A. (2024). Assessment of Vehicle-Integrated Photovoltaics: A financial and environmental perspective. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 72, 104042*. https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104042

Pochont, N. R. & Raja Sekhar, Y. (2023). Recent trends in photovoltaic technologies for sustainable transportation in passenger vehicles – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 181, 113317*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113317

Puro, J. (2025, 16. huhtikuuta). Sähköautojen latausmahdollisuudet Suomessa 2025 – Riittääkö latausverkko autojen lataamiseen?. *Itewiki*. Noudettu 20.6.2025 osoitteesta https://www.itewiki.fi/blog/2025/04/sahkoautojen-latausmahdollisuudet-suomessa-2025-riittaako-latausverkko-autojen-lataamiseen/

Sera, D & Baghzouz, Y. (2008). On the impact of partial shading on PV output power. *In Proceedings of RES'08* WSEAS Press. Noudettu 12.8.2025 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/259786752_On_the_impact_of_partial_shading_on_PV_output_power

Suomen virallinen tilasto (SVT). *Moottoriajoneuvojen ensirekisteröinnit* [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-2516. Helsinki: Tilastokeskus. Noudettu 20.6.2025 osoitteesta https://stat.fi/tilasto/merek

Sähköverolaki 30.12.1996/1260. (2022) *Finlex*. Noudettu 5.8.2025 osoitteesta http://data.finlex.fi/eli/sd/1996/1260/ajantasa/2022-11-25/fin

Tuomenvirta, H., Haavisto, R., Hildén, M., Lanki, T., Luhtala, S., Meriläinen, P., Mäkinen, K., Parjanne, A., Peltonen-Sainio, P., Pilli-Sihvola, K., Pöyry, J., Sorvali, J. & Veijalainen, N. (2018). *Sää- ja ilmastoriskit Suomessa – Kansallinen arvio*. Valtioneuvosto. Noudettu 18.10.2025 osoitteesta http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-601-0

Verohallinto. (2024, 25. huhtikuuta). *Autoveroprosentit ajoneuvoille*. Noudettu

20.6.2025 osoitteesta https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/omaisuus/autovero/autoveron-maara/autoveroprosentit-ajoneuvoille/

Virta, I. (2025, 8. huhtikuuta). Sähköautot jyräävät nyt ykkösenä Suomen autokaupassa. *Tekniikan maailma*. Noudettu 20.6.2025 osoitteesta https://tekniikanmaailma.fi/sahkoautot-jyraavat-nyt-ykkosena-suomen-autokaupassa/

Özkalay, E, Valoti, F, Caccivio, M, Virtuani, A, Friesen, G & Ballif, C. (2024, 28. helmikuuta). The effect of partial shading on the reliability of photovoltaic modules in the built-environment. *EJP Photovoltaics 15, 7*. https://doi.org/10.1051/epjpv/2024001