

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2019

Jaakko Rantala

AURINKOENERGIA- JÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU TAKSIYRITYKSELLE

- E-TAXI Enthusiasts Oy

Jaakko Rantala

AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU TAKSIYRITYKSELLE

- E-TAXI Enthusiasts Oy

Tutkimus suoritettiin kirjoittajan omasta toimesta hänen omalle taksiyritykselleen, E-TAXI Enthusiasts Oy:lle. Työn tavoitteena oli tutustua yleisesti liikenteen ympäristöasioihin, aurinkoenergiaan, sekä suunnitella alustavia vaihtoehtoja taksiyrityksen aurinkoenergiajärjestelmälle. Työssä vertaillaan erilaisten aurinkopaneeliasetelmien potentiaalista tuottoa ja kannattavuutta. Aurinkoenergiaa käytettäisiin mahdollisesti toimistorakennuksen energiantarpeisiin sekä autojen lataamiseen.

Haasteita ympäristöasioiden kehittämisessä ovat epätietoisuus sekä vanhat juurtuneet toimintatavat. Nykypäivänä voi olla vaikeaa sanoa, mikä on parhaaksi ympäristön kannalta. On melkein uskottava johonkin ja mentävä sen mukana. Tiede ja tutkimukset tarkentuu, mutta paljon on harhaan johtavaa tietoa sekä ennakkoluuloja, sekä yritysten itsensä mainostamista, jopa viherpesua.

Ongelmakohtia työssä oli työn laajuuden ja tarkkuuden karsiminen kiireen takia. PV*SOL-ohjelman ja Turun ammattikorkeakoulun tilojen käytössä ilmaantui yllättäviäkin haasteita. Työ ei ole täydellinen, mutta antaa jonkinlaisen kuvan kirjoittajan tämän hetkisestä tietotasosta ja helpottaa toivon mukaan tulevien töiden onnistumisia vastaavista aiheista.

Liikenne on pitkään ollut ja on yhä edelleen suuri päästönlähde. Varsinkin fossiilisten kasvihuonekaasujen ja paikallisten terveyteen vaikuttavien ilmansaasteiden päästöjen määrä tulisi laskea nopealla vauhdilla. Valtiolla ja isoilla yrityksillä voi olla vaikeuksia toimia, vaikka niin sanottu keikahduspiste on jo lähellä. Parempaan huomiseen vaaditaan myös yksittäisten henkilöiden ja pienten yritysten toimia. Kuluttajat äänestävät kukkarollaan, ja nyt he ehkä voivat äänestää taksiyrityksen puolesta, joka varmasti pyrkii olemaan vihreämpi vaihtoehto taksipalvelumarkkinoilla.

ASIASANAT:

Aurinkopaneelit, aurinkoenergia, taksi, liikenne, fossiilivapaus, biopolttoaine

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environmental technology

2019 | 42 pages, 4 pages in appendices

Jaakko Rantala

PLANNING OF SOLAR POWER SYSTEM FOR A TAXI COMPANY

- E-TAXI Enthusiasts Oy

The thesis was made by the author for his own taxi company, E-TAXI Enthusiasts Oy. The aim of the thesis was to get acquainted with the general environmental issues of transport, solar energy and to design preliminary alternatives for a taxi company solar system. The work compares the potential yield and profitability of different solar panel designs. Solar energy could potentially be used to power the office building and to charge cars.

Challenges in developing environmental issues include uncertainty and old-fashioned practices. Today it can be difficult to say what is best for the environment. One almost has to believe in something and go with that. Science and research are developing but there is a lot of misleading information and prejudice, with the advertising of companies themselves, even greenwashing, also presenting a challenge.

A problem with doing the work was the need to reduce the scope and accuracy of it due to urgency. The PV*SOL-program and the Turku University of Applied Sciences' premises also presented some surprising challenges. The work is not perfect, but it gives some idea of the author's current knowledge and makes it easier to complete similar works in the future.

Transport has long been and continues to be a major source of all kind of emissions. In particular, fossil greenhouse gas emissions and local air pollutant emissions should be reduced rapidly. The state and big companies may have trouble making the right moves, even though the so-called breakpoint is already close. Individuals and small businesses also need to do their bit for a better tomorrow. Consumers are voting with their purses, and now they may be able to vote for a taxi company that is striving to be a greener option in the taxi market.

KEYWORDS:

Photovoltaic, solar energy, taxi, traffic, fossil freedom, biofuel

SISÄLTÖ

SANASTO	6
1 JOHDANTO	8
2 YRITYS JA SEN TAVOITTEET	10
2.1 Liiketoimintasuunnitelman esittely	10
2.2 Tavoitteet	11
3 AIHEESEEN LIITTYVÄ TEORIA	13
3.1 Aurinkoenergia	13
3.1.1 Aurinkopaneeli	14
3.1.2 Paneelien energiantuottoon vaikuttavat asiat	15
3.1.3 Erilaiset aurinkoenergian hyödyntämisteknologiat	19
3.2 Miten sähköautot ovat polttomoottoriautoja parempi vaihtoehto?	21
3.2.1 Sähköautojen toiminta yksinkertaistettuna	23
3.2.2 Sähköautojen akut	25
3.3 Miten biopolttoaineet ovat fossiilisia parempi vaihtoehto?	27
3.4 Liikenteen kehitys ja päästöt viime vuosikymmeninä	29
4 AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄT	32
4.1 Versio 1	33
4.2 Versio 2	35
4.3 Versio 3	36
4.4 Tutkimustuloksia	38
5 YHTEENVETO AURINKOLATAAMISESTA	40
LÄHTEET	41

LIITTEET

- Liite 1. Julkiset latauspaikat Turun seudulla 2019.
- Liite 2. Pistoketyypit.
- Liite 3. Palaminen polttomoottorissa.
- Liite 4. Lisäselvitykset.

KAAVAT

Kaava 1. Aurinkopaneelin hyötysuhteen laskeminen (Tahkokorpi, M. 2016).	14
Kaava 2. Paneelirivistön etäisyyden laskeminen (Mertens, K. 2014).	18

KUVAT

Kuva 1. Aurinkokennon toimintaperiaate. (Visual capitalist 2017)	15
Kuva 2. Paneelin kulma. A optimaalinen kulma ympäri vuoden. B optimaalinen kulma talvella. C optimaalinen kulma kesällä. (YouTube - Stan Gibilisco)	16
Kuva 3. Auringon liike vuodenajasta riippuen. (Pinterest.com, fearlessthinkers – YouTube)	17
Kuva 4. Varjon muodostuminen. (Mertens, K. 2014)	17
Kuva 5. Paneelirivistön itsevarjostus. (Mertens, K. 2014)	18
Kuva 6. Aurinkopaneelin varjostus. Eri suuntaisten varjostuksen vaikutukset. (Mertens, K. 2014)	19
Kuva 7. Auringonvalosta on hyödynnettävissä muukin, kuin näkyvän valon spektri. (Mertens, K 2014)	20
Kuva 8. Teslan alusta ja voimalinja. Tesla Model S. (Tesla 2019)	24
Kuva 9. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt. (Ilmasto opas)	30
Kuva 10. Liikennemuotojen päästöt ja hiilijalanjäljet. (Autoalan tiedotuskeskus; ilmasto-opas)	31
Kuva 11. Versio 1, tasakatto. (PV*SOL)	33
Kuva 12. Versio 2, kalteva katos. (PV*SOL)	35
Kuva 13. Versio 3, 100 kWp järjestelmä. (PV*SOL)	36

TAULUKOT

Taulukko 1. Sähköautojen määrän kasvu Manner-Suomessa. (Autoalan tiedotuskeskus)	23
Taulukko 2. Sähköauton hyödyt ja haitat. (YouTube – Learn Engineering)	25
Taulukko 3. Paneelien kulman vaikutus energiantuottoon. (PV*SOL)	38
Taulukko 4. Paneeliston suuntaus, atsimuutti. Paneelin kulma 38 astetta. (PV*SOL)	39

SANASTO

AC	Alternative Current – vaihtovirta
AM	Air Mass (kuva 7)
Alkuperätodennettu	Esimerkiksi tuotetun sähkön lähde on tiedossa.
ALV	Arvonlisävero
BEV	Täyssähköauto
BMS	Battery management system – akustonhallintajärjestelmä.
DC	Direct Current – tasavirta
E85	Polttoaine, joka etanolipitoisuus noin 85 %.
Etanoli	Viinan raaka-aineena tunnettu, etyylialkoholi, C ₂ H ₅ OH
Hiilijalanjälki	Tuotteen, palvelun tai toiminnan aiheuttama ilmastokuorma, eli kuinka paljon kasvihuonekaasuja tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana syntyy
Hiilineutraali	Toiminta ei muuta ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta
IBC	Interdigitated Back Contact – aurinkokennotekniikka
Invertteri	Vaihtosuuntaaja, muuntaa virran tasavirrasta vaihtovirraksi tai toisin päin
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. Hallitusten välinen ilmastomuutospaneeli
kpl	Kappale
m ²	Neliömetri
MPP	Maximum Power Point. Jännite-virta -käyrän piste, jossa aurinkopaneelin teho on suurin
MPPT	Maximum Power Point Tracking. Invertterin ominaisuus, joka säätää paneelien tuottamaa virtaa ja jännitettä

Nimellisteho	Se teho, jonka aurinkopaneeli kykenee tuottamaan STC-olosuhteissa
Oy	Osakeyhtiö
PHEV	Ladattava hybridi
PV	Photo Voltaic - Aurinkoenergia
PV*SOL	Aurinkopaneelien tuottoa mallintava suunnitteluohjelma
RE85	ST1:n lanseeraama nimitys kierrätysmateriaalista valmistetulle biopolttoaineelle. Etanolipitoisuus 85 %
SoC	State of Charge - Akun varaustaso.
STC-olosuhde	Olosuhde, jossa auringon säteily kohtaa 25° paneelin 35° kulmassa auringon säteilytehon ollessa 1000 W / m ² . (EN 60904-3)
kW	Kilowatti, tehon yksikkö
kWh	Kilowattitunti, kulutuksen mittari
Kg	Kilogramma
kWp	Kilowatt-peak. Kilowattipiikki, aurinkoenergiajärjestelmän nimellisteho
L	Litra
VS	Versus
W	Watti
W _p tai Wp	Piikkiwatti

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin opinnäytetyön tekijän omasta tarpeesta hänen omalle yritykselleen. Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa mahdollisia aurinkosähköjärjestelmiä taksiyrityksen käyttöön ja vertailla niiden toimivuutta. Työn tavoitteena on luoda alustava selvitys aurinkosähkön hyödyntämisen toimivuudesta ja kannattavuudesta yrityksessä sekä selvittää sähköautoilun ja bioetanolin ympäristövaikutuksia.

Ilmansaasteet ja ruuhkat ovat tyypillinen ongelma isoissa kaupungeissa. Suomessa tilanne ei ole niin paha kuin monessa muussa maassa, mutta asialle tulisi silti tehdä jotain. Vaihtoehtoja on jo olemassa. Liikenne on pitkään ollut ja on edelleen suuri kasvihuonekaasujen ja muiden ilmansaasteiden lähde. Suuri osa tästä olisi vältettävissä viisailla päätöksillä ja yhteisillä toimintatavoilla sekä kenties järkevilla lakimuutoksilla.

Muun muassa sähkö- ja etanoliautot ovat olleet yhä suuremmissa määrin ihmisten puheenaiheina. Lopullista hankintapäätöstä jarruttaa usein epätietoisuus ja harhaluulot. Työssä pyritään selvittämään mahdollisimman tarkasti ja ymmärrettävästi sähköautoihin ja biopolttoaineisiin liittyviä kysymyksiä, kuitenkin pintaraapaisuna. Osa kysymyksistä on jätetty tarkoituksella auki ja ilmoitettu opinnäytetyössä jatkoselvityksiä varten. Opinnäytetyö ei pyri antamaan tyhjentävää vastausta siihen, mikä on ilmaston kannalta parasta, mutta pyrkii selvittämään siihen vaikuttavia asioita.

Yrityksen perustaminen oli iso osa opinnäytetyön aikaista työtä, joten opinnäytetyön alussa kerrotaan yrityksestä, siihen kuitenkin syvemmin painottamatta. Alussa tutustutaan myös aiheeseen liittyvään teoriaan aurinkoenergiasta, sähköautoilusta ja liikenteestä ylipäänsä. Pääaiheena opinnäytetyö käsittelee aurinkopaneelijärjestelmän mitoitusta ja siihen liittyviä ratkaisuja ajoneuvojen ja mahdollisesti tulevan toimistorakennuksen/liiketilän energiatarpeisiin. Työssä tutkitaan ja verrataan erilaisia aurinkoenergiaratkaisuja ja niiden potentiaalia, jotta yritys saavuttaisi osittaisen energiaomavaraisuuden.

Loppuluvussa kootaan havainnot aurinkoenergian potentiaalista yhteen. Opinnäytetyö on pyritty kirjoittamaan niin, että se antaisi ennestään aiheisiin perehtymättömille uutta tietoa mahdollisimman selkeästi sekä myös aiheisiin perehtyneille mahdollisesti uusia näkökulmia aiheeseen.

Työ ei ole täydellinen, sillä se käsittelee asioita melko laajalla skaalalla. Lisäksi se on viimeistely kovassa kiireessä Kelan opintolainahyvityksen saamiseksi. Joistain kohdista on täytynyt tinkiä kiinnostuksesta huolimatta ja joitain kohtia on jätetty tarkoituksella avoimeksi jatkotutkimuksia varten. Nämä jatkoselvittämisen arvoiset kysymykset on kuitenkin pyritty nostamaan esille opinnäytetyössä.

2 YRITYS JA SEN TAVOITTEET

Korkeampien tahojen kehotuksista huolimatta ja opinnäytetyöetikettien vastaisesti tässä kappaleessa kerrotaan yrityksestä. Mikäli kappale ei lukijaa kiinnosta, sen voi helposti sivuuttaa, sillä oikea asia alkaa seuraavasta kappaleesta. Tämä kappale kertoo ja täsmentää opinnäytetyöhön johtavia motiiveja.

E-TAXI Enthusiasts Oy on opinnäytetyön kirjoittajan perustama yritys. Se syntyi ja kehittyi ajatuksen tasolla vuosien varrella, ja merkittiin virallisesti kaupparekisteriin opintojen ohella keväällä 2019. Taksiliikenteen harjoittaminen alkoi syksyllä 2019.

2.1 Liiketoimintasuunnitelman esittely

Yrityksen tarkoituksena on tuoda markkinoille taksipalvelu, joka jopa 100 %:n varmuudella kulkee ympäristöystävällisemmin sähköllä ja mahdollisesti myös etanolilla. E-TAXI siis takuulla vihreämpi vaihtoehto, mikäli tarvitsee taksipalvelua. Tuotot pyritään käyttämään ympäristötekniikan, kestävän liikenteen ja puhtaamman kaupunkiympäristön kehittämiseen.

E-brändi sisältää muun muassa sähkön ja bioetanolin käytön voimanlähteenä, ja on näkyvä merkki, jolla se erottuu muista takseista. Mikäli biopolttoaineet jostain syystä todetaan huonoksi vaihtoehdoksi, on ne mahdollista jättää pois yrityksen liiketoimintasuunnitelmaa tai imagoa suuresti muuttamatta. Pääajatus yrityksen takana oli tuoda kaupunkiin taksipalvelu, joka on kilpailukykyinen vähäpäästöisyydellään, hinnoittelullaan sekä mahdollisesti ja toivon mukaan henkilökunnan asenteella ja tietotaidolla.

Yritys voisi tarjota pelkästään sähkötaksipalvelua, mutta se otti etanolin sähkön ohelle vaihtoehdoksi, sillä se mahdollistaa muun muassa pidempien matkojen ajamisen ja sopii nimensä puolesta E-brändin alle. Polttomoottorissa voi myös olla talvisin etuja, joihin palataan myöhemmässä vaiheessa. Polttoaineita ei ole muutenkaan tarkoitus mustamaalata täysin, sillä eletään ajoneuvojen ja energia-alan murrosta, joka ottaa väkisin aikansa. Vanhoista ajoneuvoista ei ole tämän takia tarkoituksenmukaista luopua, vaan voi olla jopa ekologisempaa ajaa ne loppuun. Bensiini- tai dieselkäyttöisestä ajoneuvosta voi ennemmin tehdä ekologisemman muuntamalla sen kulkemaan uusiutuvilla biopolttoaineilla kuin ajaa sen suoraan romuttamoon.

Tarkoituksena on keskittää liiketoiminta kaupunki-alueille, missä ilmanlaadussa on eniten parantamisen varaa. Ilmansaasteet voivat terveystriskin ja kasvihuoneilmiön lisäksi heikentää merkittävästi ihmisten älykkyyttä (Xin Zhang, 2018). Sähköautot parantavat paikallista ilmanlaatua siinä mielessä, että ne eivät tuota suoria päästöjä ajon aikana. Ainoat suorat päästöt syntyvät kuluvista renkaista, kuluvesta tienpinnasta sekä ilmavirran nostattamasta tiepölystä. Biopolttoaineiden pakokaasujen on väitetty olevan paljon puhtaampia. Mitään ei kuitenkaan kannata uskoa varmaksi, sillä kuten tutkimuksetkin ovat osoittaneet, niin tutkimukset eivät aina pidä paikkaansa. Sitä paitsi yritykset voivat hyvinkin pönkittää omaa imagoaan ja tuotettaan, kuten juuri tälläkin hetkellä saattaa tapahtua.

Vaikka yrityksen hinnoittelu on noin 20–50 % edullisempaa kuin kilpailijoilla, on sen silti todettu olevan tähän mennessä kannattavaa. Liiallisella hinnoittelulla voidaan kuvitella rahoitettavan muun muassa turhia laitteita, markkinointia ja muuta ylimääräistä sekä tietysti ilmastonmuutosta aiheuttavia fossiilisia polttoaineita.

2.2 Tavoitteet

Yrityksen tavoitteena on tuoda uutta liikennetekniikkaa yleisön esille ja lisätä ihmisten tietoisuutta ja kokemuksia niin sähköautoista kuin myöskin biopolttoaineista. Lisäksi pyritään ohjaamaan kuluttajien euroja kestävämmän tekniikan edistämiseksi. Käyttämällä sähkö- ja biopolttoaineajoneuvoja saadaan toivottavasti aikaiseksi myös parannusta tarjonnassa. Biopolttoaineita ei myydä monessakaan paikkaa, jos kuluttajat eivät niitä osta, ja sähköauton latauspaikkoja ei rakenneta, ellei niille ole kysyntää. Etanoli- tai sähköautojen määrän kasvussa ei olisi periaatteen tasolla ongelmaa, sillä sähköautoja Suomeen mahtuisi ainakin miljoona (Sähkötieto ry, 2019) ja bioetanolia pystyttäisiin tuottamaan paljon nykyistä enemmän (Stepone Tech Oy).

Yrityksen avulla pyritään vähentämään polttomoottoriajoneuvojen määrää kaupungissa, ainakin asukastiheyteen nähden. Yritys voisi aikaansaada hinnoittelullaan, toimivuudellaan, käytännönläheisyydellään ja yleisellä kannustavuudella yhä suuremman osan kaupunkilaisista luopumaan omasta autosta. Yritys pyrkii kannustamaan liikkumaan jalan, pyörällä, linja-autolla tai taksilla niin, että omasta autosta luopuminen toisi todennäköisesti vain taloudellisia hyötyjä autosta luopuvalle.

Nyt kolmen kuukauden taksiajon jälkeen voi sanoa, että vain murto-osalle asiakkaista sähköautot ovat tuttuja tai ovat aiemmin olleet sellaisen kyydissä. Vielä harvempaa oikeastaan kiinnostaa taksimatkan hinta ja/tai ekologisuus. Enemmistöä kiinnostaa vain se, että pääsee paikasta A paikkaan B. Tulevaisuudessa tilanne voi olla toinen. Ympäristöahdistus on kasvava trendi. Jokaisella pitäisi olla etukäteen mahdollisuus valita, millä tavalla liikkuu ja tukeeko käytetty kyyti fossiilisia polttoaineita vai ei. Tavoitteena on olla voitollinen ja toimiva yritys viimeistään, jos ja kun ihmisiä alkaa enemmän kiinnostaa. Pyrkimyksenä on myös muun muassa tukea Turun tavoitetta olla hiilineutraali vuoteen 2029 mennessä. (Uusiolämpöseminaari 2019)

Yrityksen tavoitteena on rakentaa omia uusiutuvilla energiamuodoilla toimivia latausjärjestelmiä, jotta sähkö olisi varmasti ilmastoystävällistä, päästötöntä, paikallista ja todella alkuperätodennettua. Verkkosähkö voi olla kiistanalasta. Vaikka ostaa niin sanottua ”100 % vihreää” verkkosähköä, niin se ei välttämättä sovi kaikkien moraaliin. Vesi- ja tuulivoima ovat auringosta peräisin olevia uusiutuvia energianlähteitä, mutta niiden valjastus voi haitata ekosysteemejä. Ydinvoima on fossiilitonta ja hiilidioksidipäästötöntä, mutta kyseenalainen ydinjätteen vuoksi. Vielä ei ole edes keksitty täysin varmaa ja turvallista tapaa varastoida ydinjäte, jolloin sen voisi kuvitella olevan aikapommi tuleville sukupolville. Lisäksi ydinvoimalaitosten piipusta nousevan savun sanotaan olevan vain vesihöyryä, mutta itse asiassa sekin on kasvihuonekaasu (Ilmasto-opas). Yrityksellä on tahto keskittyä aurinkoenergian itsenäiseen tuotantoon ja käyttöön myös siksi, että usein näkee paneeleita laitettavan epäloogisiin ja varjostuneisiin paikkoihin.

3 AIHEESEEN LIITTYVÄ TEORIA

Tämä kappale sisältää laajasti aiheeseen liittyvää teoriaa aurinkoenergiasta, akkuteknologiasta, sähköautoista, biopolttoaineista sekä liikenteestä ylipäänsä.

3.1 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on kasvava uusiutuvan energian muoto. Aurinkoenergia on peräisin Auringon sisällä tapahtuvasta vedyn ydinfuusiosta, jonka sähkömagneettinen säteily matkaa Maahan noin 150 miljoonan kilometrin matkan. (Tahkokorpi, M. 2014)

Maahan osuu vuosittain arvioiden mukaan auringonsäteilyenergiaa noin $1,7 \times 10^{14}$ kW, joka on 10 000 kertainen määrä ihmisten vuotuisesta energian kulutuksesta vuoden 2008 tiedoilla. Laskelmien mukaan pelkästään 800 x 800 kilometrin kokoinen alue, eli noin 7 % Saharan aavikon pinta-alasta, riittäisi tuottamaan ihmisten vuosittain käyttämän energiamäärän aurinkoenergialla. (Mertens, K. 2014; Tahkokorpi 2016)

Geotermistä energiaa, ydinvoimaa ja vuorovettä lukuunottamatta kaikki Maan energia-varat ovat käytännössä peräisin Auringon energiasta, jopa fossiiliset polttoaineet. Ne ovat miljoonien vuosien aikana tiivistyneet ja varastoituneet maan uumeniin valtaviksi hiilivarastoiksi. Työssä keskitytään aurinkoenergiaan juuri siksi, että sen hyödyntäminen ei tuota järjestelmän valmistusta ja asennusta lukuun ottamatta melua tai muitakaan päästöjä. Siinä ei ole liikkuvia osia eikä öljyä kuten muissa energiantuotantotavoissa, joissa pyörivien turbiinien avulla tuotetaan sähköä. Vesi- ja tuulivoima voivat haitata ekosysteemeitä esimerkiksi tuottamalla melua tai muovaamalla elinympäristöjä. Varsinkin tuulivoima joutuukin nykyään usein kritiikin kohteeksi. Viimeksi tuulivoimassa uutisoitiin käytettävän sähkökomponenttien eristeenä rikkihexasfluoridikaasua, SF₆. Sen väitettiin olevan 23 500 kertaa pahempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidin. Mikäli jossain tekniikassa käytetään kaasuja, tuppaaavat ne helposti jossain kiertokulunsa vaiheessa vuotamaan ilmakehään, joko tuotantoprosessissa, laitteen käytön aikana tai kierrätysprosessissa. (Ojaniemi, J. 2019; Mertens, K. 2014; Tahkokorpi, M. 2016)

3.1.1 Aurinkopaneeli

Tyypillinen aurinkopaneeli, jota myös aurinkomoduuliksi kutsutaan, koostuu aurinkokennoista, jotka toisiinsa sarjaan kytkettynä muodostavat aurinkopaneelin. Yhdelle paneelille saadaan yleensä 200-330 piikkiwatin nimellisteho. Sarjakytkenällä kasvatetaan jännitettä pitämällä virta matalana. Myös paneelit liitetään tyypillisesti paneeliketjuihin sarjakytkenällä. Tällä minimoidaan johtohäviöt. Virran ollessa pieni ei tarvita paksuja kaapeleita.

Aurinkopaneelin hyötysuhde määritetään alla olevalla kaavalla, eli paneelin nimellisteho jaettuna paneelin pinta-alalla ja standardiolosuhteiden säteilymäärällä ($1\,000\text{ W/m}^2$). Tyypillisesti paras kaupallinen paneeli pääsee 20 %:n hyötysuhteeseen. Eli 20 % aurinгон säteilyenergiasta kyetään muuttamaan käytännölliseksi sähkövirraksi. Esimerkkilaskussa on 300 wattipiikin ja 1,65 neliömetrin aurinkopaneeli.

$$300\text{ W}_p \div \left(1,65\text{ m}^2 \times 1\,000\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \approx 18\%$$

Kaava 1. Aurinkopaneelin hyötysuhteen laskeminen (Tahkokorpi, M. 2016).

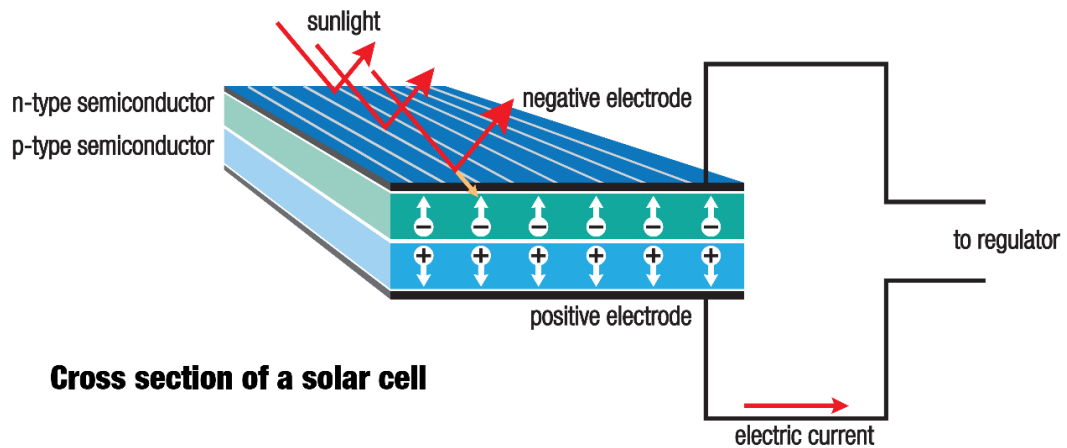
Aurinkopaneeli tuottaa tasavirtaa (DC), joka usein invertterillä eli vaihtosuuntaajalla, muunnetaan vaihtovirraksi (AC). Syy vaihtovirran käyttöön on se, että monet laitteet on suunniteltu ottamaan vastaan vaihtovirtaa. Vaihtovirta lisäksi minimoii sähkön siirtohäviöitä, ja ylimääräistä vaihtovirraksi muunnettua aurinkoenergiaa voidaan siirtää ja myydä sähköverkkoon. Invertterin käyttö tietysti tuottaa häviöitä, jotka ovat luokkaa 2-5 %, eli suhteellisen pieniä. (Pearsall, N.M. 2017)

Invertterit säätävät myös paneeliketjujen virta-jännitekäyrää jokaiseen olosuhteeseen optimaaliselle tasolle. Tätä toimintoa kutsutaan nimellä maximum power point tracking (MPPT). Siirrettäessä aurinkoenergiaa sähköverkkoon täytyy invertterin joko laskea tai nostaa paneeleilta tulevaa jännitettä riippuen, onko paneeliketjujen jännite korkeampi vai alhaisempi kuin yleisen verkon jännite. (Myrzik & Calais, 2003)

Aurinkopaneelin kennot ovat ohuita levyjä, jotka koostuvat jostain puolijohhteesta sekä virtaa kuljettavista johtimista. Pii on yleisin aurinkopaneeleissa käytetty puolijohde, ja piikidekennot dominoivat tällä hetkellä aurinkokennoalaa. Pii (Si) on yksi yleisimmistä alkuaineista maapallolla, ja sitä saadaan erotettua esimerkiksi hiekan piiksidista (SiO_2).

Piin eri muotojen lisäksi aurinkokennojen valmistukseen voidaan käyttää muun muassa kadmiumtelluuria (CdTe) tai kadmiumsulfidia (CdS). (Mertens, K. 2014)

Piikennon ominaisuuksia muokataan ”douppaamalla” kennon toinen puoli esimerkiksi boorilla ja toinen puoli fosforilla. Boorin lisäys muodostaa kennoon positiivisen varauksen (p-doping) ja fosforin lisäys muodostaa kennoon negatiivisen varauksen (n-doping). (Mertens, K. 2014)



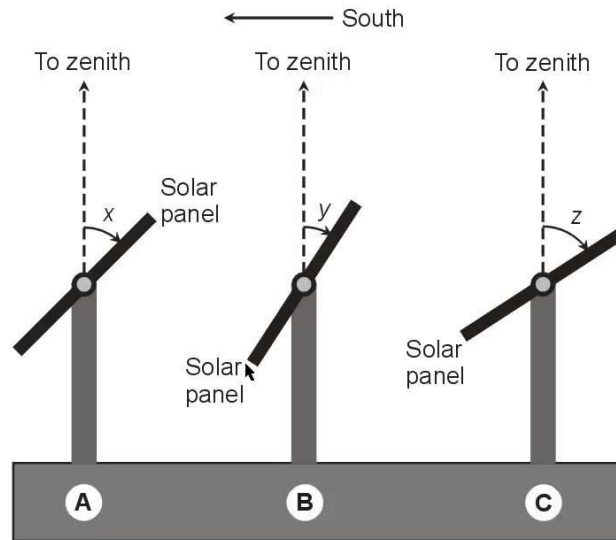
Kuva 1. Aurinkokennon toimintaperiaate. (Visual capitalist 2017)

3.1.2 Paneelien energiantuottoon vaikuttavat asiat

Hyötysuhteeseen ja paneelien energiantuottoon vaikuttaa monikin asia. Siinä mielessä on syytä olla tarkkana asettelussa, jotta saataisiin maksimaalinen teho paneeleista irti, ettei niiden tuotantopotentiaali mene hukkaan.

Aurinkopaneeli suositellaan yleisesti laittaa osoittamaan kohti etelää parhaimman tuoton perässä. Paneelien optimaaliseen suuntakulmaan (atsimuuttikulma, englanniksi at-zimuth) saattaa vaikuttaa esimerkiksi energian tarpeen kellonaika, eli tarvitaanko energiaa enemmän aamulla, päivällä, vai illalla. Paikallinen aamu- tai iltapilvisyys kannattaa ottaa huomioon, esimerkiksi rannikkoalueilla kylmän vesimassan päällä saattaa olla ke-säisin harvemmin pilvistä kuin lämpimän puolella. Myös paneelin kallistuskulmalla voidaan vaikuttaa paljonkin energiantuottoon. Optimaalinen paneelin asennus riippuu energiantarpeesta sekä tiedossa olevista varjostuksista. (Tahkokorpi, M. 2016)

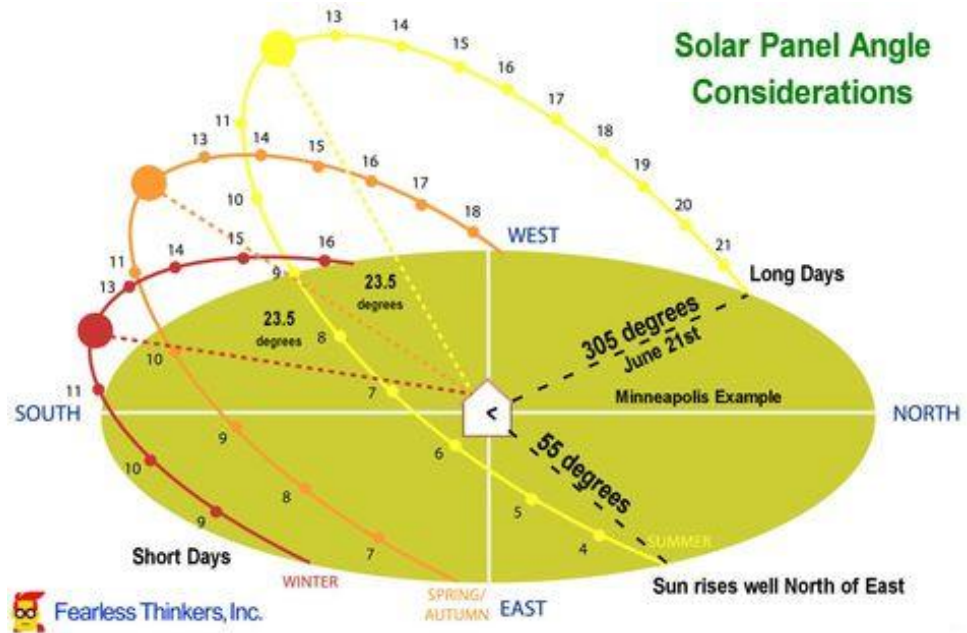
Keskimäärin paras kallistuskulma (maahan nähden) saadaan laskemalla leveyspiirin asteet $- 20$. Kuvassa 2 paneelin kulma on esitetty suhteessa pinnan normaaliin, eikä maantasoon nähden. Tässä tapauksessa optimaalinen kulma voidaan laskea $90 - \text{leveysasteet}$. (Tahkokorpi; YouTube - Stan Gibilisco)



Kuva 2. Paneelin kulma. A optimaalinen kulma ympäri vuoden. B optimaalinen kulma talvella. C optimaalinen kulma kesällä. (YouTube - Stan Gibilisco)

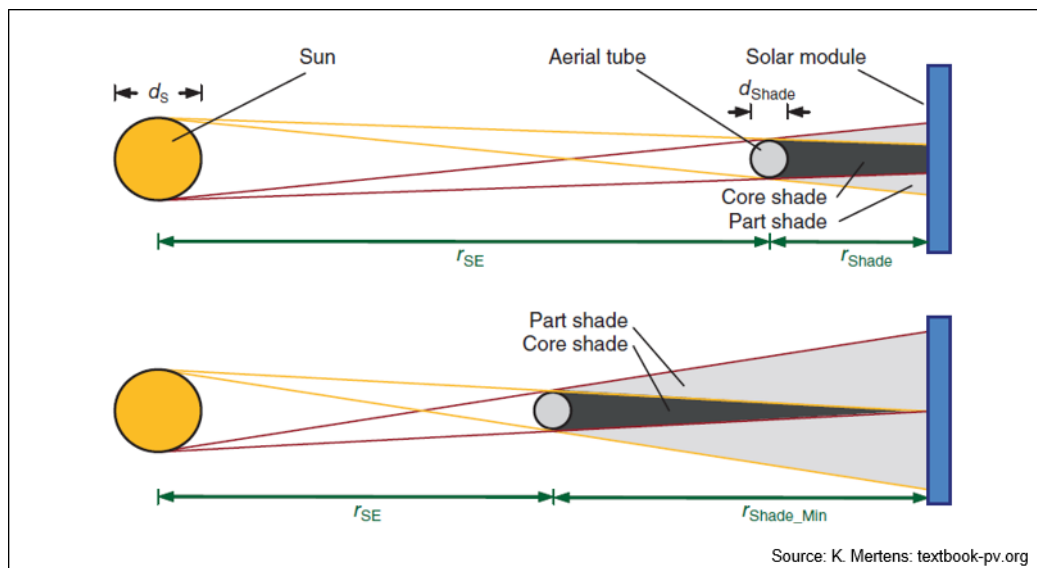
Suomi ylettyy etelästä leveyspiiriltä 60 pohjoiseen leveyspiirille 70. Keskimäärin koko Suomen alueella sanotaan tuottoisimman kiinteän kulman olevan 45 astetta (kuvan 2 A-paneeli). Eteläisessä Suomessa loivempi kulma (esimerkiksi 40 astetta tai alle) toimii paremmin, kun taas pohjoisessa paremmin toimii jyrkempi kulma (esimerkiksi suurempi kuin 50 astetta).

Mikäli tuotto halutaan maksimoida esimerkiksi kesällä, on loiva kulma (kuvan 2 C-paneeli) parempi, sillä aurinko paistaa korkeammalta. Korkeimmillaan kesäkuussa Turun ja Helsingin leveysasteilla aurinko paistaa noin 52 asteen korkeudelta, ja nousee ja laskee koillinen-luode akselilta. Pohjoiseenkin suunnatut paneelit tuottavat virtaa Suomen kesällä johtuen hajasäteilystä ja siitä, että aurinko paistaa kesäisin lähes pohjoisesta. Talvella jyrkkä kulma (kuvan 2 B-paneeli) toimii paremmin, sillä aurinko nousee ja laskee kaakko-lounas akselilta ja paistaa Turun ja Helsingin leveyspiireillä joulukuussa vain reilu 6 asteen korkeudelta. Lisäksi jyrkkä kulma ehkäisee lumen tai muiden epäpuhtauksien tarttumista paneelin pintaan. (Tahkokorpi, M. 2014)



Kuva 3. Auringon liike vuodenaikasta riippuen. (Pinterest.com, fearlessthinkers – YouTube)

Auringon kulkureitti on jokaiselle leveyspiirille ominainen, ja se on hyvä ottaa huomioon suunnittelussa. Jokaisella leveyspiirillä voivat erilaiset ratkaisut toimia paremmin. Kuvan 3 esimerkki ei ole Suomesta, vaan lähempää leveyspiiriä 45.

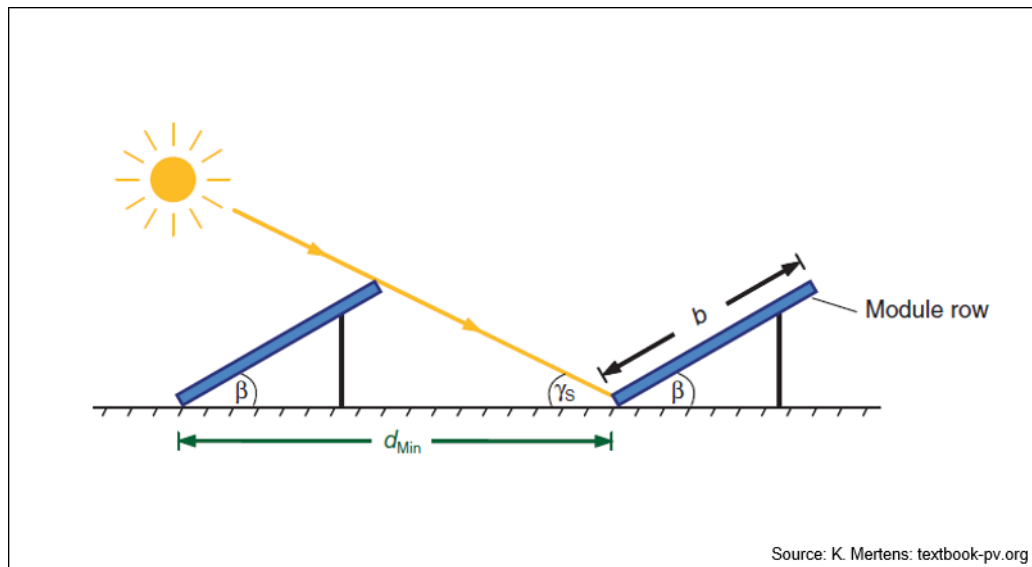


Kuva 4. Varjon muodostuminen. (Mertens, K. 2014)

Kuvassa 4 havainnollistetaan lähellä olevan esineen tuottaman voimakkaan varjon syntymistä. Voimakas pienikin varjo voi olla heikkoa laajaa varjoa huonompi paneelin

toimivuuden kannalta. Samoin jos paneelirivistössä yksi paneeli varjostuu, voi se heikentää koko rivistön tuottoa, ellei paneelia pystytä ohittamaan.

Mikäli paneelit asetetaan esimerkiksi tasakatolle rivistöön, tulee ottaa huomioon paneelien kulma, asento sekä etäisyys toisistaan. Tiiviisti olevia rivejä mahtuu paljon, mutta ne varjostavat toisiaan helposti. Samoin pystyssä olevia paneeleita mahtuu enemmän kuin vaakatasossa olevia, mutta ne varjostavat toisiaan helpommin.



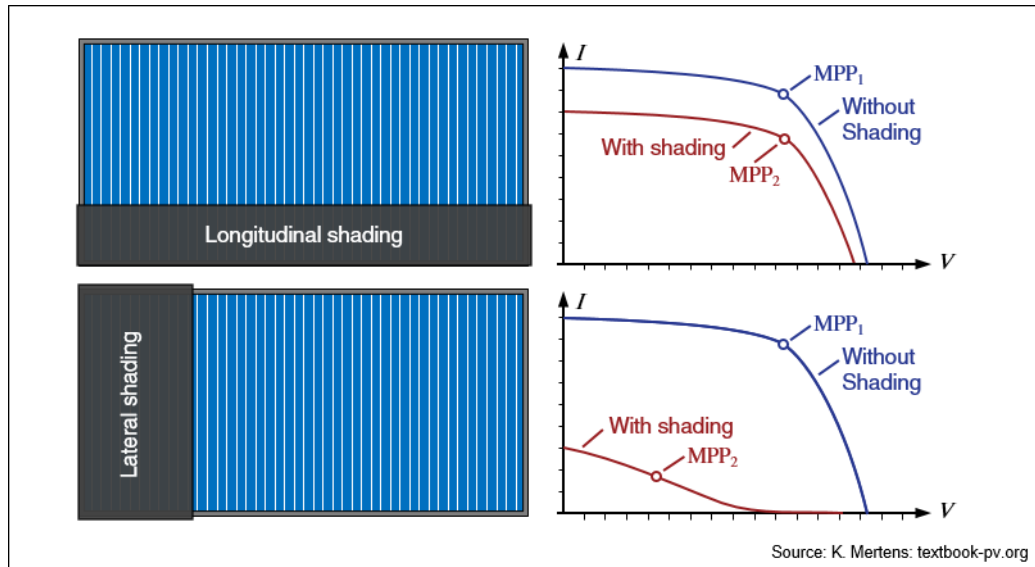
Kuva 5. Paneelirivistön itsevarjostus. (Mertens, K. 2014)

Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua tarvittava väli, ettei edessä oleva paneelirivi varjosta takana olevia paneeleita, tietyllä auringon korkeudella. Muuttujat on selitetty kuvassa 5.

$$d_{min} = b \times \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin \gamma_s}$$

Kaava 2. Paneelirivistön etäisyyden laskeminen (Mertens, K. 2014).

Voimakkaita ja paneelin kannalta sivuttaissuuntaisia (Lateral shading) varjoja kannattaa välttää. Tämä on merkittävä asia ottaessa huomioon varjostuksia. Sen mukaan, millaiset varjot on ennestään tiedossa, kannattaa pohtia, asennetaanko paneelit pysty- vai vaakasentoon. Tämä ei kuitenkaan välttämättä päde kaikkiin aurinkopaneeleihin, sillä se riippuu täysin aurinkopaneelin sisäisestä rakenteesta eli kennojen muodosta ja kytkennästä sekä esimerkiksi ohitusdioidien määrästä. (Mertens, K. 2014)



Kuva 6. Aurinkopaneelin varjostus. Eri suuntaisten varjostuksen vaikutukset. (Mertens, K. 2014)

Paneelin asentamisessa huomioon otettava asia on myös paneelin tuulettuminen. Paneelin hyötysuhde laskee, mikäli lämpö pääsee kasvamaan liian suureksi. Huonosti tuuletettu asennus saattaa vähentää vuosituottoa jopa -5 %. (Tahkokorpi, M. 2016)

Aurinkopaneelit on mahdollista asentaa seuraamaan auringon liikkeitä, joko 1- tai 2-akselisella seurantalaitteella. Tällöin paneelilla olisi aina optimaalinen kulma auringon liikkeisiin nähden, ja teoreettinen tuoton kasvu olisi kesällä mahdollisesti jopa 60 %. Pilvisessä ilmastossa, jolloin hajasäteilyn määrä on suuri, seuraava järjestelmä pienentää paneelin tuottoa jonkin verran. Pilvettömällä säällä se suurentaa tuottoa selvästi. Suomessa hajasäteilyn osuus on suuri, joten Suomessa kahden akselin seurannalla saavutettaisiin Tahkokorven mukaan käytännössä noin 30-35 % lisäys vuosituotantoon. Huomioon otettavaa on, että samalla hinnalla voisi mahdollisesti lisätä paneelien määrää, ja välttää tuomasta energiaa kuluttavia komponentteja sekä liikkuvia ja vikaherkkiä osia järjestelmään. (Tahkokorpi M. 2016; Mertens, K. 2014)

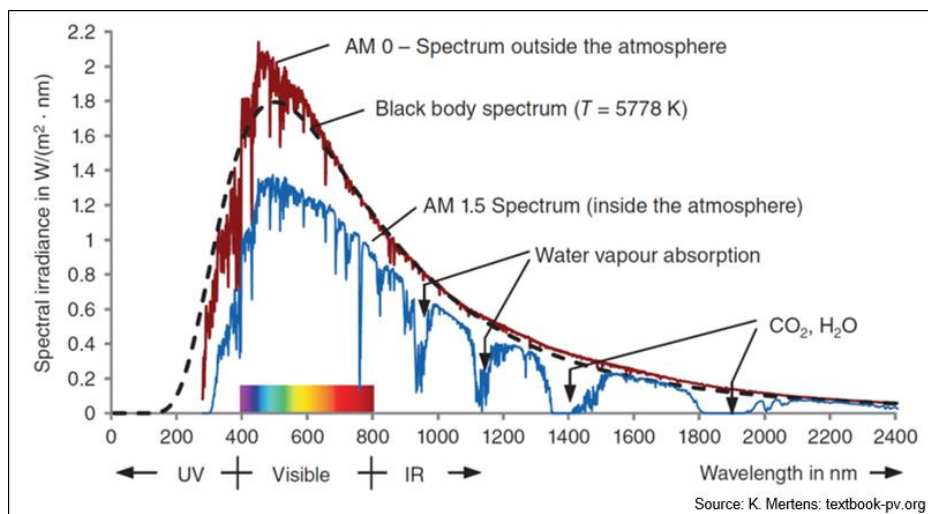
3.1.3 Erilaiset aurinkoenergian hyödyntämisteknologiat

Kappaleessa on maininta erilaisista paneelityypeistä tai muista teknologioista aurinkoenergian hyödyntämiseen. Aiheisiin ei paneuduta laajasti, eikä tässä luultavasti ole edes lueteltu kaikkia mahdollisia tai kehitteillä olevia tekniikoita.

Aurinkoa voidaan hyödyntää muutenkin kuin pelkästään sähkön tuotantoon. Tekniikkaa, jossa auringosta otetaan lämpöenergiaa talteen, kutsutaan tyypillisesti aurinkoke-räimeksi. Niitä on ollut pitkään markkinoilla ja käytetty muun muassa käyttöveden läm-mittämiseen. (Tahkokorpi, M. 2016)

Bifacial, eli kaksipuolinen aurinkopaneeli on saman tyylinen kuin tavallinen aurinkopa-neeli, mutta ilman takalevyä. Tämä mahdollistaa auringon säteilyenergian keräämisen myös paneelin takapuolelta, mikä parantaa paneelin koko hyötysuhdetta. Esimerkiksi hajasäteilyn, heijastukset tai kesäisin lähes pohjoisesta nousevan auringon voi ottaa huomioon kaksipuolisilla aurinkopaneeleilla. (Mertens, K. 2014)

Aurinkoenergiaa pystytään hyödyntämään myös läpinäkyvistä ikkunoista tietyllä tekniik-kalla. Tämän idea on kerätä auringosta muu kuin näkyvän valon spektri, eli infrapuna ja ultraviolettisäteily. Tämä tekniikka on hyötysuhteeltaan huonompi kuin tyypillinen aurin-kopaneeli, mutta käyttökohteet ovat laajemmat. (Solar window; YouTube - Richard Lunt)



Kuva 7. Auringonvalosta on hyödynnettävissä muukin, kuin näkyvän valon spektri. (Mer-tens, K 2014)

IBC-kennotekniikan on ennustettu kasvavan. Kun tyypillisen nykypäivän aurinkopaneelin hyötysuhde on 20 %:n luokkaa, IBC-kennon hyötysuhteeksi väitetään myös 20 % tai yli. Hyötysuhdetta parantaa se, ettei kennon päällä ole virtaa kuljettavia johtimia. Käyttökoh-teet olisivat myös laajemmat kuin tyypillisen piikidekennon. (Valoe Oy; Researchgate)

Ohutkennopaneeli eroaa piikidekennoista muun muassa varjostuksen sietokyvyn joh-dosta. Yksittäiset kennot ohuita ja pitkiä, jolloin ne ovat yleensä vain osittain varjossa.

Se kestää lämpötilojakin paremmin, esimerkiksi 50 asteen lämpötilassa tulee vain -6,25 % tehoalenema. (Mertens, K. 2014; Tahkokorpi, M. 2016)

Grätzel-kemno on suhteessa helppo valmistaa ja siihen tarvittavat materiaalit ovat halpoja. Hyötysuhde on 10 %:n luokkaa. (Mertens, K. 2014; Tahkokorpi M. 2016)

Orgaanista kemnoa on tutkittu ja yritetty kehittää jo kauan. Siinä käytettäisiin polymeerejä puolijohteiden tilalla. Sillä olisi potentiaalia tulevaisuudessa tuottaa halvemmalla aurinkoenergiaa. Tyypillisesti hyötysuhde on luokkaa 7 %, ennätys laboratorio-olosuhteissa 10,7 %. (Mertens, K. 2014)

3.2 Miten sähköautot ovat polttomoottoriautoja parempi vaihtoehto?

Sähköautot ovat yleistymässä kovaa vauhtia polttomoottoriautojen rinnalle. Tälle on syynsä, sillä sähköautoissa on paljon hyötyjä niiden tämän hetkisiin haittoihin nähden. Olennaisin asia sähköautojen ekologisuudessa on, että autoilun muuttuminen sähköiseksi pienentää yhteiskunnan kokonaisenergiankulutusta. Vaikka sähkö tuotettaisiin fossiililla polttoaineilla, niin suuressa kiinteässä voimalaitoksessa voidaan palokaasut käsitellä ja hukkalämpö ottaa talteen tehokkaammin kuin pienessä polttomoottorissa. Myös esimerkiksi Tesla Motorsin toimitusjohtaja Elon Musk väittää sähköautojensa tuottavan 50 % vähemmän päästöjä kuin bensa-auto, vaikka sähköenergia olisi tuotettu hiilivoimalaitoksella. Muskin mukaan myös ilmakehiä on maapallolla vain yksi, jonka takia sillä ei tulisi pelata Venäläistä rulettia. (Elon Musk; Sähkötieto ry)

Sähköauton teknisesti suurin etu on parempi hyötysuhde. Polttomoottorin hyötysuhde on 20-25 %, kun taas sähkömoottorin 50-80 % (Sähkötieto ry). Polttomoottorissa suuri osa energiasta muuttuu lämmöksi. Tästä tosin on etua talvella, sillä moottorin hukkalämpöä voidaan tällöin käyttää hyödyksi auton sisätilojen lämmittämiseen. Sähköautossa on erikseen sähkövastus, jolla tuotetaan lämpöä sisätiloihin. Sähköauto yleensä kuluttaa maantienopeudessa enemmän kuin kaupunkiajossa, päinvastoin kuin polttomoottoriautot. Tästä syystä sähköautot sopivat varsinkin kaupunkiolosuhteisiin. (Wilberforce ym. 2017)

Liikkuvien osien määrässä on huomattava ero sähkö- ja polttomoottoriautojen välillä. Kyseinen ominaisuus on suoraan verrattavissa huollettavuuden määrään ja on myös osa syynä sähköauton parempaan hyötysuhteeseen, kun häviöitä ei synny esimerkiksi

kytkimestä tai vaihdelaatikosta. Vahvistamattoman väitteen mukaan, jos polttomoottori-autossa on 2000 liikkuvaa osaa, niin sähköautossa liikkuvia osia on vain 200.

Sähköautojen ekologisuus riippuu paljon myös tuotetun sähkön ekologisuudesta, joka vaihtelee maiden välillä runsaastikin. Suomessa sähköautot ovat käytännössä kiistaton ekoteko, koska Suomessa kulutettu sähkö on tuotettu pääasiassa vähäpäästöisillä tavoilla. Suomessa tuotettu sähkö sisältää vain noin 15 % fossiilisia polttoaineita (vuoden 2018 tiedoilla). Lämpö- ja sähköenergiaa tuottavissa yhteistuotantolaitoksissa energiasta hyödynnetään noin 90 %, kun taas polttomoottorin hyötysuhde oli aiemmin mainittu 20-25 %. Lisäksi Suomen sähkönjakeluinfrastruktuuri on hyvässä kunnossa ja kestäisi huoletta ainakin miljoona sähköautoa. Paikalliset pullonkaulat olisi ratkaistavissa esimerkiksi päivittämällä verkon paikallinen jakelumuuntaja kokoa suuremmaksi. (Sähkötieto ry; Energiateollisuus)

Sähköauton päästöt syntyvät pääosin auton valmistuksesta. Tämä johtuu pääasiassa auton massasta, sillä akut ovat painavia. Sähköauto onkin vastaavaa polttomoottoriautoa 300-400 kg painavampi. Sähköauton elinkaaripäästöt ovat niin pienet, että sähköauto maksaa itsensä takaisin päästömielessä jo muutamien vuosien kuluttua. (Sähkötieto ry)

Sähköautojen turvallisuuteen liittyen pohja-akku antaa tukea puristuksissa, esimerkiksi sivuttaissuunnassa. Etumootorin kohdalla voi olla myös paljon tilaa ottaa suoraa törmäystä vastaan, ilman että perinteinen edessä sijaitseva polttomoottori tulee matkustajien syliin. (Learn Engineering)

Vaikka sähköautot ovat tällä hetkellä vielä kalliita, voi sijoitus itsensä takaisin 5-10 vuodessa. "Polttoainekulut" eli sähkökulut sadalla kilometrillä ovat noin 2 euroa. Ei

myöskään tarvita jakoremmin tai öljyn vaihtoja, eivätkä jarrupalat kulu yhtä nopeasti (regenerative breaking takia). (Linja-aho, V. 2016)

Taulukko 1. Sähköautojen määrän kasvu Manner-Suomessa. (Autoalan tiedotuskeskus)

Vuosi	täyssähköautot	ladattavat hybridautot
2010	23	0
2011	56	0
2012	109	128
2013	169	296
2014	360	569
2015	614	973
2016	844	2 441
2017	1 449	5 719
2018	2 404	13 095

Päiväys: 2019-02-01 08:35

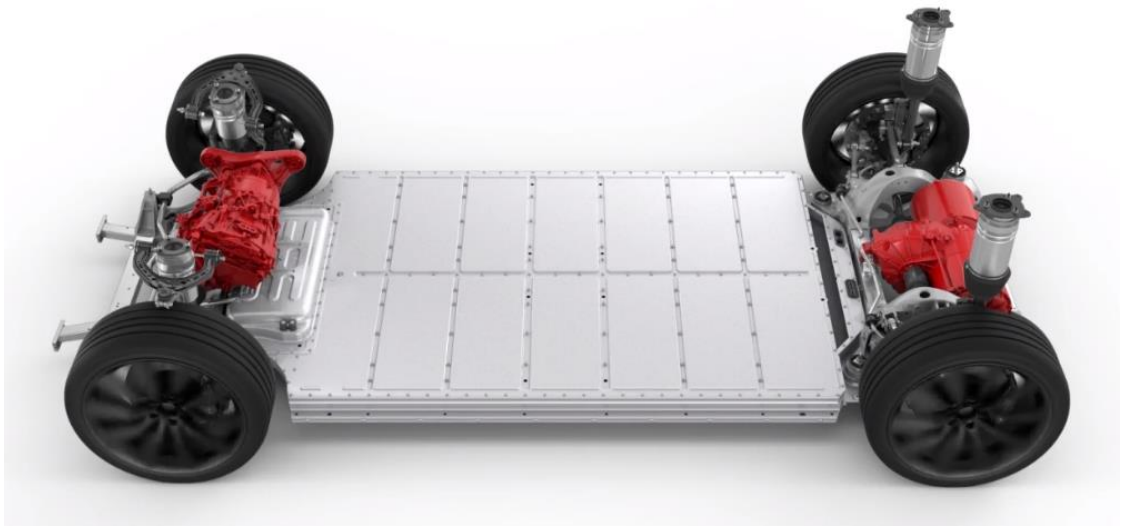
Lähde: Traficom

Taulukko 1 osoittaa sähköautojen määrän kasvun Manner-Suomessa vuoteen 2018 asti. Suosio on ollut selvässä kasvussa. Siihen vaikuttaa muun muassa sähköautojen tarjonnan kasvu, auton kantaman kasvu ja ostohinnan tuleminen alaspäin.

3.2.1 Sähköautojen toiminta yksinkertaistettuna

Täyssähköauto eroaa voimansiirrotaan polttomoottoriautoista. Liikkuvat osien määrä on huomattavasti pienempi kuin polttomoottoriautoissa. Sähköauton voimalinja sisältää vain akkupaketin, sähkömoottorin, invertterin, vetoakselin, veto- ja tasauspyörästön sekä mahdollisesti yksinkertaisen vaihdelaatikon. Tästä on etua hyötysuhteeseen, kun ei synny kytkimessä ynnä muissa komponenteissa niin paljon tehohäviöitä. Sähköautossa ei oikeastaan ole tarvetta vaihdelaatikon, peruutusvaihte saadaan pyörittämällä moottoria toiseen suuntaan. (Zhang ym. 2015; YouTube - Learn Engineering)

Energianlähteenä sähköautoissa on bensatankin sijaan suuri ajoakku. Yleensä akku sijoittuu auton pohjaan, joka laskee auton painopistettä huomattavasti parantaen ajo-ominaisuuksia polttomoottoriautoihin verrattuna. Akku vie tilaa ja korkeutta auton pohjasta, mutta toisaalta ei ole tarvetta muun muassa pakoputkelle, vaihdekepilille ja kardaniakselille, jonka takia selvästi huomattavaa eroa ei synny.



Kuva 8. Teslan alusta ja voimalinja. Tesla Model S. (Tesla 2019)

Kuvassa 8 on Teslan Performance-malli isommalla takamoottorilla. Kyseessä on nelive- toinen malli, etu- ja takamoottori on korostettu punaisella. Pohjassa näkyy Teslan akku- paketti.

Sähköautossa voi olla joko induktiomoottori, kestmagneettimoottori tai tasavirtamoot- tori. Moottoreita voi olla useampi kappale. Yleensä takaveroisissa autoissa on yksi moot- tori taka-akselilla, ja nelivetoisissa autoissa kaksi moottoria, yksi takana ja toinen edessä. Moottorin yhteydessä sijaitseva invertteri on ikään kuin sähköauton aivot. Se muuttaa akun DC-virran AC-virraksi vaihtovirtamoottoria varten.

Nopeutta säädetään invertterillä muuttamalla syötetyn virran ominaisuuksia. Sähköau- tossa on hyvä hyötysuhde ja vääntö kaikilla kierrosalueilla, jopa 0-18000 kierrosalueella (Tai alussa paras, ja laskee yläkierroksilla tietyn käyrän mukaan). Polttomootoriautoissa paras hyötysuhde ja vääntö on yleensä vain 2000-3000 kierrosalueella. Sähkömoottorin vaste esimerkiksi liukkailla keleillä ajonhallintaan on paljon nopeampi kuin polttomootto- rin.

Sähköautolla ajaessa puhutaan usein yhden pedaalin ajotavasta. Tällä viitataan siihen, että kun polttomoottoriajoneuvolla nostetaan jalka kaasulta ja vaihde on päällä, niin auto moottorijarruttaa. Sähköautossa on sama periaate, mutta se on paljon tehokkaampaa ja vastaa ikään kuin jarruttamista. Tämä toiminto muuntaa auton liike-energiaa moottorin avulla takaisin sähköenergiaksi, joka voidaan varastoida takaisin akkuun tietyllä hyöty- suhteella (englanniksi, Regenerative braking).

Sähköauton hyötysuhde latauspistorasialta moottorin akselille on parhaimmassa tapauksessa 77 % ja huonoimmillaankin elinkaaren loppupäässä olevalle akulle laskettuna 49 %. (Sähkötieto ry)

Taulukko 2. Sähköauton hyödyt ja haitat. (YouTube – Learn Engineering)

ADVANTAGES	DISADVANTAGES
High performance vehicles	Long charging time
High response	Low range
No noise	High cost
No pollution at vehicle level	
Lower maintenance & driving cost	
Highly safe	
Single speed transmission High torque & power	

3.2.2 Sähköautojen akut

Nykyaikaisissa täyssähköautoissa ja ladattavissa hybrideissä käytetään litiumpohjaisia ajoakkuja, koska niiden energiasäilytys suhteessa massaansa on paras markkinoilla. Näiden lisäksi sähköautoissa on perinteinen pieni 12 V akku. Ei-ladattavissa hybrideissä käytetään usein (NiMH) nikkelimetallihydridiakkua. Siinä on huonompi energiatiheys, mutta se on halvempi. Energiatiheydellä ei ole niin paljoa väliä, sillä kyseessä on pieni akku. Perinteisissä ei-ladattavissa hybrideissä on yleensä noin 1 kWh:n akku, ladattavissa hybrideissä noin 10 kWh:n akku ja nykyajan täyssähköautoissa 20-100 kWh:n akku. Akkuteknologia on kehittynyt huimasti vuosien saatossa ja todennäköisesti tulee kehittymään lisää. Akkukoot ovat kasvaneet valmistuskustannuksien pienentyessä. (Sähkötieto ry)

Pelkkä akkukoon kasvattaminen ei lisää sähköauton toimintamatkaa lineaarisesti, sillä se tuo ajoneuvolle lisää massaa, mikä lisää auton energiankulutusta. Akku on sähköautossa käytännössä painavin osa. Litiumakkukemioita on useita erilaisia, minkä lisäksi

jokaisella kennovalmistajalla on oma hienoviritetty reseptinsä akkukennojen ominaisuuksien optimoimiselle. (Sähkötieto ry)

Sähköauto kuluttaa energiaa noin 10-30 kWh per 100 kilometriä. Suuri osa autoista pääsee normaaliajossa alle 20 kWh / 100 km kulutukseen. (Sähkötieto ry)

Akuston kyky vastaanottaa latausta vaihtelee lämpötilan ja varauksen mukaan. Jos akusto on kylmä, se ei pysty ottamaan suurta tehoa vastaan ja osa energiasta kuluu akuston lämmittämiseen. Latausjakson pituuteen vaikuttaa akun kapasiteetti ja varaus-taso (SoC), akuston lämpötila ja käytettävissä oleva latausteho. Autossa akustonhallintajärjestelmä (BMS) määrittää, millaisella latausvirralla akustoa voidaan ladata aikajanelalla. Esimerkiksi lataustason ollessa noin 80 % alkaa lataus merkittävästi hidastua loppua kohden. Akkua ei yleensä ladatakaan täyteen ja pyretä täysin tyhjäksi, vaan akun lataaminen 10-90 % välillä onkin litiumakun eliniän kannalta paras. (Sähkötieto ry)

Litiumakut kestävät purkamista kylmänä, mutta kovalla pakkasella lataaminen voi vahingoittaa niitä. Tämän takia sähköautoissa on lämmitysjärjestelmä, joka mahdollistaa auton lataamisen ulkona pakkasessa. Lataus ei välttämättä kovilla pakkasilla käynnisty ollenkaan, jos käytettävissä on vain 8 A virtaa. Pienin mahdollinen DC-lataus ei pitäisi olla ongelma, kun taas AC-latauksessa minimi Sähkötieto ry:n mukaan on 6 A. Yrityksen Teslassa alhaisin säädettävissä oleva latausvirta Shucko-pistokkeesta on 5A, jolloin auton kantama kasvaa noin 4 kilometriä tunnin aikana. (Sähkötieto ry)

Akku vaatii toimiakseen ja kestääkseen peruslämmön. Kylmänä akku myös kuluttaa enemmän. Lataus siis kannattaisi ajoittaa niin, että se loppuu juuri ennen lähtöä varsinkin pakkasilla, jotta akussa olisi valmiiksi latauksesta syntynyt lämpö, eikä sitä tarvitsisi lämmittää uudestaan ajossa.

Suomen viileä ilmasto hidastaa akkujen kalenteri-ikäntymistä. Vanhentuneiden akkujen kokonaisvaraus tippuu, eli ne eivät lataudu täyteen, ja hyötysuhde laskee. Suomessa sähköauton akun eliniän on ilmoitettu olevan noin 200 000 – 300 000 km ja yli 10 vuotta. Käytännön elämässä on esimerkkejä 400 000 km ajetusta akusta, jonka kapasiteetista on hävinnyt alle 10 %. (Sähkötieto ry)

Akkujen kierrätysasteen väitetään usein olevan yli 90%. Mutta harvemmin kerrotaan mihin kierrätetty akkumateriaali käytetään, usein luullaan että niistä tehdään uusia akkuja. Akuissa käytetty litium muuttuu kierrätysprosessissa litiumoksidiksi, jota käytetään betoniteollisuudessa (Tagliaferri ym. 2016). Toisen lähteen mukaan taas litiumin

kierrätyksestä saadaan talteen vain noin prosentti (Härri, A. 2018). Akkujen kierrätyksestä olisi toki kiva olla enemmän tietoa ja selvyyttä.

Sähköautojen akuissa on myös omat vaaransa. Ajoakuista voi sopivissa olosuhteissa vapautua myrkyllisiä kaasuja. Minkäänlaisten palokaasujen hengittäminen ei ole terveellistä, mutta akustosta vapautuva fluorivety voi olla tappavaa jo pienehkönä annoksena. Mahdollisen akkupalon haasteena on sammutettavuus sekä se, että sopivissa olosuhteissa akku voi syttyä uudelleen itsestään, joten kolariautojen säilytyksessä tulee olla tarkkana. Palokuormaa ajatellessa sähköauto on polttomoottoriautoa turvallisempi, sillä akuston energiamäärä on vain murto-osa esimerkiksi täyden polttoainesäiliön energiamäärästä. Akku on kuitenkin usein sijoitettu alustaan niin, ettei palo helposti pääse leviämään sisätiloihin. (Sähkötieto ry)

Lisää sähköautoista ja niiden tekniikasta vuonna 2019 esimerkiksi Otto Aron opinnäytetyössä. (Theseus: Aro, O. 2019, Sähköauton ja sen voimalinjan kehitystilannekatsaus)

3.3 Miten biopolttoaineet ovat fossiilisia parempi vaihtoehto?

Biopolttoaineryitykset eivät ole helposti kiinnostuneita yhteistyöstä. Se voi johtua siitä, että fossiililla polttoaineilla tienaa yksinkertaisesti tänä päivänä paremmin.

Biopolttoaineet on valmistettu orgaanisesta materiaalista, kuten esimerkiksi jätteistä. Niissä saattaa olla fossiilisia polttoaineita lisäaineina. Esimerkiksi Neste väittää heidän tuottamallaan MY dieselillä olevan jopa 90 % pienempi hiilijalanjälki. Kaasuautoilijat väittävät kaasun olevan täysin puhdasta ja päästötöntä. Kaasuautoissa voidaan kuitenkin käyttää myös fossiilista maakaasua käyttövoimana. ST1 väittää bioetanolin vähentävän 80 % hiilidioksidipäästöjä. Ympäristövaikutus riippuu pitkälti tuotantotavoista. (Neste, ST1, Stepone Tech Oy, etanoliautoilijaksi.fi, ym.)

Sillä ei ole välttämättä niin suurta väliä pidemmällä mittakaavalla ajateltuna, mikä on hiilidioksidipäästöje määrä, vaan ennemminkin sillä miten paljon maasta kaivetaan hiiltä sekä öljyä ja niitä polttamalla tuoteataan fossiilisia hiilidioksidipäästöjä. Fossiiliset hiilidioksidipäästöt ovat peräisin siitä hiilestä, joka on maapallon "evoluution" seurauksesta vajonnut syvälle maaperään. Nykyään sitä hiiltä poltetaan osaksi ilmakehää. Vaikka fossiiliset hiilidioksidipäästöt sidottaisiinkin metsiin, tarkoittaa se sitä, että luonnon hiilitasapaino on muuttunut. Tämän on epäilty olevan syy ravinnon aliravitsevuudelle sekä on

myös potentiaalinen syy rehevöitymiselle merissä. Meret ovat noin 75 % maapallon pinta-alasta.

Hiilidioksidin sitominen metsiin pienentää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, mutta se mahdollistaa teoriassa sen, että esimerkiksi metsäpalojen yhteydessä vapautuu entistä enemmän hiilidioksidia kuin mitä aiemmin olisi ollut mahdollista. Hiilidioksidin muuttminen ihmisen toimesta takaisin kiinteäksi hiileksi ja sijoittaminen maaperään on kallista ja energiaa vievää. (Maalaisjärki ym.)

Bioetanoli polttoaineessa on käytetty fossiilisia polttoaineita lisäaineena. Tämä osuus on nimensä mukaisesti noin 15 % , ”E85” ja ”RE85”. E85 tarkoittaa etanolipolttoainetta joka sisältää 85 % etanolia ja loput tavallista bensiä. RE85 on ST1:n lanseeraama brändi ja tarkoittaa bioetanolia, jossa etanolin osuus on myös 85 %. Bioetanolia voidaan valmistaa monista orgaanisista tuotteista, esimerkiksi biojätteistä tai maatalouden sivutuotteista. (ST1)

Taulukko 1. Vertailu etanolin ja bensiinin kulutuksista, sekä etanolin kulutuksen fossiilisesta osuudesta.

Esim. E95 bensiinin kulutus (litraa)	Vastaava teoreettinen E85 kulutus (litraa)	Fossiilisen polttoaineen osuus E85:ssa (litraa)	Kulutetun fossiilisen polttoaineen osuus %
10	13	1,950	19,5
7	9,1	1,365	19,5
5	6,5	0,975	19,5

Taulukossa on otettu huomioon, että etanolin kulutus on 1,3 kertaa suurempi kuin bensiinin kulutus. Taulukko todistaa ST1:n väittämän ”80 % vähemmän hiilidioksidipäästöjä” todeksi ainakin sen osalta, että kulutettu RE85 polttoaine sisältää 80 % vähemmän fossiilista polttoainetta. Voi toki olla vain sattumaa, että pakoputkesta tulevien fossiilipäästöjen osuus (-80 %) on yhtä pieni kuin bioetanolin ilmoitettu hiilijalanjälki kokonaisuudessaan (-80 %). (ST1, etanoliautoilijaksi.fi, eFlexFuel)

Bioetanoli tai muut biopolttoaineet ylipäänsä eivät vaikuta olevan kuitenkaan ratkaisu ilmasto-ongelmiin, kuten ei tällä hetkellä sähköautotkaan, mutta ne voivat olla huima parannus nykyiseen. Oletettavasti ne ovat kuitenkin suunta kohti parempaa, puhtaampaa ja kestävämpää tulevaisuutta.

Esimerkiksi ST1 on valmistanut RE85:sta noin 10 vuotta. Sen kysyntä ja saatavuus ei ole ollut kovin suurta, joten vertailukelpoisia tuloksia ja kokemuksia pidemmältä mitta-kaavalta ei ole kovin helposti saatavilla. Tällä hetkellä on noin 55 RE85 myyvää asemaa, jonka lisäksi joillain ABC asemilla myydään omaa E85 polttoainetta. (ST1)

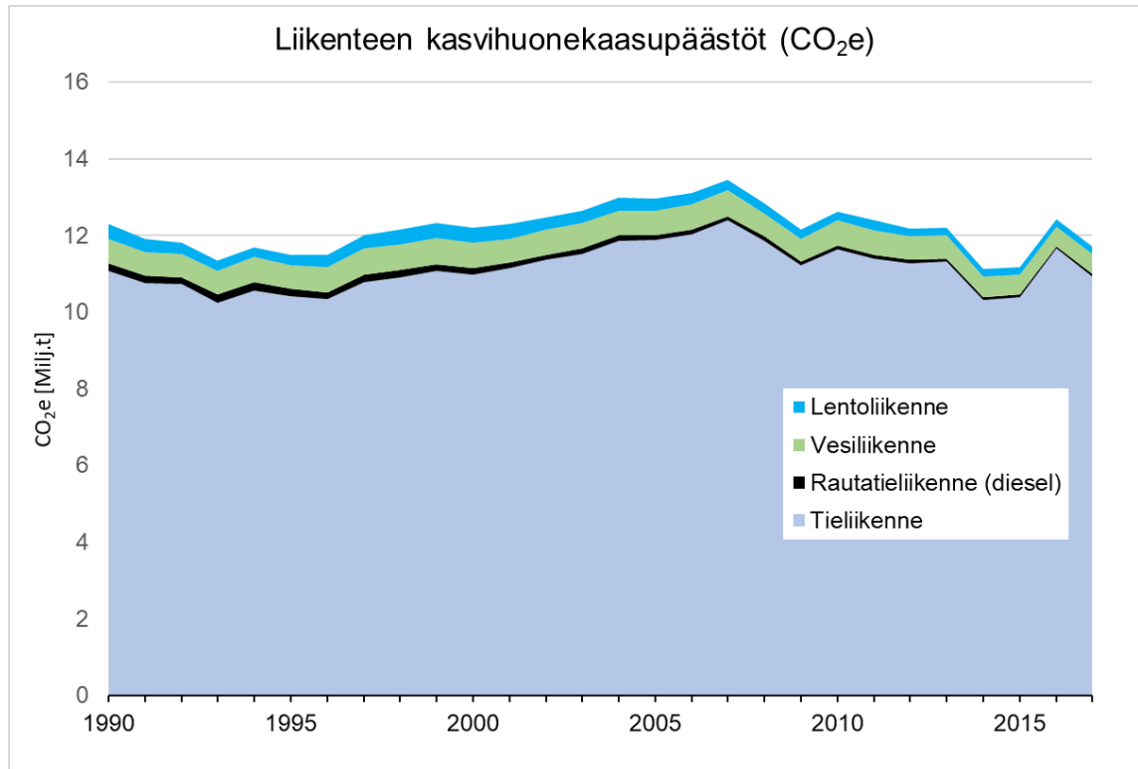
Etanoli sitoo itseensä vettä. Nykyisillä öljyputkistoilla ei pystyttäisi siirtämään etanolia, sillä putkistot sisältävät melkein aina jonkin verran vettä, jonka takia etanolista jouduttai-siin ottamaan vesi pois uudestaan kohteessa. Paikallistuotanto olisi ratkaisu tähän on-gelmaan. Tuottamisprosessi kuluttaa enemmän mitä se tuottaa etanolia energiamie-lessä, joka on kyllä täysin loogista. Tiedossa ei ole millä hyötysuhteella tämä prosessi tapahtuu ja mikä on sen ero esimerkiksi sähköntuotannon hyötysuhteeseen. Etanoli ei ole hiilineutraali polttoaine, ainakaan tänäpäivänä. (Presscott's microbiology)

Lisää etanolista henkilöautoissa esimerkiksi työssä Theseus: Vuohelainen Samu, 2015. Etanoli henkilöauton polttoaineena.

3.4 Liikenteen kehitys ja päästöt viime vuosikymmeninä

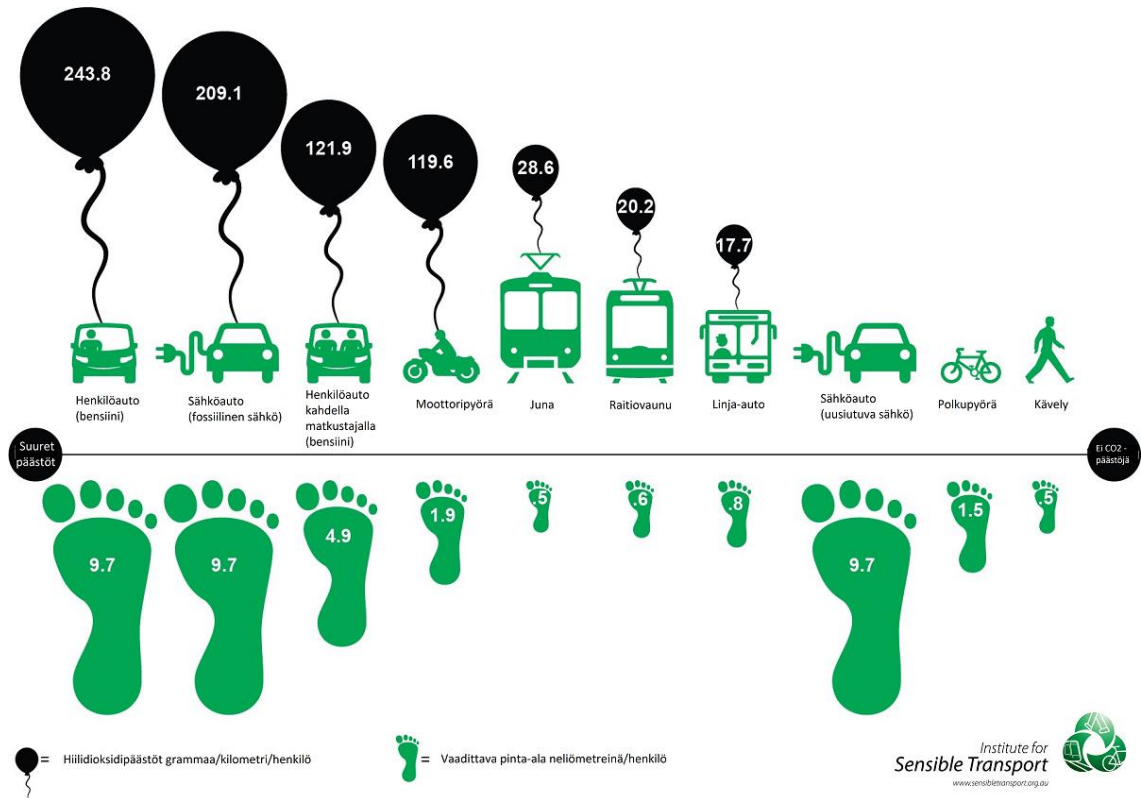
Kappaletta on rajattu roimasti, johtuen ajan puutteesta, sekä siitä, että haluttuja taulu-koita ja kuvioita oli huonosti saatavilla sähköisesti. Tämän lisäksi monet lähteet olivat jokseenkin epäselviä.

Jos tähän päivään saakka verotus on ollut viranomaisten mukaan ”tehokkain” keino lii-kennepäästöjen hillitsemiseksi, niin viimeistään nyt on keksittävä uusia toimintatapoja.



Kuva 9. Liikenteen kasvihuonekaasupäästöt. (Ilmasto opas)

Kuvassa 9 puhutaan liikenteen kasvihuonepäästöistä ilmeisesti pelkästään hiilidioksidin näkökulmasta. Ei ole selvää, mikä on fossiilisten polttoaineiden osuus tai onko sähköautot otettu huomioon. Kuvan pointti on kuitenkin se, että tieliikenteellä on ehdottomasti suuri rooli päästöjen aiheuttajana.



Kuva 10. Liikennemuotojen päästöt ja hiilijalanjäljet. (Autoalan tiedotuskeskus; ilmasto-opas)

Kuvasta 10 voi vertailla eri liikkumismuotojen suhteellisia päästöjä ja hiilijalanjälkiä autoalan tiedotuskeskuksen mukaan.

Liikenneministeriöillä ja valtioilla on kaiken näköisiä suunnitelmia ja tavoitteita tulevaisuuden liikenteen suhteen. Esimerkiksi 2016 vuoden hallituksen tiedotteen mukaan tavoitteena on saada 250 000 sähköautoa Suomeen. Tällä tarkoitetaan sekä täyssähköautoja että ladattavia hybridejä. (Sähkötieto ry)

4 AURINKOENERGIAJÄRJESTELMÄT

Tämä kappale sisältää PV*SOL-ohjelmalla mallinnetut aurinkoenergiajärjestelmät. Ensimmäisessä versiossa on yksinkertainen tasakatolle asennettava järjestelmä. Toisessa versiossa on harjakatolle asennettava versio tai erikseen rakennettu kalteva katos. Kolmantena on isompi järjestelmä, jossa kahdella eri suuntaan osoittavalla harjakatolla paneeleineen pyritään tasaamaan päivän aikana tuotettua energiapiikkiä.

Tavoite olisi tietysti optimoida kapasiteetti niin, että ei synny liikaa virtaa, jota syötettäisiin huonolla hinnalla verkkoon. Ylimääräisen virran syöttäminen verkkoon saattaisi myös kuormittaa verkkoa varsinkin, jos oletetaan, että aurinkosähkövoimalat yleistyvät tulevaisuudessa. Työssä ei kuitenkaan panosteta optimointiin, vaan enemminkin tutustutaan aurinkoenergian potentiaaliin ja järjestelmien mahdollisiin takaisinmaksuaikoihin. Parantamisen varaa on jätetty osittain tarkoituksella.

Vertailukelpoisuuden vuoksi versioissa 1 ja 2 on käytetty samoja aurinkopaneeleita ja samaa invertteriä. Paneeliksi valikoitui ilman suurempaa tutkimusta hyvän hinta-laatu-teho-suhteen johdosta Suntech Power STP300S-20/Wfw. Hinta 142,80 € / kpl (photovoltaik4all.de). Invertteriksi valikoitui PV*SOL-ohjelman suositusten mukaan Fronius Symo 20.0-3. Hinta noin 3500 € / kpl (Nordsolar.fi).

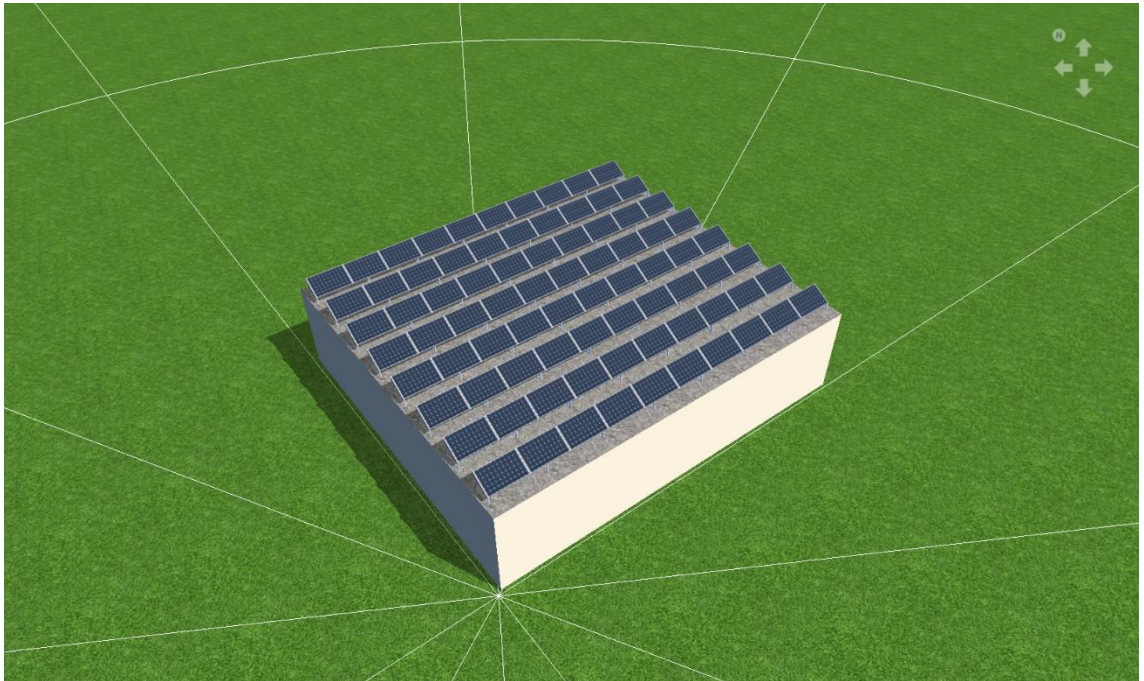
Versiossa 3 on käytetty eri paneelia ja invertteriä kuin aikaisemmissa versioissa. Paneelina on Jinko Solar Eagle 60P 260 Wp, vastaavan 300 Wp paneelin hinta on 132 €, jota työssä on käytetty (photovoltaik4all.de). Invertteriksi valikoitui PV*SOL suositusten mukaan Fronius CL 44,4 Delta/240, hinta: 12 660 € kpl (Solaris-shop).

Versioissa 1-3 on otettu huomioon myös seikkoja, jotka perustuvat vanhoihin töihin sekä puhtaisiin arvioihin: Sähkön hinnan kasvu 0,5 % vuodessa, kaapelihäviöt 1 %, paneelien tuoton heikkeneminen 80 %:iin alkuperäisestä 30 vuodessa. Versioissa 1 ja 2 ajoneuvojen latausaika on päivisin noin kello 9-17.

Hankkeen toteutuessa tulisi joka tapauksessa vertailla uudesta paneeleita ja inverttereitä ja kysyttyä tarjous, joten nämä laskelmat tietenkään eivät ole 100 %:sti paikkansapitäviä. Asennuksen osuus on täysi arvio laskelmissa. Kokonaishintaa on verrattu muun muassa vanhoihin koulutöihin sekä aurinkovoimalapaketteja myyvien yritysten hintoihin.

Työn lopputulokseen vaikutti kiire sekä se, ettei koululta saanut neuvoja PV*SOL-ohjelmiston käyttöön. Lisäksi PV*SOL-ohjelman omaavien luokkatilojen käytössä ilmeni ongelmia. Aluksi helposti saatu noin 8 vuoden takaisinmaksuaika järjestelmille vaihtui reilusti yli 10 vuoteen huomattuani verkkosähkön hinnan olevan asetettu väärin.

4.1 Versio 1



Kuva 11. Versio 1, tasakatto. (PV*SOL)

Versiossa 1 optimaalista paneelirivien etäisyyttä ei otettu huomioon tarkemmin. Paneelirivistöjen väliin jätettiin 1 metri huoltotöitä varten. Versiossa otettiin huomioon myös se, että PV*SOL-ohjelman laskema varjostus jäisi alle 5 % per paneeli.

Järjestelmän hyöty on helppous asentaa se monille teollisuusrakennusten tai vuokrahallien tasakatoille. Järjestelmä on myös helpompi huoltaa, sillä jokaisen paneelin eteen tai taakse pääsee helposti. Voisi kuvitella myös tuulettuvuuden olevan parempi lämpötilojen kontrolloimisen kannalta.

Kesällä auringon ollessa korkealla paneelirivien väli voisi olla tiheämpi, ja talvella taas auringon ollessa matalalla välin tulisi olla pidempi paneelien varjostaessa toisiaan helpommin.

Paneelien kallistuskulma on 30 astetta, suuntaus kohti etelää. Järjestelmässä on 80 kappaletta 300 Wp paneeleita, eli nimellisteho on 24 kWp, ja vuosituotto on ohjelman mukaan 21 010 kWh. Kyseinen nimellisteho vastaisi teoriassa sähköauton latausta yli 100 kilometriä tunnissa nopeudella. Järjestelmän omakäyttöosuus on käytetyillä tiedoilla on vain 35 %. Arvioitu hinta asennustöineen 20 000 €. Takaisinmaksuaika ohjelman mukaan 13 vuotta.

Peruskuormaksi oli asetettava jotain. Peruskuormaksi asetettiin 100 kWh vuodessa, joka vastaa noin 11 W jatkuvaa peruskuormaa, esimerkiksi paria jatkuvasti päällä olevaa led-lamppua.

Järjestelmän tuotto vastaa teoriassa 0,20 kWh / km kulutuksella 105 050 ajokilometriä vuodessa.

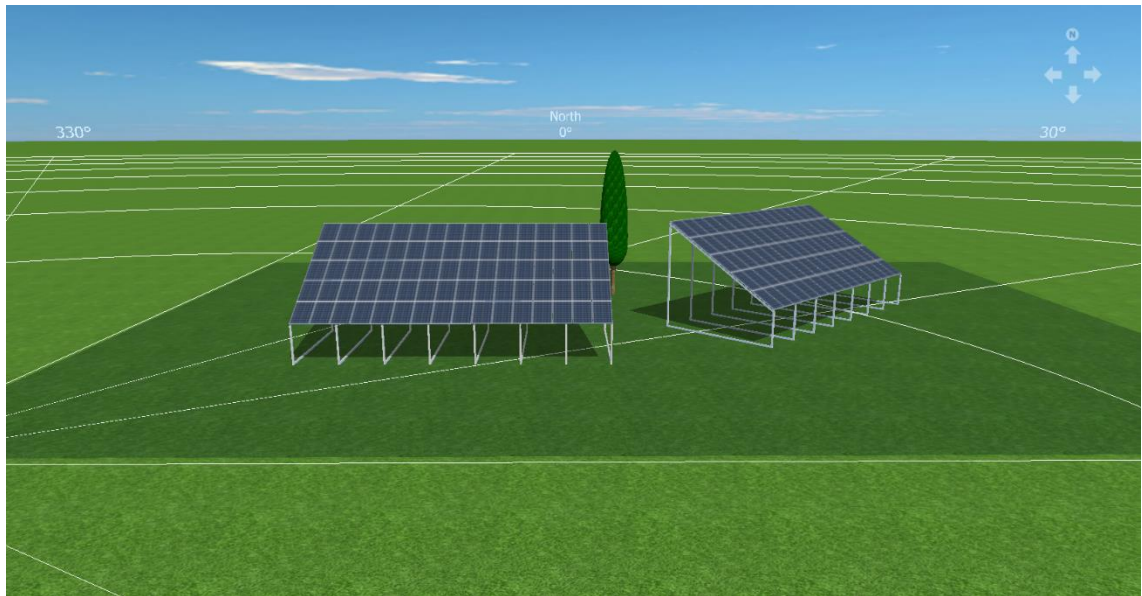
Potentiaalia säästää latauskuluja 2 521,20 € vuodessa, jolloin mahdollinen takaisinmaksuaika olisi 8 vuotta.

- $21\,010 \text{ kWh} \times 0,12 \text{ €/kWh} = 2\,521,20 \text{ €}$
- $20\,000 / 2\,512,20 \approx 7,97$ vuotta (paras mahdollinen takaisinmaksuaika)

Verottomalla (ALV 24 %) sähköhinnalla laskettuna potentiaalinen säästö olisi 2 033 € vuodessa, jolloin mahdollinen takaisinmaksuaika olisi noin 9,8 vuotta.

- $(0,12 / 1,24) \times 21\,010 = 2\,033 \text{ €}$ (veroton sähkönhinta vuodessa)
- $20\,000 / 2\,033 \text{ €} \approx 9,8$ vuotta (paras mahdollinen takaisinmaksuaika)

4.2 Versio 2



Kuva 12. Versio 2, kalteva katos. (PV*SOL)

Versiossa 2 on samat paneelit ja invertteri kuin edellisessä versiossa. Tässä laskettiin kaksi esimerkkiä, toisen suuntaus etelään ja toisen kaakkoon. Etelään suunnatun voimalan tuotto oli ohjelman mukaan 22 728 kWh vuodessa eli 1 718 kWh suurempi kuin version 1 pelkkien varjostusten takia. Ajokilometreissä se vastaa 8 590 km eroa vuodessa. Kaakkoon suunnatun tuotto oli 22 414 kWh. Kuvan järjestelmästä tehtiin myös vertailua eri kulmissa: taulukko 3 ja 4.

Takaisinmaksuaika ohjelman mukaan laski 1 vuodella edelliseen versioon (versio 1) verrattuna. Eli takaisinmaksuaika on ohjelman mukaan 12 vuotta. Omakäyttöosuus 34,8 %. Vuotuinen varjostuksen aiheuttamat häviöt 0 %, kun versiossa 1 se oli 6,3 % vuodessa.

Peruskuormaksi asetettiin myös 1 version tavoin 100 kWh vuodessa, joka vastaa noin 11 W jatkuvaa peruskuormaa, esimerkiksi paria jatkuvasti päällä olevaa led-lamppua.

Järjestelmän tuotto vastaa teoriassa 0,20 kWh / km kulutuksella 113 640 ajokilometriä vuodessa.

Potentiaalia säästää latauskuluja 2 727,36 € vuodessa, jolloin mahdollinen takaisinmaksu olisi 7,3 vuotta.

- $22\,728 \text{ kWh} \times 0,12 \text{ €/kWh} = 2\,727,36 \text{ €}$

- $20\,000 / 2\,727,36 \approx 7,3$ vuotta (paras mahdollinen takaisinmaksuaika)

Verottomalla (ALV 24 %) sähköhinnalla laskettuna potentiaalinen säästö olisi 2 199,48 € vuodessa, jolloin mahdollinen takaisinmaksuaika olisi noin 9,1 vuotta.

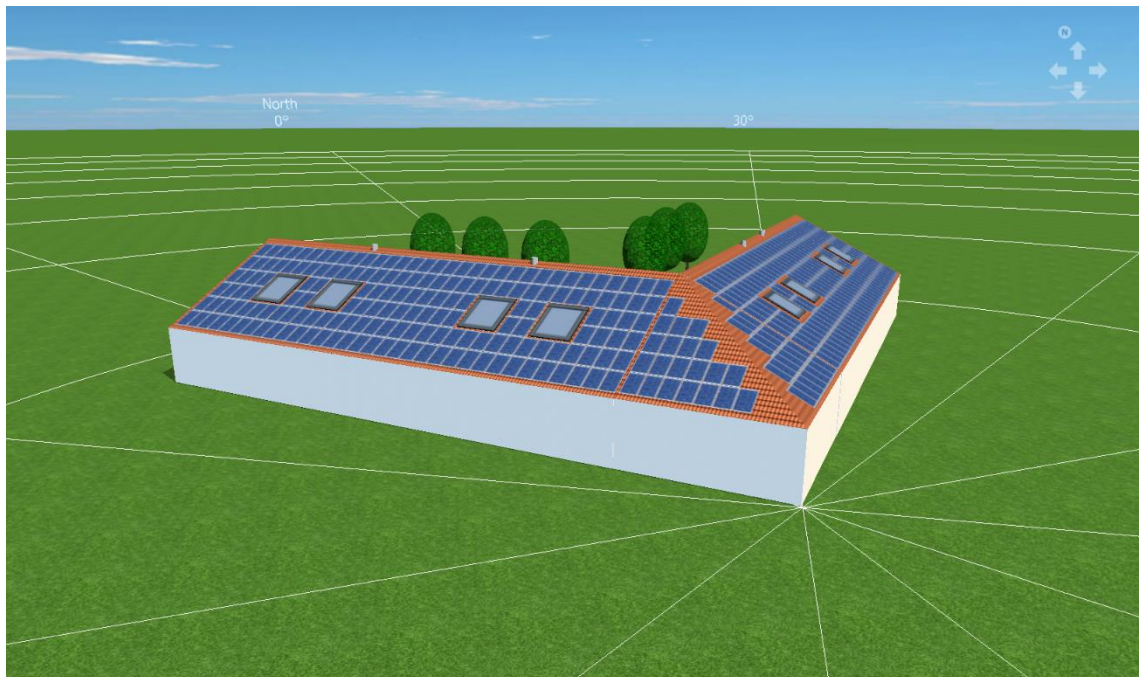
- $(0,12 / 1,24) \times 22\,728 \text{ kWh} = 2\,199,48 \text{ €}$ (veroton sähkönhinta vuodessa)
- $20\,000 / 2\,199,48 \approx 9,1$ vuotta (paras mahdollinen takaisinmaksuaika)

Vertailun vuoksi laskettiin vaikutuksia, jos otetaan toinen auto, sekä jos lataus optimoidaan aurinkoenergialle. 2 autolla takaisinmaksuaika oli 11,9 vuotta ja omakäyttöosuus 35,8 %. Kun valittiin lataustyyppi ”PV optimized”, joka optimoi latauksen käyttämään mahdollisimman paljon aurinkoenergiaa, niin järjestelmän laskennallinen takaisinmaksuaika tippui 8,5 vuoteen omakäyttöosuuden noustessa 84,4 %:iin.

Nostamalla paneelien/katoksen kulmaa jyrkemmäksi talvella, saataisiin teoriassa hyötyä tuotantoon, sekä ehkäistäisiin paremmin lumen tarttumista paneelien pintaan.

Järjestelmästä voisi hyötyä myös siten, että aurinkopaneelit voisivat toimia kattomateriaalina. Katos auttaisi korroosiosuojana ja kesällä kuumuuden pitämiseksi poissa.

4.3 Versio 3



Kuva 13. Versio 3, 100 kWp järjestelmä. (PV*SOL)

Versiossa 3 paneeleita on yhteensä 390 kpl, joista puolet osoittaa lounaaseen (225 astetta) ja sama kaakkoon (135 astetta). Järjestelmässä on myös 2 kappaletta inverttereitä, lounaaseen ja kaakkoon osoittaville paneeleille omansa. 2 invertteriä tekee järjestelmästä redundanttisen ja pienentää todennäköisyyttä vikaantumisen tuottamalle katkolle aurinkoenergian tuotossa. Järjestelmän nimellisteho on yhteensä 101,4 kWp. Paneelien kallistuskulma on 27 astetta.

Järjestelmän kokonaishinnaksi töineen arvioitiin 78 000 €. Peruskuormaksi huomioitiin vain 40 000 kWh vuodessa, ilman autojen lataamista. Myydyn sähkön hinta 0,06 € / kWh ja omakäyttöosuus vain 18,2 %. Verkkoon syötetyn sähkön osuus on hyvin suuri. Sähkön hinta sama kuin aiemmissa versioissa, eli 0,12 € / kWh, mutta ilman perusmaksua 3 € / kuukaudessa. Näillä arvoilla takaisinmaksu ohjelman mukaan 16,1 vuotta.

- Jinko Solar 260 Wp 390 kpl, yhteensä 51 480 €
- Fronius invertteri 2 kpl, yhteensä 25 320 €
- Arvioitu asennus- ja muut kustannukset 1 200 € (epäaito hinta)

Järjestelmän hinnoittelussa oli käynyt selvästi jokin virhe, jos hinnaksi arvioitiin 78 000 €. Hinta asennuksineen tulisi olemaan lähempänä 100 000 €, joten version 3 tulevia laskelmia ei pidä ottaa liian tarkkaan. Aiemmin löydettyä aurinkopaneelin hintaakaan ei enää löytynyt, sillä paneelien hinnat muuttuvat, kun tarjouksia tulee ja menee.

Yli 100 kWp järjestelmä mahdollistaisi teoriassa vaikka 5 auton lataamisen kerralla, noin 20 kW teholla. PV*SOL-ohjelmalla päiväkohtaista energiantuottoa ei saatu työssä näkyville, joten ei tiedetä, mikä on maksimaalinen teho esimerkiksi aurinkoisena päivänä kesikesällä.

Järjestelmä tuottaa 88 317 kWh vuodessa PV*SOL-ohjelman mukaan ja mahdollistaisi teoriassa 0,20 kW / km kulutuksella 441 585 ajokilometrin vuodessa.

Potentiaalia säästää latauskuluja 10 598,04 € vuodessa, jolloin mahdollinen takaisinmaksu olisi 7,4 vuotta.

- $88\,317\text{ kWh} \times 0,12\text{ €/kWh} = 10\,598,04\text{ €}$
- $78\,000 / 10\,598,04 \approx 7,4\text{ vuotta}$ (paras mahdollinen takaisinmaksuaika)

Verottomalla (ALV 24 %) sähköhinnalla laskettuna potentiaalinen säästö olisi 8 546,81 € vuodessa, jolloin mahdollinen takaisinmaksuaika olisi noin 9,1 vuotta.

- $(0,12 / 1,24) \times 88\,317 = 8\,546,81 \text{ €}$ (veroton sähkönhinta vuodessa)
- $78\,000 / 8\,546,81 \approx 9,1$ vuotta (paras mahdollinen takaisinmaksuaika)

Luultavasti jyrkempi, esimerkiksi 45 asteen kulma toimisi paremmin. Aamu- ja ilta-auringo paistaa kuitenkin matalammalta. Jatkopohittamisen arvoinen asia on se, että saisiko kaikella aurinkoenergian teholla ladattua suoraa tasavirralla (DC) pikalatauksena autoja.

4.4 Tutkimustuloksia

Versio 2:ssa tutkittiin PV*SOL-ohjelman avulla paneelin kulman muutoksen vaikutusta vuosituottoon. Tiedot samat kuin versiossa 2, paneeleita 80 kappaletta, 24 kWp. Paikana Turku. Paneelien kulmaa muutettiin aste kerrallaan 30 asteesta 45 asteeseen.

Taulukko 3. Paneelien kulman vaikutus energiantuottoon. (PV*SOL)

Paneelin kulma (astetta)	Paneeliston vuosituotto (kWh)
30	22 957
31	23 000
32	23 037
33	23 069
34	23 096
35	23 117
36	23 132
37	23 142
38	23 146
39	23 145
40	23 139
41	23 128
42	23 111
43	23 090
44	23 064
45	23 032

Myös paneelien suuntauksen (atsimuutin) vaikutusta vuosituottoon testattiin PV*SOL-ohjelman avulla. Paneelit aiemman taulukon mukaan optimaalisimmassa kulmassa 38 astetta. Paneeliston suuntausta muutettiin 15 astetta kerrallaan etelästä länteen. Yllättäen tuottoisin suuntaus ei ollutkaan etelään. Taulukossa on lihavoitu suurin kulma ja

tuotto. Kulman muutos vaikuttaisi varmasti taulukon tuloksiin. Testi tehtiin vain yhdellä kulmalla.

Taulukko 4. Paneeliston suuntaus, atsimuutti. Paneelin kulma 38 astetta. (PV*SOL)

ilmansuunta	asteet	kWh
Etelä	0	23 146
	15	23 211
	30	22 962
Lounas	45	22 414
	60	21 509
	75	20 304
Länsi	90	18 832

5 YHTEENVETO AURINKOLATAAMISESTA

Aurinkoenergiassa on ehdottomasti potentiaalia taksirytyksen käyttöön. Häviöt, hinnat ja tekniset ominaisuudet tulisi ottaa paremmin huomioon jatkosuunnitelmia tehdessä. Lopullisen päätöksen tullessa tehtäisiin joka tapauksessa uudet laskelmat ja oikeat tarjouspyynnöt. Vaikka aurinkoenergia on jo nyt arvioiden mukaan kannattavaa, niin voisi kuvitella tulevaisuudessa julkisten latauspisteiden hinnan nousevan, sekä aurinkoenergiamarkkinoilla hintojen jatkavan tulemista alaspäin.

Järjestelmän suunnitteluun vaikuttaa se, halutaanko maksimaalinen vuotuinen tuotto, jolloin sähköautojen lataaminen luultavasti keskipäivällä olisi tehokkainta ja järkevintä, vai mahdollisimman tasainen tuotto, jolloin autoja voisi ladata aurinkoenergialla tasaisesti lähes missä vaiheessa päivää tahansa. Mahdollisuus paneelien asentojen muokkaamiseen vuoden ajan mukaan on myös huomion arvoinen asia.

On takaisinmaksun kannalta suurestikin väliä, miten latauksen suunnittelee ja ajoittaa. Se vaikuttaa suoraan järjestelmän omaenergiankäyttöosuuteen varsinkin, jos ei ole käytössä niin sanottuja puskuriakkuja, joihin ylimääräinen aurinkoenergia voitaisiin varastoida seuraavaa latauskertaa varten. Puskuriakkujen käyttöön ja ominaisuuksiin autojen latauksen näkökulmasta tulisi tutustua tarkemmin.

Verotus tai verovähennysten oikeutus vaikuttaa negatiivisesti investointimielessä yrityksen näkökulmasta. Aurinkoenergiatalaus toisi enimmäkseen näkyvyyttä sekä olisi sijoitus ilmastoon ja puhtaampaan kaupunkiympäristöön. Lisäksi julkiset latauspisteet eivät ole vielä tänä päivänä kovin ruuhkautuneita, ja lataaminen niillä voi olla jopa edullisempää kuin kotiolosuhteissa (Liite 1).

Uuden yrityksen on helppo aloittaa jo alusta oikealle linjalle suuntaaminen katsoen kauas tulevaisuuteen energia- ynnä muiden alojen murroksen ollessa käynnissä. Muissa yrityksissä, varsinkin isoissa sellaisissa, muutos voi olla kankeaa. Ikääntyneemmät ihmiset ovat helpommin kiinni vanhoissa toimintatavoissa.

Työssä tultiin siihen johtopäätökseen, että on tärkeämpää keskittyä liikenteen muuttamiseen sähköiseksi tai liikennemäärän yleiseen vähentämiseen kuin opinnäytetyön kirjoittamiseen.

LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: aut.fi

Energiateollisuus. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://energia.fi/perustietoa/energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto>

Härri, A. 2018. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.fingo.fi/ajankohtaista/blogit/sahkoautot-yleistyvat-mutta-niiden-akkujen-tuotantoon-liittyy-suuria-ongelmia>

Ilmasto opas: Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/videoit-ja-visualisoinnit/-/artikkeli/b34977fd-6c12-4d1c-88b3-221087805848/video-muutakin-kuin-pelkka-hiilidioksidi.html>

IPCC: Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.ipcc.ch/>

Liikenneministeriö, 1999. Toimenpiteet tieliikenteen hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi.

Linja-aho, V. 2016. Ostaisinko sähköauton?

Mertens, K. 2014, Photovoltaics - Fundamentals, Technology and Practise

Myrzik & Calais, 2003. String and module integrated inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems – Review. IEEE Bologna PowerTech Conference.

Nordsolar.fi. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.nordsolar.fi/invertterit-kotiin/3-vaihe/fronius/symo-20-0-3-m>

Ojaniemi, J. 2019. Tuulivoima saastuttaa – SF6-päästöt. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://puheenvuoro.uusisuomi.fi/jaakkojuhaniojaniemi/tuulivoima-saastuttaa-1-300-000-henkilo-auton-verran-vuodessa/>

Pearsall, N.M. 2017. The Performance of Photovoltaic (PV) Systems. 1 Introduction to photovoltaic system performance. Elsevier

Photovoltaik4all.de. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.photovoltaik4all.de/>

PV*SOL, Valentin Software, käytetty vuonna 2019

Presscott's microbiology 10th edition.

Researchgate, 2015. Viitattu: 16.12.2019. Saatavilla: https://www.researchgate.net/publication/281423976_A_Comparison_Study_of_n-type_PERT_and_IBC_Cell_Concepts_with_Screen_Printed_Contacts

Solaris-shop.com. Viitattu 15.12.2019. Saatavilla: <https://www.solaris-shop.com/fronius-cl-44-4-delta-grid-tie-44-4kw-inverter-4-210-245-800/>

Solar window. Viitattu: 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.solarwindow.com/> viitattu 16.12.2019

Steponetech Oy & eFlexFuel

ST1. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: https://www.st1.fi/yrityksille/st1-stories/ymparistoystavallisen-RE85-polttonesteen-kysynta-kasvaa?fbclid=IwAR0HzzjzVjtylQK08hfdU-zITKvTwBv3srLPT_WY-PRDdO8NxOvG3A9wPOus

Sähkötieto ry, 2019. Sähköautot ja latausjärjestelmät.

Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa.

Tagliaferri, C.; Evangelista, S.; Acconcia, F.; Domenech, T.; Ekins, P.; Barletta, D. & Lettieri, P. 2016. Life Cycle Assessment of Future Electric and Hybrid Vehicles: A Cradle-to-Grave Systems Engineering Approach. Chemical Engineering Research and Design.

Tesla Motors. Viitattu 17.12.2019. Saatavilla: https://www.tesla.com/fi_fi/models

Theseus: Aro Otto, 2019. Sähköauton ja sen voimalinjan kehitystilannekatsaus.

Theseus: Vuohelainen Samu, 2015. Etanoli henkilöauton polttoaineena.

Turku visio 2029. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.turku.fi/kaupunkistrategia> ,tai https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/20170814_visio_press_lac_s.pdf

Turku visio 2050, kaupunkistrategia, saatavilla: jostain.

VTT, 2006, Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasviuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit.

YouTube - Learn Engineering – How does an Electric car work? Tesla Model S. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=3SAxXUIre28>

YouTube - Tesla Motors – Elon Musk, Documentary. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=rD9PGi8hHvY>

YouTube – Timo Korpi - Sähköauto vs bensa - Ilmastouutiset #16. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=LO6tm2ZnTKI>

YouTube – Richard Lunt. Viitattu: 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=5Vx59VLc98E>

Uusiolämpöseminaari. 16.5.2019 Turku

Xin Zhang, Xi Chen, Xiaobo Zhang. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance, 2018. Viitattu 16.12.2019. Saatavilla: <https://www.pnas.org/content/115/37/9193>

Visual Capitalist 2017. Animation: How Solar panels work. Viitattu 12.12.2019. Saatavilla: <http://www.visualcapitalist.com/animation-how-solar-panels-work/>

Wilberforce, T.; El-Hassan, Z.; Khatib, F.N.; Al Makky, A.; Baroutaji, A.; Carton, J. & Olabi, A. 2017. Development of Electric Cars and Fuel Cell Hydrogen Electric Cars. International Journal of Hydrogen Energy

<https://etanoliautoilijaksi.fi/>

<https://www.vtt.fi/medialle/vtt-ja-st1-pilotoivat-bio-ja-kiertotaloutta-ilmas-toyst%C3%A4v%C3%A4llisi%C3%A4-hiilivetyj%C3%A4-teollisuuden-hiilidioksidista>

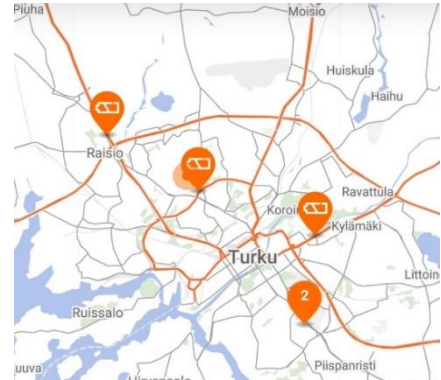
<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2357.pdf>

<https://www.reuters.com/article/us-usa-ethanol-epa/epa-will-study-ethanols-impact-on-air-quality-after-long-delay-idUSKCN1QB2GV>

Osan vaihto (seuraava sivu)

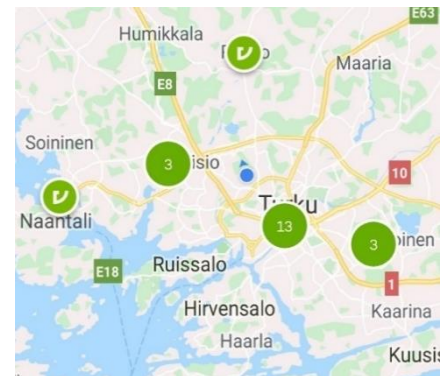
Julkiset latausasemat Turussa ja Turun seudulla 11/2019

K-lataus
Turku 4 asemaa, Raisio 1 asema
(0 € 18.11.2019 asti) Hinta: 0,02 € / min
Pistokkeet: Type 2 (22 kW) yms..
Esim. Tesla kulutuksella 22 kW / 100 km vastaa 1,20 € / 100 km



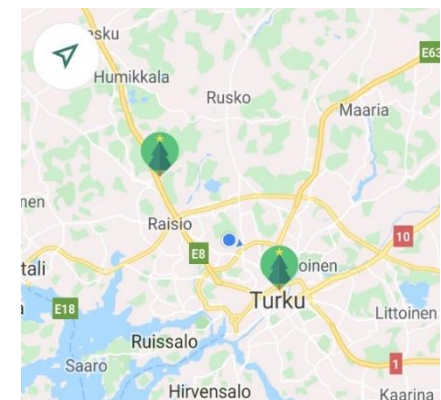
K-lataus mobiilisovellus 10.12.19

Virtapiste
Turku 13 asemaa + lähialueet
Hinta: 0 € - 0,19 € / min
Pistokkeet: Type 2 (22 kW) yms..
Esim. Tesla kulutuksella 22 kW / 100 km vastaa 4,18 € / 100 km



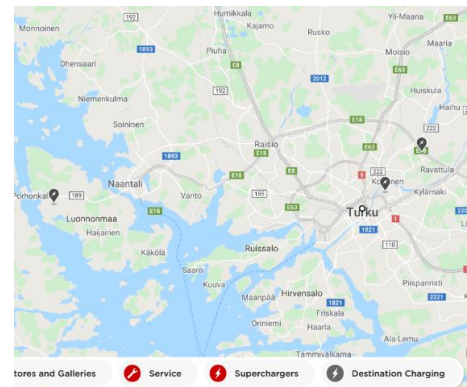
Virtapiste mobiilisovellus 10.12.19

Fortum Charge & Drive
Turku 4 asemaa, Raisio 1 asema
Hinta: 0,04 € / min
Pistokkeet: Type 2 (22 kW) yms...
Esim. Tesla kulutuksella 22 kW / 100 km vastaa 2,40 € / 100 km



Fortum Charge & Drive -mobiilisovellus 10.12.19

Tesla Destination Charger
Turku 2 asemaa, Naantali 1 asema
Hinta 0 € - ?
Pistokkeet: Type 2 (22 kW)
Esim. Tesla kulutuksella 22 kW / 100 km vastaa 0 - ...? € / 100 km



Tesla destination charger (Tesla.com)
10.12.19

Lähin Tesla Supercharger (DC pikalataus) Paimio – Tammissilta ABC
Hinta: 0 € - ?
Pistokkeet: 8 x Type 2 8 x CCS
Esim. Tesla kulutuksella 22 kW / 100 km vastaa 0 - ...? € / 100 km



Tesla Supercharger, Paimio, Tammissilta
ABC 15.11.19

Hinnat sisältää arvonlisäveron (ALV) 24 %

Pistoketyypit

PISTOKETYYPIT



Type 2



CCS



CHAdeMO



Type 1

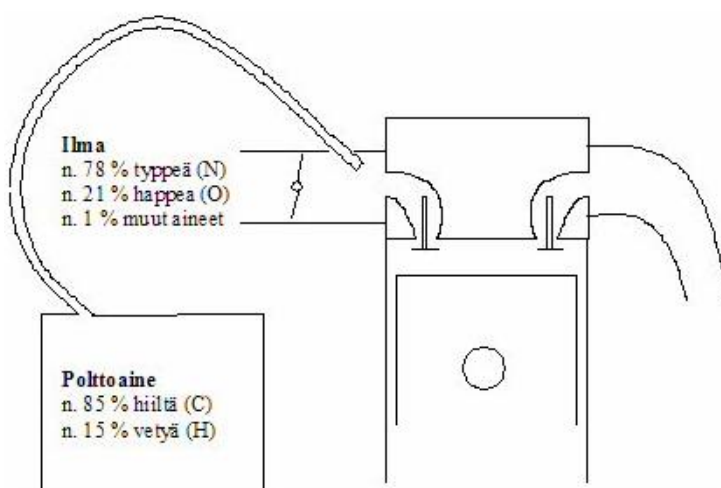


Schuko

Lähde: K-lataus

Liite 3

Palaminen polttomoottorissa



Pakokaasu (ottomoottori)
Ihmislle vaarattomat aineet (n. 99 % pakokaasuista)
n. 70 - 75 % typpeä (N₂)
n. 9 - 11 % vettä (H₂O)
n. 7 - 15 % hiilidioksidi (CO₂)
n. 0 - 3 % happi (O₂)

Ihmislle vaaralliset aineet, "saasteet"
(n. 1 % pakokaasuista)
n. 0,85 % hiilimonoksidi (CO)
n. 0,08 % typen oksidi (NO_x)
n. 0,05 % hiilivety (HC)
lopun kiinteitä ainesosia

Pakokaasu (dieselmoottori)
Ihmislle vaarattomat aineet
n. 70 - 75 % typpeä (N₂)
n. 5 - 10 % vettä (H₂O)
n. 5 - 10 % hiilidioksidi (CO₂)
moottorin pyörimisnopeudesta
riippuen runsaastikin happea (O₂)

Ihmislle vaaralliset aineet, "saasteet"
n. 0,1 - 0,5 % hiilimonoksidi (CO)
pieni määrä typen oksideja (NO_x),
hiilivetyä (HC) ja kiinteitä ainesosia

Lähde:

http://www.autotieto.net/pakokaasukurssi/oppimateriaalit/palaminen_polttomoottorissa.htm

Viitattu 17.12.2019

Liite 4

Jatkoselvitystä kaipaavat kysymykset:

- Optimaalisin sähköauton latausteho ja latauksen hyötysuhde?
- Lataustehon vaihtelun vaikutus akuston keston?
- Biopolttoaineauto vs. Sähköauto?
- Biopolttoaineiden vaikutus ajoneuvon elinikään?
- Biopolttoaineiden tuotantoprosessi ja todellinen hiilijalanjälki?
- Tekniset vaatimukset suoraan DC-lataukseen aurinkopaneeleilta?
- Kaikkien polttoainetyyppien palamisreaktiot ja päästöt?
- Lataus \leftrightarrow ajo -sykliä optimointi? Nopeus ja ekologisuus huomioiden.