

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinööri (AMK)

2021

Otto Hakala

# AURINKOPANEELIN JA - PANEELITUOTANNON HIILIJALANJÄLKI

– Tutkimustyö Salo Tech Oy:lle

Otto Hakala

# AURINKOPANEELI JA -PANEELITUOTANNON HIILIJALANJÄLKI

- Tutkimustyö Salo Tech Oy:lle

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laskea mahdollisimman tarkka arvio Salo Tech Oy:n valmistaman yksittäisen aurinkopaneelin hiilijalanjäljestä sekä tuotannosta aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä. Aurinkopaneelien kysyntä on kasvussa ja yhä useampi asiakas on kiinnostunut tietämään ostamansa tuotteen hiilijalanjäljestä.

Työssä esitellään kasvihuoneilmiön ja hiilijalanjäljen perusteet. Aurinkopaneelin komponentit ovat keskiössä, koska niiden osuus tuotteen hiilijalanjäljestä on suurin. Työ sisältää useita laskentataulukoita, mutta osa taulukoista jätetään salassapitovelvollisuuden vuoksi julkaisematta.

Laskenta on tehty hyödyntämällä saatavilla olevia hiilijalanjälkilaskureita, joihin on selkeät laskentaperusteet. Hiilijalanjäljen laskennassa on käytetty cradle-to-gate-rajasta eli niin sanottua kehdestä portille -rajasta. Laskennasta on rajattu pois muun muassa aurinkopaneelin pakkausmateriaalit, huolto ja ylläpito sekä kierrätys. Tutkimuksen suurimpana haasteena oli selvittää tilattavien komponenttien valmistuksesta aiheutuvat päästöt.

Laskennan perusteella Salo Tech Oy:n valmistaman yksikiteisen piikennopaneelin hiilijalanjälki cradle-to-gate-rajauksella on 173,62 kg CO<sub>2</sub>. Aurinkopaneelin arvioituun kokonaistuottoon nähden hiilijalanjälki on 20,7 g CO<sub>2</sub>/kWh. Ylivoimaisesti suurin hiilijalanjälki on yksikiteisellä piikennolla, joka on noin 70 prosenttia paneelin hiilijalanjäljestä. Laskennan tulos on linjassa muihin EU:ssa valmistettuihin paneeleihin nähden.

## ASIASANAT:

hiilijalanjälki, aurinkopaneeli, laskeminen, ilmastonmuutos

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmental technology

2021 | 36 pages, 5 pages in appendices

Otto Hakala

# THE CARBON FOOTPRINT OF THE SOLAR PANEL AND ITS PRODUCTION

- Research for Salo Tech Oy

The aim of this thesis was to calculate as accurately as possible the carbon footprint of an individual solar panel manufactured by Salo Tech Oy, as well as the greenhouse gas emissions caused by its production. The demand for solar panels is growing and most customers are interested in knowing the carbon footprint of the product they are buying.

The basics of the greenhouse effect and the carbon footprint are covered in the work. The components of a solar panel are at the center because they account for the largest share of the product's carbon footprint. The work contains several spreadsheets but some of the tables were concealed due to issues of confidentiality.

The calculation was made using readily carbon footprint counters with clear calculation criteria. The calculation was made on a cradle-to-gate basis. Solar panel packaging materials, service and maintenance and recycling were excluded from the calculation, among other things. The biggest challenge of the study was to find out the emissions from the manufacturing of the components ordered.

Based on the calculation the carbon footprint of Salo Tech Oy's monocrystalline silicon cell panel is 173.62 kg CO<sub>2</sub>. The carbon footprint of the solar panel's estimated total output is 20.7 g CO<sub>2</sub> / kWh. By far the largest carbon footprint is that of a monocrystalline silicon cell which makes for about 70 percent of the panel's carbon footprint. The result of the calculation is in line with those of other panels manufactured in the EU.

## KEYWORDS:

carbon footprint, solar panel, calculation, climate change

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Työn tausta ja hiilijalanjäljen merkitys	7
1.2 Työn tavoitteet	8
<b>2 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT</b>	<b>9</b>
2.1 Hiilijalanjälki	10
2.2 Aurinkopaneelin hiilijalanjälki	11
<b>3 AURINKOPANEELIN RAKENNE JA KOMPONENTTIEN VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN</b>	<b>13</b>
3.1 Piikkenno	14
3.1.1 Yksikiteiset piikennot	15
3.1.2 Monikiteiset piikennot	16
3.2 Kapselointikalvo (EVA)	17
3.3 Lasi	18
3.4 Taustakalvo	18
3.5 Alumiinikehys	19
3.6 Jakorasia	19
3.7 Aurinkopaneelin komponenttien vaikutus hiilijalanjälkeen	20
<b>4 TUTKIMUS</b>	<b>22</b>
4.1 Paneelin komponenttien valmistus ja hankinta	23
4.2 Komponenttien rahdit	24
4.3 Tehtaan toiminnot	25
4.4 Henkilöstön hiilijalanjälki	27
4.5 Yhteenveto	28
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>30</b>
5.1 Pohdinta ja kehitysideat	30
5.2 Opinnäytetyön onnistuminen	32
<b>LÄHTEET</b>	<b>33</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Työmatkakysely Salo Tech Oy:n henkilöstölle  
Liite 2. Hiilijalanjälkikysely komponenttien valmistajille

## KAAVAT

- Kaava 1. Painotetun keskiarvon kaava (Calculate.org 2021). 28

## KUVAT

- Kuva 1. Tuotteen elinkaari (Song ym. 2021). 8  
Kuva 2. Kasvihuoneilmiö (Climate Central 2014). 10  
Kuva 3. Aurinkopaneelin rakenne (Svarc 2020). 13  
Kuva 4. Monikiteisen piin rikastus kvartsihiekestä (Mertens ym. 2014). 15  
Kuva 5. Cz-prosessi (Mertens ym. 2014). 16  
Kuva 6. Monikiteisen piharkon valmistus (Mertenz ym. 2014). 16  
Kuva 7. Monikiteisen piikiekon valmistus (Mertens ym. 2014). 17  
Kuva 8. SALO® 370-380W MONO (Salotech Oy 2021). 22  
Kuva 9. Syntyvän jätteen osuus aurinkopaneelia kohden (Kauppi 2021; HY Hiilifiksi n.d.). 27

## TAULUKOT

- Taulukko 1. Aurinkopaneelin hiilijalanjälki osaprosesseittain (Sievi-Korte 2018.) 21  
Taulukko 2. Komponenttien hiilijalanjälki valmistajien tietoihin perustuva (Frantti 2021b). 23  
Taulukko 3. Komponenttien hiilijalanjälki europerusteisella laskennalla (Frantti 2021b; Ilmastodieetti 2019). 23  
Taulukko 4. Rahtien paneelikohtainen päästö (Frantti 2021b; Y-Hiilari n.d.). 25  
Taulukko 5. Salotech Oy:n kaukolämmön kulutus (Frantti 2021a). 26  
Taulukko 6. Lämmitysenergian hiilijalanjälki (Niemi 2021; HY Hiilifiksi n.d.). 26  
Taulukko 7. Henkilökunnan työmatkaliikenteen hiilijalanjälki (HY Hiilifiksi n.d.). 28  
Taulukko 8. Yksikiteisen piikennopaneelin hiilijalanjälki 28

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

CO <sub>2</sub> e	Hiilidioksidiekvivalentti on hiilijalanjalan yksikkö. Eri kasvihuonekaasupäästöjen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnettuna vastaamaan hiilidioksidin vaikutusta ilmakehässä (Green Building Council 2020).
europusteinen arvio	Kulutukseen perustuva laskenta, jossa kulutettu rahamäärä kerrotaan tuotteelle tai palvelulle arvioidulla päästökertoimella.
hiilijalanjälki	Kuvaa tietyn rajattavissa olevan kokonaisuuden aiheuttamaa ilmastokuormaa (Clonet Oy 2021).
hiilineutraaliuus	Tarkoittaa erikseen määritellyn alueen tilaa, jossa ihmistoinnin synnyttämät kasvihuonekaasupäästöjen lähteet ja kasvihuonekaasuja poistavien nielujen suhde on tietyllä ajanjaksolla sama (Leino 2021).
hiili-intensiteetti	Hiili-intensiteetti tarkoittaa kasvihuonekaasupäästöjen suhdetta tiettyyn aktiviteettiin. Esimerkiksi energiantuotannon päästöt suhteessa tuotettuun energiaan (tCO <sub>2</sub> /MWh) (Green Building Council 2020).
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change. Hallitusten välinen ilmastopaneeli (Nieminen 2018).
KERF-jäte	Aurinkokennojen valmistuksessa piharkkojen sahauksesta syntyvä piipuru
LCA	Life Cycle Assessment. Elinkaarianalyysi laskee ja seuraa tuotteen ympäristövaikutuksia jokaisessa elinkaaren vaiheessa (Lucrativo 2021).
MC-4	Aurinkopaneelikytkennöissä yleisimmin käytetty liitin.
W/m <sup>2</sup>	Auringon säteilyteho.

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta ja hiilijalanjäljen merkitys

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Salo Tech Oy:ltä. Opinnäytetyön tarkoitus on selvittää ja laskea Salo Tech Oy:n valmistamien aurinkopaneelien hiilijalanjälki. Toimeksiantajalle oman hiilijalanjäljen merkitystä ei voi väheksyä. Ilmastonmuutoksen seurauksena kuluttajien ostokäyttäytyminen on muuttunut ja tuotteen hiilijalanjäljellä voi olla suuri merkitys ostopäätöstä tehdessä. Hiilijalanjäljestä saatava imagollinen hyöty markkinoinnissa on suuri, ja siitä voidaan saada myös mahdollinen kilpailuetu muihin valmistajiin nähden.

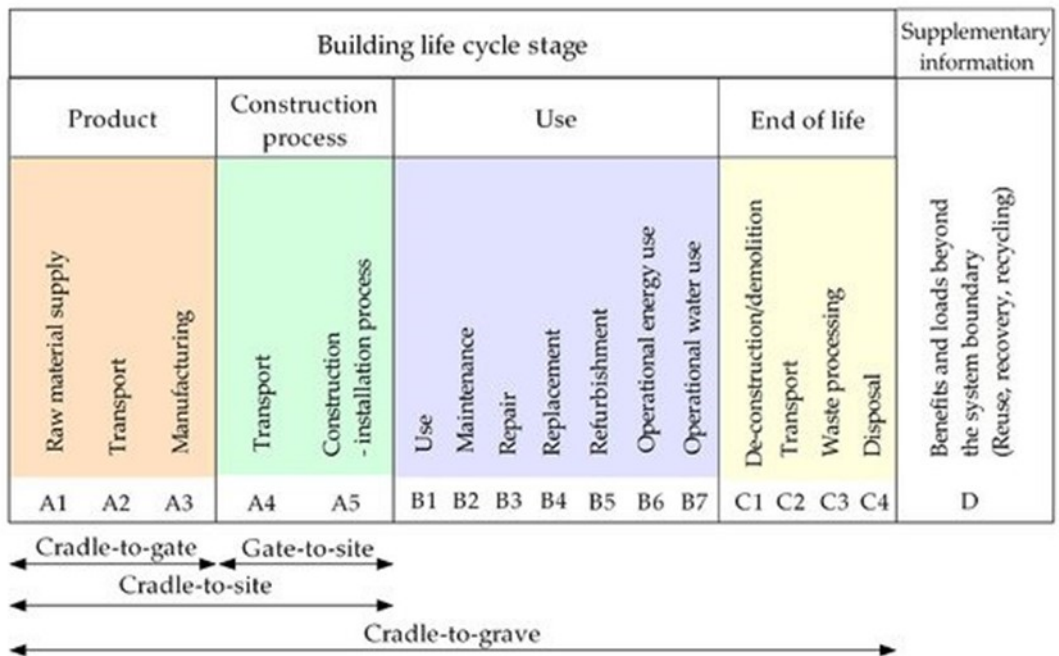
Salo Tech Oy on Salossa sijaitseva suomalainen aurinkopaneelitehdas, joka aloitti tuotannon 2015 toukokuussa. Salo Tech Oy:n myyntiyhtiönä toimii Salo Solar Oy. Aurinkoenergian osuus ja kysyntä kasvaa maailmanlaajuisesti edelleen. Maailmalla aurinkoenergian osuus sähköntuotannosta on jo merkittävä eräissä maissa. Suomessakin aurinkosähkön kiinnostavuus jatkaa kasvuaan. Suomessa aurinkosähkön tuotantopotentiaali on hyvä, ja tasoltaan se on samaa luokkaa, kuin Keski-Euroopassa. Aurinkopaneelien hyötysuhde on Suomessa hyvä, koska vallitseva ympäristön lämpötila on matala. (LUT University 2021.)

Aurinkosähkön tuotanto on päästötöntä ja melutonta, mutta aurinkosähköjärjestelmän valmistus aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä. Kansainvälinen ilmastopoliittika ja Suomen hiilineutraaliustavoitteet asettavat yritykset ennakoimaan ja pohtimaan ilmastotavoitteiden täyttymistä. Hiilijalanjälkitietous on tätä päivää ja yritykset haluavat olla etulinjassa selvittämässä ja kertomassa tuotteen tai palvelun hiilijalanjäljestä.

Yhä useammin asiakas haluaa tietää tuotteen hiilijalanjäljestä. Tämän takia työssä lähdetään selvittämään aurinkopaneelituotannosta syntyviä päästöjä. Ympäristövaikutukset syntyvät kuljetuksista, paneelin komponenteista ja tuotantoon sitoutuneesta energiasta (Vattenfal 2021).

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on antaa Salo Tech Oy:lle luotettava tulos paneelien ja paneelituotannosta muodostuvasta hiilijalanjäljestä. Opinnäytetyön rajausta on tehty paneelikomponenttien valmistuksesta valmiiseen paneeliin asti. Kuvassa 1. on kuvattu yleisesti tuotteen elinkaari (cradle-to-grave). Tässä laskennassa keskitytään laskemaan paneelin tuotannossa (cradle-to-gate) syntyviä hiilidioksidipäästöjä (A1-A3), mihin kuului materiaalien hankinta, komponenttien valmistus, kuljetukset ja tuotteen valmistus.



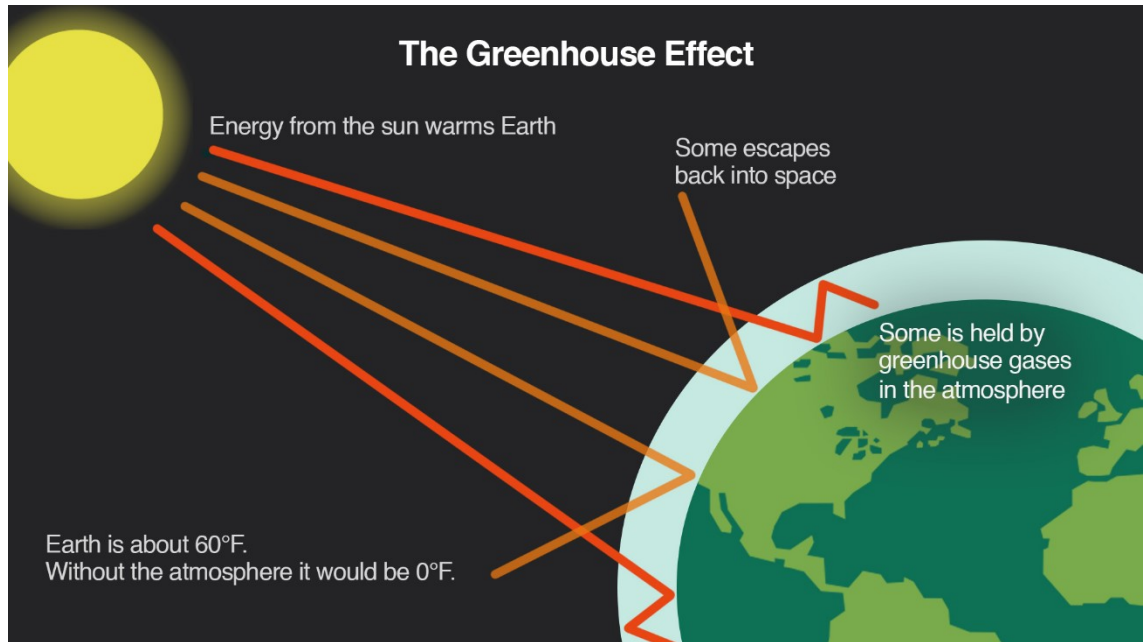
Kuva 1. Tuotteen elinkaari (Song ym. 2021).



## 2 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Maapallon ilmakehä päästää auringosta tulevan säteilyn maan pintaan, mutta samalla estää maapallon lähettämää lämpösäteilyä palaamasta takaisin avaruuteen. Maapallolle tulevan kokonaissäteilyn määrä on nykyisten arvioiden mukaan noin  $1360 \text{ W/m}^2$ . Maapallon lämpenemisen ja energiataseiden laskuissa kokonaissäteily määrä jaetaan neljällä ( $340 \text{ W/m}^2$ ), jotta auringon säteilemä energia saadaan jakautumaan tasaisesti koko maapallolle. (Ollila 2021.) Säteilyenergiasta noin 30 % heijastuu takaisin avaruuteen ja loput 70 % imeytyy maahan, vesistöjen pintakerrokseen ja ilmakehään muuttuen lämmöksi. Typpi ja happi muodostavat suurimman osan ilmakehästä, mutta ne eivät absorboi infrapunasäteilyä, joten ne eivät edistä maapallon lämpenemistä. (Nevanlinna 2008: 44-45.)

Maapallolla kasvihuoneilmiöstä huolehtii ilmakehän kasvihuonekaasut, tärkeimpinä vesihöyry ja hiilidioksidi. Vesihöyryn ja hiilidioksidin määrä ilmakehässä on valtakaasuihin, eli typpeen ja happeen verrattuna hyvin pieni, mutta siitä huolimatta ne estävät noin 90 % maanpinnan ja vesistöjen lähettämästä lämpösäteilystä palaamasta takaisin avaruuteen, joka on havainnollistettu kuvassa 2. Lisääntyvät kasvihuonekaasupäästöjen pitoisuus ilmakehässä vahvistaa kasvihuoneilmiötä, jonka seurauksena maapallon lämpötila on nousussa. (Nevanlinna 2008: 44-45.)



Kuva 2. Kasvihuoneilmiö (Climate Central 2014).

Ihmisen toiminnan seuraksena ilmaston lämpeneminen on yksi ihmiskunnan suurimmista kriiseistä. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia aiheuttaa erityisesti hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) määrän lisääntyminen ilmakehässä. Ilmaston lämpenemisen negatiiviset vaikutukset näkyvät jo nyt mm. jäätiköiden sulamisena ja merenpinnan nousuna. Kansainvälisen ilmastopaneeli IPCC:n (2021) mukaan ihmisen aiheuttama ilmaston lämpeneminen esiteollisen ajan jälkeen saavutti noin 1 °C:n vuonna 2017. Nousua viimeisellä vuosikymmenellä tapahtui noin 0,2 °C. IPCC:n tavoite on pysäyttää ilmaston lämpenemisen kasvu 1,5 °C:seen. (IPCC www-sivut.)

## 2.1 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä kuvataan ihmisen toimintaa ja tekoja, jotka aiheuttavat ilmastopäästöjä. Hiilijalanjäljen laskentaa voidaan hyödyntää esimerkiksi yritykselle, ihmiselle, tapahtumalle tai tuotteelle. Hiilidioksidipäästöjen lisäksi huomioidaan myös muut merkittävät kasvihuonekaasupäästöt kuten metaani (CH<sub>4</sub>) ja typpioksiduuli (N<sub>2</sub>O). Hiilijalanjäljestä käytetään lyhennettä CO<sub>2</sub>e, joka muodostuu tuotteen hiilijalanjälkeä laskettaessa energian käytöstä, kuljetuksista, materiaaleista ja jätteistä. Päästöjen massa kertoo hiilijalanjäljen suuruudesta. (Clonet Oy 2021.)

Hiilijalanjäljen laskenta perustuu elinkaariarviointiin (LCA), joka on laajasti käytetty ja hyväksytty sekä systemaattinen menetelmä ympäristövaikutusten arviointiin. Hiilijalanjäljen laskennalla saadaan selvitettyä tuotteen suurimmat päästölähteet ja tehdä kehitystyötä hiilijalanjäljen pienentämiseksi. (Liikanen 2021.) Monet yritykset ovat kiinnostuneet tuotekohtaisen hiilijalanjäljen määrittämisestä. Yritykset ovat usein tehneet jo tiettyjä valintoja vähentääkseen päästöjä, mutta nyt yritykset haluavat myös tietää tuotteidensa hiilijalanjäljen. Myös asiakkaiden kiinnostus hiilijalanjälkeä kohtaan on kasvanut. (Siitonen 2021.)

## 2.2 Aurinkopaneelin hiilijalanjälki

Aurinko on päästötön ja ehtymätön energianlähde, joka ei tuottaessaan aiheuta ilmastomuutokseen vaikuttavia kasvihuonekaasupäästöjä. Nykyiset aurinkoenergiajärjestelmät tarjoavat merkittäviä etuja verrattuna perinteisiin energialähteisiin, mutta se ei tarkoita, että ne olisivat kaikilta osin päästöttömiä. (Solarigo 2021.)

Aurinkopaneelien tuotannolla on edelleen merkittävä hiilijalanjälki, joka luo jälkeensä joukon ympäristölle haitallisia jätteitä sekä nestemäisiä ja kaasumaisia sivutuotteita. Paneelin komponenttien valmistus vaatii paljon energiaa. Esimerkiksi metallurgisen piin tuotanto vaatii korkeita lämpötiloja valtavissa uuneissa, joissa syntyy suuria määriä hiilidioksidia ja sulfideja. Suurin osa aurinkokennotehtaista sijaitsee Kiinassa, jossa sähköenergia tuotetaan pääsääntöisesti hiilellä. (Mulaney 2014.) Vuonna 2019 Kiina tuotti 68 % kiteisestä piistä, 96 % piikiekoista, 76 % aurinkokennoista ja 71 % aurinkopaneeleista maailmanlaajuisesti (Enkhardt 2021).

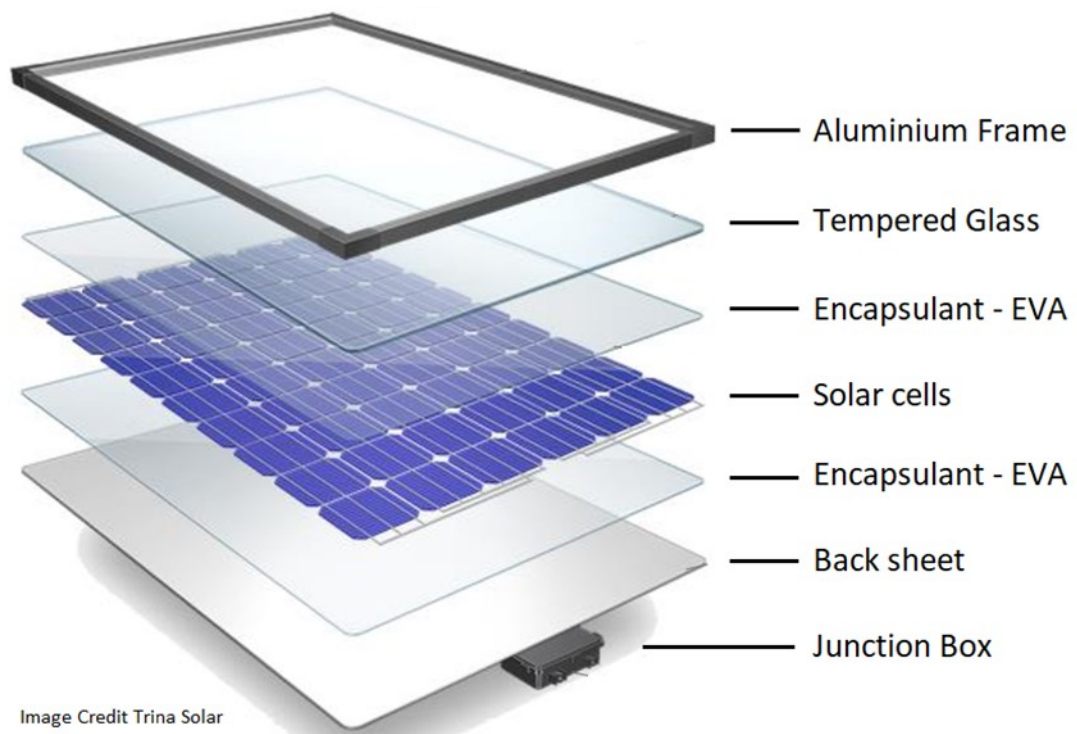
Aurinkopaneelit tuottavat sähköenergiaa, joten paneelin valmistukseen sijoitettu energia maksaa itsensä takaisin tietyn ajan kuluttua. Tyypillisesti energian takaisinmaksuaika paneeleissa on kuudesta kuukaudesta kahteen vuoteen. Tämä takaisinmaksu aika ei ole sama aika, joka kuluu kuluttajien taloudellisen investointien takaisin saamiseksi. Energian takaisinmaksuaika mitataan kilowattitunteina. (Mulaney 2014.)

Tänä päivänä halutaan tietää entistä enemmän paneelin valmistukseen sitoutuneen hiilen määrä. Hiili-intensiteettiä mitataan kilogrammaa hiilidioksidia kilowattituntia kohden. Hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat paikoissa, jotka ovat pitkälti riippuvaisia hiilestä saadusta sähköenergiasta. Esimerkiksi Kiinassa valmistetut komponentit sisältävät kaksi kertaa enemmän hiilipäästöjä kuin Euroopassa, jossa uusiutuvaa energiaa tuotetaan sähköverkkoon enemmän. Energiaratkaisuilla voidaan pienentää

kasvihuonekaasupäästöjä niin, että hiilikompensaatioon tarvittava aika olisi sama kuin energian takaisinmaksuaika. Aurinkopaneelituotantoa tapahtuu paljon Kiinassa ja paneelit asennetaan usein Eurooppaan tai Yhdysvaltoihin. Valmistamalla paneelit esimerkiksi aurinkoenergialla ja asentamalla ne korkean hiili-intensiteetin maihin, kasvihuonekaasupäästöjen takaisinmaksuaika on pienempi kuin energian takaisinmaksuaika. (Mullvaney 2014.)

### 3 AURINKOPANEELIN RAKENNE JA KOMPONENTTIEN VAIKUTUS HIILIJALANJÄLKEEN

Aurinkopaneelien tehokkuus on kasvanut vuosien mittaan, mutta siitä huolimatta paneelien perusrakenne on pysynyt samana. Suurin osa kaupallisista aurinkopaneeleista koostuu yksi- tai monikiteisistä piikkennoista, jotka on asennettu edessä sijaitsevan paneelilasin ja takaosan polymeerimuovisen levyn väliin, joka on tuettuna alumiiniseen runkoon. Kennot suojataan ja saadaan tiiviiksi kapselointikalvon avulla. (Svarc 2020.) Kuvassa 3 on esitetty aurinkopaneelin pääkomponentit.



Kuva 3. Aurinkopaneelin rakenne (Svarc 2020).

Aurinkokennojen valmistuksessa yksi- ja monikiteinen piikkenno on vakiinnuttanut asemansa aurinkopaneeliteknologiassa. Piikidekennojen osuus markkinoilla saatavista aurinkokennoista on noin 90 prosenttia. (Motiva 2020c.) Nykyaikaisten monikiteisen aurinkopaneelien hyötysuhde on tyypillisesti 15–17 %, kun taas yksikiteisen paneelin hyötysuhde on 17–22 % (Lane 2021). Toiseksi yleisin teknologia on ohutkalvokennot, joiden etuja on integroitavuus, edullinen hinta, ja valmistuksen ympäristöystävällisyys (Ralos

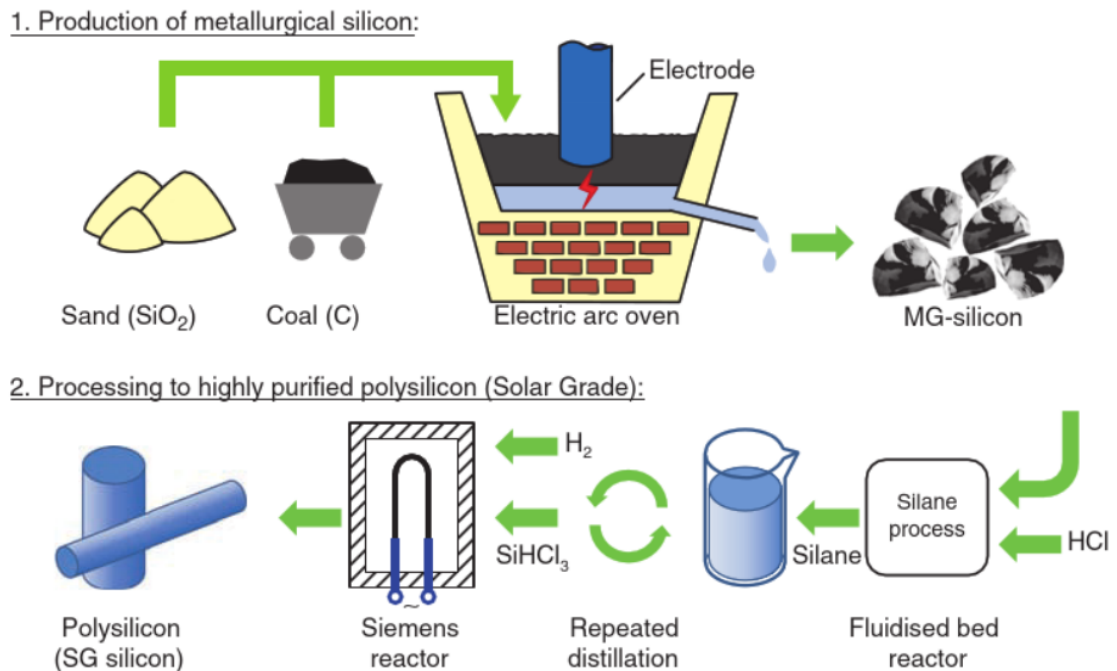
2020). Ohutkalvokennojen hyötysuhde on tavallisesti 9–11 prosenttia, joka on selvästi piikidekennoja pienempi (Motiva 2020).

Aurinkopaneelit altistuvat vuosien aikana useille sääolosuhteille, minkä vuoksi rakenteen suunnittelu on tärkeää. Lämpötilan, kosteuden, tuulen ja UV-säteilyn muutokset rasittavat paneelia, jonka luvataan kestävän yli 25 vuotta. (Svarc 2020.)

### 3.1 Piikkenno

Auringosta maanpinnalle saapuva säteilyenergia muunnetaan sähköenergiaksi aurinkokennon avulla. Aurinkopaneeli muodostuu useasta piikennosta. Pii (Si) on maailman toiseksi yleisin alkuaine hapen jälkeen. (Areva Solar 2021.)

Piidioksidi eli silika, on piin ja hapen yhdiste, joka mineraalina tunnetaan nimellä kvartsi. Aluksi kvartsi pelkistetään valokaariuunissa sähköenergian ja hiilen kanssa 1800 C-asteessa, josta syntyy metallurginen pii (MG-Si) 98 % puhtausasteella. Metallurgista piitä käytetään teräksen tuotannosta, mutta aurinkokennojen valmistukseen vaaditaan vielä suurempi puhtausaste. Hienoksi jauhettu MG-Si sekoitetaan leijupetireaktorissa suolahappoon (HCl) ja eksotermisen reaktion lopputuotteena syntyy trikloorisilaani (SiHCl<sub>3</sub>) ja vety (H<sub>2</sub>). Trikloorisilaani voidaan puhdistaa edelleen toistamalla tislamalla. Onneksi kiehumispiste on vain 31,8 °C:ssa. Piin talteenotto tapahtuu reaktorissa (Siemens Reactor), jossa kaasumainen trikloorisilaani vedyn kanssa syötetään 1350 °C:n kuuman ohuen piitangon ohi. Pii erottuu sauvan kohdalta erittäin puhtaana monikiteisenä piinä. Aurinkokennopiin tulee olla 99,999 % puhdasta, jotta sitä voidaan kutsua aurinkokennoluokan piiksi (SG-Si). (Mertens 2019: 104.) Prosessi on esitetty kuvassa 4.



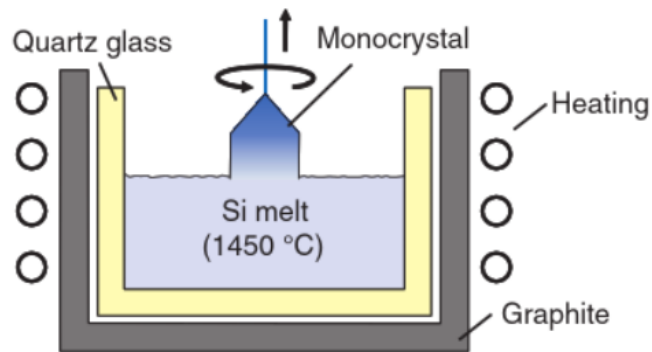
**Figure 5.1** Production of polysilicon from quartz sand

Kuva 4. Monikiteisen piin rikastus kvartsihiekkasta (Mertens ym. 2014).

Aurinkokennojen valmistus on suhteellisen energiantiivinen prosessi, jossa tarvitaan korkeita lämpötiloja. Erityisesti Siemens-prosessiin on etsitty korvaavia vaihtoehtoja piin puhdistamiseksi. Yksi mahdollisuus on käyttää leijureaktoreita, joissa tuotantoaste on korkeampi ja energiankulutus pienempi. Leijureaktorit ovat kuitenkin vaikeita käsiteltäviä, joka vaatii paljon taitoa ja kokemusta. (Mertens 2019: 104.)

### 3.1.1 Yksikiteiset piikennot

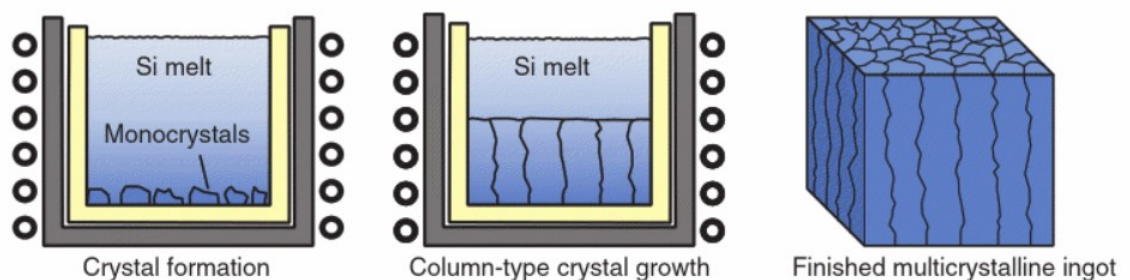
Yksikiteiset piikennot ovat monikiteistä piikennoa parempia hyötysuhteeltaan. Niiden kennot ovat yhtä kokonaista piikidettä. Valmistus tapahtuu yleisesti Czochralski-menetelmällä (CZ process). Kvartsista rikastettu polypiitangot sulatetaan sulatusastiassa 1450 celsiusasteessa. Metallitankoon kiinnitetty siemenkide upotetaan ylhäältä päin sulatettuun piihin, jonka jälkeen samaan aikaan ylösvedettäessä ja pyörittämällä siemenkidettä muodostuu kiinteä yksikiteinen piiharkko (kuva 5). Tällä menetelmällä saadaan korkeintaan 30 cm halkaisijan ja 2 m pitkiä lieriömäisiä piipylväitä. Aurinkokennojen valmistuksessa lieriöstä leikataan neljä palaa, jotta poikkileikkauksesta tulee neliön muotoinen. Yksikiteisen kennon tunnistaa pyöreistä särmistä. (Mertens 2019: 105.)



Kuva 5. Cz-prosessi (Mertens ym. 2014).

### 3.1.2 Monikiteiset piikennot

Monikiteisen piikennon tuotanto on yksinkertaisempaa ja halvempaa kuin yksikiteisten piikennojen tuotanto. Samaan tapaan kuin yksikiteisten piikennojen tuotannossa, myös monikiteisen piikennon valmistuksessa rikastettu pii sulatetaan sulatusastiassa. Sulatus tapahtuu lämmitysrenkailla jotka sijaitsevat graffitikuoren ulkopuolella. Kun aines on lämmitetty täysin nestemäiseksi, lämmitysrenkaat lähtevät hitaasti nousemaan alhaalta ylöspäin. Pohjasta päin jäähtynyt aines alkaa muodostaa yksittäisiä kiteitä, jotka kasvavat sivuille päin, kunnes kiteet koskettavat toisiaan. Pystysuorassa jäähtytyksessä kiteet kasvavat pylväsmäisesti (kuva 6). Kuution jäähtyttyä se paloittellaan tyypillisesti 12,5-15.5 cm levyisiin piharkkoihin. (Mertens 2019 :106.)



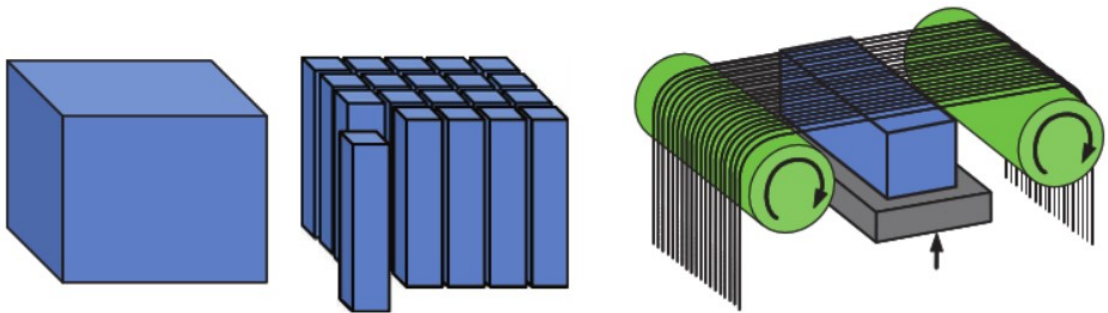
**Figure 5.4** Production of multicrystalline ingots

Kuva 6. Monikiteisen piharkon valmistus (Mertenz ym. 2014).

Valmistuksen jälkeen piharkot menevät lankasahalle, joka sahaa materiaalin 180 $\mu$ m paksuiksi ohuiksi kiekkoiksi. Ohut lanka (100-140 $\mu$ m) pyörii suurella nopeudella



piikarbidihukkasten läpi ja kuljettaa aiheutuvan piipurun sahausjätteeseen (kuva 7). (Mertens 2019 :107). Sauhausjätteen (KERF-jäte) kierrätysmenetelmiä on tutkittu viimeisten vuosien aikana paljon. Kemiallisilla, fysikaalisilla ja termisillä menetelmillä on mahdollisuus saada piipuru uudelleenkäytettäväksi kennojen valmistukseen. (Li ym. 2021.) Innovatiivisten tutkimusten tuloksena on kehitetty 100 prosenttisesti KERF-jätteestä valmistettu aurinkopaneeli, jonka hyötysuhde on 18,5 % (Beetz 2020).



Kuva 7. Monikiteisen piikiekon valmistus (Mertens ym. 2014).

Kennoaihiot puhdistetaan syövytyshauteessa epäpuhtauksien ja kidevaurioiden poistamiseen. Tämän jälkeen puolijohdelevyyn seostetaan n-tyyppinen, ohut kerros diffuusio-uunissa (800-900 °C) esimerkiksi fosforilla. (Mertens 2019: 108.) N-tyypin ohut kerros ja p-tyypin pohjaosan väliin tulee rajapinta, johon auringon säteilyn tulee yltää. N-tyypin pintakerrokseen asennetaan ohuita, tiheästi aseteltuja metallijohtimia, mitkä siirtävät sähkövirran leveämpiin keruujohtimiin, josta sähkö siirtyy eteenpäin. Kennon varjopuolelle asetetaan vielä juotosalustat, että yksittäiset kennot voidaan yhdistää kuparilangoilla paneeleiksi. (Perälä 2017.)

### 3.2 Kapselointikalvo (EVA)

Aurinkomodulin tärkein suoja ulkopuolisilta kuormituksilta on kapselointikalvo. Kapselointimateriaaleja on muutamia, mutta ylivoimaisesti yleisin on etyyliivinyyliasetaatikalvo eli EVA. EVA-kalvo on käytössä myös Salo Tech Oy:n tehtaalla. EVA on termoplastinen polymeeri, joka läpäisee säteilyä mutta ei hajoa auringon säteilystä. (De Rooij 2021b.)

Kapselointikalvo asetetaan aurinkopaneelikompleksin molemmille puolille, jotta se suo-  
jaa sähköisiä osia ympäristöltä ja mekaaniselta rasitukselta. Kapselointiaine toimii myös  
liimana aurinkopaneelilasille ja takakalvolle. Kapselointi tapahtuu laminoituuunissa noin  
150 °C lämpötilassa. Laminointi tehdään tyhjiössä ja puristuksessa, jotta lika ja kosteus  
eivät pääse kulkeutumaan sähköisiin osiin. (Mertens 2019: 111.)

### 3.3 Lasi

Aurinkopaneelin lasi on tärkeä osa toimivaa aurinkopaneelimuodua. Lasin tulee täyttää  
tietyt vaatimukset toimiakseen. Lasin tärkein tehtävä on suojata aurinkokennoja ulkoisilta  
tekijöiltä, kuten lumelta, jäältä ja muulta lialta. Aurinkopaneelilasin valinta perustuu myös  
aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhteeseen. (De Rooij 2021a.)

Aurinkopaneelilasin tulee olla säteilyä läpäisevää, vähän heijastavaa ja lujaa. Aurinko-  
paneelilasinä käytetään normaalisti 3-4 millimetrin paksuista karkaistua lasia. Lasin pin-  
nan tulee olla karkea, jotta EVA-kalvo tarttuu lasiin kiinni laminoinnin yhteydessä. Aurin-  
kopaneelilasiin asetetaan heijastamaton AR-pinnoite joka levitetään lasiin ennen sen  
karkaisua. Antireflex-pinnoite vähentää heijastuneen valon määrää ja lisää kennoon ab-  
sorboituneen auringonvalon osuutta. Karkaistua lasia valmistetaan termisin tai kemiallisin  
keinoin. Karkaistua lasia on jopa neljä kertaa vahvempi kuin levylasia. Karkaistua lasia on myös  
turvallinen, koska rikkoutuessaan se hajoaa pieniksi paloiksi vähentäen vakavan louk-  
kaantumisen riskiä. (Power From Sunlight 2017.)

### 3.4 Taustakalvo

Aurinkopaneelimuodua alimmaisiksi auringosta katsottuna asetetaan taustalevy. Pit-  
källä aikavälillä laadukkaan taustalevyn merkitys korostuu paneelin suorituskyvyssä.  
Taustalevyn tehtävä on suojata paneelia ulkoisilta tekijöiltä, kuten kosteudelta ja UV-  
säteilystä. Taustalevy toimii myös sähköeristeenä. (Saur News Bureau 2018.)

Taustalevytyypeistä yleisin on kaksinkertainen fluoripolymeeri, joka koostuu kahdesta  
ulkopuolisesta Tedlar-polyvinyylifluoridikalvosta (PVF), josta ydinkerros on polyetylee-  
niteftalaattia (PET). Fluoripolymeerien rakenne perustuu hiiliatomiketjuun, joka on koko-  
naan fluoriatomien ympäröimänä ja jotka vastaavat kerroksessa olevien atomiketjujen

paremmasta suojasta. Hinnaltaan kaksinkertaiset fluoripolymeerikalvot ovat kalleimpia. Yksi tapa vähentää paneelin kustannuksia on valita yksikerroksinen fluoripolymeerikalvo, joka säilyttää tyydyttävän kestävyden. Kerrosrakenne muodostuu tyypillisesti yhdestä Tedlar-kalvosta ja yhdestä PET-kalvosta. Markkinoilla on myös saatavilla taustalevyjä, jotka eivät sisällä fluoripolymeerejä. Tämä pitää sisällään tyypillisesti kaksi PET-kalvoa ja EVA-kalvon. Tämä ratkaisu on kaikkein edullisin. (Saur News Bureau 2018.)

### 3.5 Alumiinikehys

Aurinkopaneeli tarvitsee rungon kestääkseen. Kehyksen tehtävä on luoda vankka rakenne paneelimoduulille. Kehys on usein rakennettu suulakepuristetusta alumiinista. Alumiiniprofiilin etuja ovat keveys ja jäykkyys. Alumiinirunkojen kulmaosat voidaan valmistajasta riippuen ruuvata tai puristaa toisiinsa, jolloin paneelin lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat erilaiset. (Svarc 2020.)

### 3.6 Jakorasia

Jakorasia on pieni eristetty kotelo paneelin takapuolella. Paneelin kennosto on kytketty jakorasiaan, joka on kytketty muitten paneelien kanssa sarjaan. Rasia ja liittimet tulee olla vesitiiviitä. Paneelit liitetään aurinkosähköjärjestelmään tyypillisesti MC-4-liittimillä. (De Rooij 2021.)

Jakorasian sisällä on ohitusdiodit, joilla pystytään varmistamaan paneelin ja paneeliko-  
koonpanon toiminta, mikäli auringon säteily ei osu jokaiseen kennoon tasaisesti. Säteilyn voi estää esimerkiksi varjo, lika tai lumi. Jakorasiassa on tyypillisesti 3 ohitusdiodia kullekin kolmelle kennosarjalle. Paneelin kennot ovat kytketty sarjaan ja mikäli kennojen saama säteilyenergia ei ole tasainen, se aiheuttaa kennojen välillä tehovaihteluja, jotka johtavat jännite-eroihin. Kennon jännite muuttuu negatiiviseksi, mikäli sen läpi yritetään ajaa suurta virtaa. Kenno alkaa kyseisessä tilanteessa kuluttamaan virtaa lämmöksi sähkön tuottamisen sijaan, mikä johtaa kennon lämpenemiseen ja lopulta vaurioitumiseen. (Solaredge 2021.)

### 3.7 Aurinkopaneelin komponenttien vaikutus hiilijalanjälkeen

Elinkaariarvioinnilla voidaan arvioida tuotteesta tai palvelusta aiheutunutta ympäristövaikutusta. Hiilijalanjälki on yksi osa elinkaariarviointia ja kuvaa tuotteen elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Hiilijalanjäkilaskennassa kaikkien kasvihuonekaasujen ilmastonmuutosta edistävä vaikutus suhteutetaan hiilidioksidin ilmastonmuutosta edistävään vaikutukseen laskennallisilla kertoimilla. Ilmastonmuutosta edistävää vaikutusta mitataan hiilidioksidiekvivalenteilla (CO<sub>2</sub>e). (Liikanen 2021.)

Aurinkopaneelien hiilijalanjäljissä on eroavaisuuksia. Hiilijalanjälkeen vaikuttaa kennotyyppi, paneelin koko, sijainti ja energiankäyttömuodot. Paneelin komponenttien valmistukseen käytetään useita eri energiamuotoja. Energiaintensiivissä prosesseissa, kuten aurinkokennon valmistuksessa, vaikutus on suuri. Sijainnilla on myös suuri merkitys, koska se määrittelee logistiikan tarpeen (Peng ym. 2013). Aurinkopaneelin elinkaari voidaan jakaa osaprosesseihin, jossa on määritelty hiilijalanjäljen suuruuteen vaikuttavat tekijät. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan kolmea ensimmäistä osaprosessia.

Aurinkopaneelin valmistuksen hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa usealla eri tavalla. Aurinkopaneelivalmistajan näkökulmaan vaikuttaa suuresti taloudelliset seikat. Aurinkopaneelin suurimmat päästöt aiheutuvat materiaalien prosessoinnissa ja valmistuksessa, jonka myötä valmistusmaalla ja energian lähteellä on suuri merkitys. Suurin osa aurinkokennoista valmistetaan Kiinassa, jossa kivihillen osuus energiantuotannossa on noin 60 % (Bofit 2020). Kiinan hallitus on kuitenkin esittänyt tavoitteet fossiilisten polttoaineiden vähentämiseksi. Vuoteen 2060 mennessä fossiilisten polttoaineiden osuus energiantuotannosta olisi 20 %. (Ojalainen 2021).

Logistisilla valinnoilla voidaan myös usein vaikuttaa tuotteen hiilijalanjälkeen. Logistiset ratkaisut usein tehdään kuitenkin maantieteellisen sijainnin perusteella. Suurin osa maailman rahdeista kulkee meriteitse, jonka osuus on 80–90 %. (Schnurr ym. 2019). Tieliikenteen osuus liikenteen kokonaispäästöistä on suurin (72 %). Tieliikenteen päästöjen odotetaan pienenevän, koska suurin osa valtioiden toimenpiteistä kohdistuu tieliikenteeseen. Vuoteen 2030 mennessä lento- ja meriliikenne tulee nostamaan osuuttaan kuljetuksien päästöissä. (European Environment Agency 2021).

Aurinkopaneelin elinkaari osaprosessettain on esitetty taulukossa 1. Tässä työssä on tutkittu aurinkopaneelin tuotannosta aiheutuvia päästöjä, jotka on tummennettuna taulukossa.

Taulukko 1. Aurinkopaneelin hiilijalanjälki osaprosesseittain (Sievi-Korte 2018.)

<b>Osaprosessi:</b>	<b>CO<sub>2</sub>e suuruuteen vaikuttavat tekijät:</b>
Raaka-aineet	Malmin hankinta Kaivostoiminta Logistiikka Kaivannaisjätteiden käsittely
Materiaalin prosessointi	Prosessointiin sitoutunut energia Siemensprosessi Logistiikka
Tuotteen valmistus	Czochralskiprosessi Oheislaitteet Logistiikka Kokoonpanoon sitoutunut energia
Käyttövaihe	Asennus ja huoltotyöt
Käytöstä poistaminen	Kierrätys Termiset prosessit Kemialliset prosessit Logistiikka

## 4 TUTKIMUS

Salo Tech Oy:n valmistamien aurinkopaneelien hiilijalanjäljen laskenta rajataan tuotantolinjalta valmistuneeseen paneeliin. Laskennassa keskitytään paneelin tuotantovaiheeseen ja siihen sitoutuneeseen energiaan sekä päästöihin.

Laskenta on tehty tiiviissä yhteistyössä komponenttivalmistajien ja toimittajien kanssa, jotta laskennasta saadaan mahdollisimman luotettava. Tilattavien komponenttien valmistajilla osalla on omat laskelmat hiilidioksidipäästöistä, mutta osalle täytyy tehdä oma laskelma, jossa käytetään europästäisistä tehtyä laskentaa. Hiilijalanjäljen laskennassa käytetään apuna hiilijalanjälkilaskuria, joka kuhunkin laskelmaan on todettu sopivimmaksi. Aurinkopaneelin tuotantoon sopivaa laskuria ei ollut saatavilla.

Tutkimus kohdistui nimellisteholtaan 375-wattiseen yksikiteiseen piikennopaneeliin, joka sisältää 72 kennoa (kuva 8).



Kuva 8. SALO® 370-380W MONO (Salo Tech Oy 2021).

#### 4.1 Paneelin komponenttien valmistus ja hankinta

Salo Tech Oy:n paneelien komponentteja ei valmisteta tehtaalla, vaan tilataan komponenttien valmistajilta. Laskennassa on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon komponenttien valmistajien antamia tietoja, jos niitä on ollut saatavilla. Tutkimuksen alkuvaiheessa lähetettiin komponenttien valmistajille saatekirje, jossa pyrittiin kysymään valmiita päästölaskelmia, tai tietoja komponentin valmistukseen liittyvistä päästöistä (liite 1).

Paneelin komponentit on jaoteltu laskennassa kahteen kategoriaan. Komponentteihin, joista oli saatavilla valmiit laskelmat ja komponentteihin, joista laskenta on tehty europerusteisesti. Valmistajilla on usein antaa komponentin hiilijalanjälki CO<sub>2</sub>e kilogrammaa, kilogrammaa tuotetta kohden. Komponenttien laskenta on suoritettu massa perustuen, lukuun ottamatta aurinkokennoja, jonka hiilijalanjälki on kennokohtainen. Paneelikomponenttien hiilijalanjälki on 160,24 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli.

Taulukko 2. Komponenttien hiilijalanjälki valmistajien tietoihin perustuva (Frantti 2021b).

Materiaalit (valmistajien antamat luvut)	Päästökerroin CO <sub>2</sub> e (kg)	Päästö CO <sub>2</sub> e (kg)/ paneeli
Lasi (kg)	1,49	22,60
Yksikiteinen piikenno (kenno)	1,69	121,68
Alumiinikehikko (FIN) kierrätetty (kg)	1,32	3,76
EVA (kg)	4,21	1,47
Fluksi (kg)	0,80	0,01
Liima (kg)	7,40	1,63
<b>YHT</b>		<b>151,14</b>

Taulukko 3. Komponenttien hiilijalanjälki europerusteisella laskennalla (Frantti 2021b; Ilmastodietti 2019).

Materiaalit europerusteinen	Päästökerroin CO <sub>2</sub> e (kg) / €	Päästö CO <sub>2</sub> e (kg)/paneeli
Jakorasia	0,89	0,45
Ribbonit/kenno	0,89	3,84
Busbarit/kenno	0,89	0,84
Taustakalvo	0,89	3,88
EPE	0,89	0,10
<b>Yht.</b>		<b>9,10</b>

Taulukosta 2 voidaan huomata, että piikidekennojen hiilijalanjälki on merkittävästi suurempi, kuin muilla paneelin komponenteilla. Alumiinikehikon osalta on siirrytty kierrättämättömästä alumiinista kierrätettyyn, joka näkyy positiivisesti kehikon hiilijalanjäljessä.

Taulukko 3 koostuu komponenteista, joissa on käytetty europerusteista laskelmaa. Päästökerroin 0,89 CO<sub>2</sub>e/€ valikoitui elektroniikkateollisuuden hankintoihin perustuen ja tulokset ovat linjassa muihin komponentteihin nähden. Esimerkiksi EPE-kalvoa kuluu paneelikohtaisesti todella vähän, jonka takia hiilijalanjälki on vähäinen.

#### 4.2 Komponenttien rahdit

Paneelin valmistukseen vaadittavien komponenttien rahdit sisällytetään tuotteen hiilijalanjälkeen. Jotta rahtien hiilijalanjälki olisi selvitetävissä, on oltava tiedossa kuljetusmuoto, tyypillinen rahtikoko, reitti sekä käyttövoima. Tässä laskennassa on hyödynnetty Y-Hiilarin (2020) hiilijalanjälkilaskuria, josta löytyi selkeimmät laskentaperusteet tälle laskelmalle. Laskennan kilometrimäärät on laskettu saatavilla olevien kartta- ja reittipalveluiden avulla, joten niistä ei voi puhua absoluuttisen tarkkoina.

Keski-Euroopasta tulevien rahtien tarkkoja reittejä ei ollut saatavilla, joten laskennassa on tehty arvio lähtöpaikasta Saloon. Näiden komponenttien osalta on tehty laskelma, jossa oletuksena rahtikuorman toimitus lähimpään rahtisatamaan, josta rahti on kuljettettu laivarahtina Helsinkiin. Rahtien tulokset on tehty saatavilla olevilla tiedoilla niin tarkasti kuin mahdollista, mutta tulos on kuitenkin suuntaa antava.

Jokaisen rahdin osalta saadaan tietoon kuljetuksen suorat ja epäsuorat päästöt. Epäsuorat päästöt on polttoaineketjusta aiheutuneet päästöt. Paneelin komponenttien massat ovat tiedossa, joten rahdin nettopaino voidaan jakaa komponentin yhteen paneeliin kuluva massa, jolloin tulokseksi saadaan rahdin määrä paneelikohtaisesti. Esimerkiksi jakorasian (JB) paino on 0,3 kg ja niitä asennetaan paneeliin 1 kappale. Jakorasiarahdin nettopaino jaetaan yhteen paneeliin kuluvalle komponentin kokonaismassalla, jolloin tulokseksi saadaan jakorasioiden riittävyys yhtä paneelia kohden. Taulukossa 4 on esitetty komponentin rahtikoko kappalemäärällisesti, josta on laskemalla saatu paneelikohtainen hiilijalanjälki komponenttikohdaisesti. Kokonaisuudessaan rahtien hiilijalanjälki on n. 9,3 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli.



Taulukko 4. Rahtien paneelikohtainen päästö (Frantti 2021b; Y-Hiilari n.d.).

Komponentti	kpl (kg)/rahti (kg)	kg CO <sub>2</sub> e/paneeli
Lasi	1403,16	1,01
Kennot	2105,26	3,28
Karmisetti	1104,92	0,35
Taustakalvo	11514,29	0,05
EPE	7250,00	0,00
Jakorasia	13200,00	1,87
EVA	2914,29	2,22
Ribbonit	4090,91	0,01
Busbarit	8125,00	0,00
Fluxi	2454,55	0,38
Liima	8720,93	0,08
<b>YHT.</b>		<b>9,26</b>

#### 4.3 Tehtaan toiminnot

Salo Tech Oy:n aurinkopaneelitehtaalla tehdään paneeleita yhdessä vuorossa ja tuotantokapasiteetti 90-120 aurinkopaneelia työpäivässä. Laskennoissa on käytetty päivätuotantona 95 ja vuosituotantona 21660 aurinkopaneelia.

Tehtaalla on käytössä oma aurinkovoimala, jonka vuotuinen sähköntuotanto oli 364 MWh (2020). Aurinkovoimalan sähköntuotanto on kohdistettu kaikki tehtaan käyttöön, kattamaan 206 MWh (2020) vuotuista sähköenergian kulutusta. (Frantti 2021a.) Laskurissa vihreän sähkön luetellaan kuuluvan aurinko, vesi ja tuuli. Vihreän sähkön päästökerroin on 0 kg CO<sub>2</sub>e, joten Salo Tech Oy:n paneelituotannosta käytettävän sähköenergian päästöt ovat 0 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli. Salo Tech Oy:n aurinkovoimalan ylituotanto voidaan suhteuttaa keskimääräisen suomalaisen sähkönkulutuksesta aiheutuviin päästöihin. Keskimääräisen suomalainen asukas kuluttaa sähköä 14,6 MWh/vuosi ja keskimääräinen päästö on 131 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Motiva 2021a,b). Ylituotantoa voimalalla on 158 MWh, joten voimalan ylituotannolla voidaan kattaa yli 10 ihmisen vuosittainen sähkön kulutus. Tästä voidaan laskea, että aurinkovoimalan vihreällä energialla vältetään 20698 kilon hiilidioksidipäästöt.

Tehtaan lämpöenergian toimittaa Salon kaukolämpö. Salon kaukolämpö antaa lämmön-  
tuotannon päästökertoimeksi 236,15 g CO<sub>2</sub>e/kWh (Niemi 2021). Kokonaisuudessaan  
Astrum-keskuksen pinta-ala on 25000 m<sup>2</sup> ja Salo Tech Oy:n käyttämien tilojen pinta-ala  
on 2760 m<sup>2</sup>. Lämpöenergian kulutuksen osalta on laskettu kolmelta vuodelta keskiarvo,  
josta pystytään laskemaan tehtaan tuotanto- ja varastotilojen kaukolämmön kulutus (tau-  
lukko 5). Tehtaan lämpöenergian kulutus on arvioitu pinta-alan mukaan.

Taulukko 5. Salo Tech Oy:n kaukolämmön kulutus (Frantti 2021a).

Kaukolämmön kulutus	Määrä (MWh)
2018	2300
2019	1700
2020	1783
<b>Keskiarvo</b>	<b>1927,67</b>

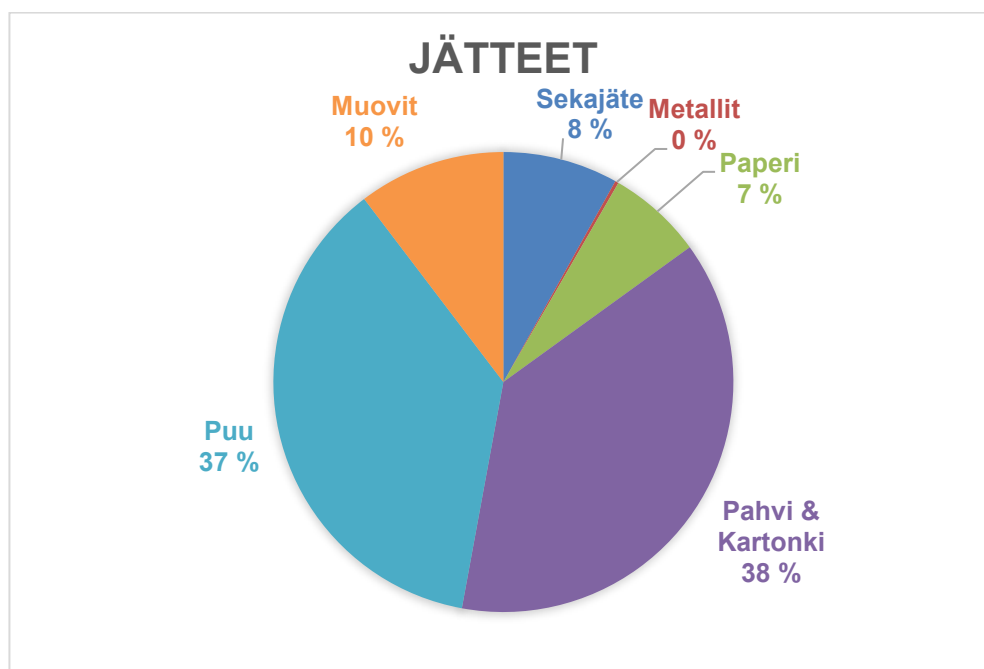
Laskurissa on automaattisesti lisätty myyjän ilmoittamaan päästökertoimeen 20 % polt-  
toaineketjun päästö. Laskemalla saadaan paneelikohtainen päästö. Salon Kaukolämpö  
käytti vuonna 2020 kaukolämmön tuotannossa 49,54 % turvetta ja 35,51 % puuta. Hiiltä  
ja öljyä poltettiin marginaalisesti. (Niemi 2021.) Kaukolämmön osalta tulokseksi saadaan  
2,78 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli (taulukko 6). Lämmitysenergian hiilijalanjälkeen on odotettavissa  
positiivinen muutos Salon Korvenmäen jätevoimalaitoksen tuotannon alettua keväällä  
vuonna 2021.

Taulukko 6. Lämmitysenergian hiilijalanjälki (Niemi 2021; HY Hiilifiksi n.d.).

Kohde	Päästö kg CO <sub>2</sub> e/paneeli
Vuosi	60307
<b>Paneeli</b>	<b>2,78</b>

Tuotannosta syntyvän jätteen määrä tulee myös sisällyttää hiilijalanjäljen laskemiseen.  
Janne Kauppi (2021) teki selvityksen Salo Tech Oy:n jätehuollosta, jossa selvitettiin pa-  
neelin valmistuksesta syntyviä jätemääriä. Tutkimuksen kesto oli kaksi viikkoa, joiden  
aikana tehokkaita työpäiviä oli noin kahdeksan. Lyhyen seuranta-ajan vuoksi kaikkia  
jätelajikkeita ei ehtinyt muodostua ja uudet kierrätyskäytännöt olivat työntekijöille vielä  
osin epäselviä. Selvityksen aikana valmistui 657 aurinkopaneelia. Jätettä syntyi 2,5 kg  
aurinkopaneelia kohden. (Kauppi 2021.) Kuvassa 9 on esitetty jätelajin prosentuaali-  
nen määrä yhtä paneelia kohden. Jätelajikkeiden hiilijalanjälkeen on sisällytetty sen

koko elinkaari. Yhtä paneelia kohden jätteestä syntyvä päästö on 0,72 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli.



Kuva 9. Syntyvän jätteen osuus aurinkopaneelia kohden (Kauppi 2021; HY Hiilifiksi n.d.).

Kiinteistöhuollon hiilijalanjäljen osalta siivous- ja puhdistuspalveluiden osuus on tehty europerusteisella laskennalla. Siivouspalveluiden ilmastovaikutuksen kerroin on Ilmastodietin (2019) arvioin mukaan 0,1 kg CO<sub>2</sub>e per euro. Paneelikohtaiseksi päästökseksi saadaan 0,023 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli.

#### 4.4 Henkilöstön hiilijalanjälki

Salotech Oy:n henkilöstölle tehtiin Google Forms-ohjelmaa käyttäen kysely, jossa selvitettiin työn ja kodin välisen liikenteen hiilijalanjälkeä (liite 2). Kyselyyn vastasi 11 henkilöä, eli kaikki Salotech Oy:n työntekijät. Tässä laskennassa ei otettu huomioon työasiamatkoja, koska niitä syntyy marginaalisen vähän.

Henkilökunnan keskimääräinen työmatka saatiin laskettua painotetulla keskiarvolla (kaava 1). Painotettua keskiarvoa käytetään, koska 72 prosenttia vastauksista painottui

pienimpään vastausvaihtoehtoon, eli 1-10 kilometriin. Painotettu keskiarvo ( $\bar{x}$ ) saadaan kertomalla jokainen luku ( $x$ ) omalla painoarvolla ( $w_i$ ) ja jakamalla painojen ( $p$ ) summalla. Painotettua keskiarvoa hyväksi käyttäen saatiin henkilökunnan keskimääräiseksi työmatkaksi 11,4 kilometriä.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}$$

Kaava 1. Painotetun keskiarvon kaava (Calculate.org 2021).

Henkilökunnasta 10 käyttää talvikaudella omaa henkilöautoa ja kesäkaudella 7. Työpäiviä vuodessa kertyy 228 (Teknologiateollisuus Ry. 2021). Oman auton omistavista 70 prosenttia ajaa bensiinikäyttöisellä autolla, 20 prosenttia dieselikäyttöisellä ja 10 prosenttia hybridikäyttöisellä. Käyttömuotojen päästökertoimiksi g CO<sub>2</sub>e/hkm on annettu: diesel 171, bensiini 192 ja hybrid 100. Talvi- ja kesäkauden kilometrit on laskettu prosentuaalisesti auton käyttövoiman mukaan. Julkisen liikenteen käyttäjiä ei ole yhtään. Tuloksesi saadaan noin 0,36 kg CO<sub>2</sub>e/paneeli (taulukko 7).

Taulukko 7. Henkilökunnan työmatkaliikenteen hiilijalanjälki (HY Hiilifiksu n.d.).

Henkilöautoliikenne, työmatkat	Ajetut km yht.	CO <sub>2</sub> e (kg)	CO <sub>2</sub> e (kg)/ paneeli
Ajetut kilometrit (diesel)	8809,1	1502	0,07
Ajetut kilometrit (benssiini)	30831,8	5923	0,27
Ajetut kilometrit (hybrid)	4404,5	440,45	0,02
<b>Yhteensä</b>	<b>44045,4</b>	<b>7865,45</b>	<b>0,36</b>

#### 4.5 Yhteenveto

Salotech Oy:n aurinkopaneelin hiilijalanjälki on taulukon 8 arvion mukaan 173,62 kg CO<sub>2</sub>. Paneelin komponenttien osuus muihin verrattuna on suuri. Sähköenergian kulutuksen kattaa oma aurinkovoimala, jolloin myös aurinkopaneelin hiilijalanjälki on pienempi.

Taulukko 8. Yksikiteisen piikennopaneelin hiilijalanjälki

Kohde	kg CO <sub>2</sub> /paneeli
Paneelin komponentit	160,25
Työmatkaliikenne	0,36
Kiinteistöhuolto	0,98
Rahdit	9,26
Sähköenergia	0,00
Lämpöenergia	2,77
<b>Yht.</b>	<b>173,62</b>

Opinnäytetyössä tutkitun yksikiteisen piikennopaneelin nimellisteho on 375W. Aurinkopaneelin wattimääräinen teho on laskettu laboratorio-olosuhteissa standardin mukaisesti 1000 kWh/m<sup>2</sup> säteilyteholla. Suomessa säteilymäärän vaihtelu on suuri kesän ja talven välillä, mutta pitkien kesäpäivien ansiosta säteily määrä on noin 800–1000 kWh/m<sup>2</sup>, sijainnista riippuen. (Lumo Energia 2021.) Eteläiseen Suomeen asennetun paneelin säteilytehon voidaan olettaa olevan 900 kWh/m<sup>2</sup>. On otettava myös huomioon, että piikennojen teho heikkenee elinkaarensa aikana. Salo Tech Oy:n (2021) valmistaman paneelin takuuehdoissa on mainittu, että paneeli menettää maksimissaan 3 prosenttia nimellistehostaan ensimmäisen vuoden aikana ja korkeintaan 0,72 prosenttia vuodessa seuraavan 24 vuoden aikana. 25 vuoden käyttöään jälkeen luvataan minimissään 80 prosentin tehoa paneelin nimellistehosta. Paneelin tekniseksi käyttöiäksi oletetaan 25 vuotta ja tehohäviötä tulee käyttöään aikana noin 20 prosenttia, joten sen laskennallinen kokonaistuotto on 8400 kWh. Hiilijalanjälki per kilowattitunti saadaan jakamalla kokonaishiilijalanjälki kokonaistuotolla jolloin paneelin hiilijalanjäljeksi saadaan 20,7 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Aurinkopaneelin kokonaishiilijalanjäljen määrittämiseen vaadittaisiin myös tuotantovaiheen jälkeiset päästöt, mutta tässä työssä niitä ei tarkastella. National Renewable Energy Laboratorion (2021) tutkimuksen mukaan valmistusprosessin päästöt ovat 60-70 prosenttia, tuottoajan huoltojen ja korjauksien osuus 21–26 % ja purkamisen ja kierrätyksen päästöt 5–20 % kokonaispäästöistä. Valmiin paneelin hiilijalanjälki on siis noin 65 % koko elinkaaren ajalta, joten paneelin arvioitu hiilijalanjälki koko elinkaareltä (gradle-to-grave) olisi kokonaistuottoon nähden noin 31,8 g CO<sub>2</sub>/kWh ja kokonaisuudessaan päästöjä syntyisi noin 267,1 kg CO<sub>2</sub>.

## 5 YHTEENVETO

Aurinkopaneelin valmistuksessa suurimman ilmastokuorman aiheuttaa paneelikomponenttien materiaalien louhinta ja prosessointi. Aurinkopaneelin hiilijalanjäljen selvityksestä tekee haastavan sen monta osaprosessia. Aurinkopaneelikomponenttien valmistajilta saatu informaatio komponentin valmistuksesta vaihteli suuresti. Muutamalla valmistajalla oli valmiit sertifioidut laskennat komponentin valmistuksesta materiaalien louhintaan saakka, mikä lisäsi hiilijalanjäljen laskennan luotettavuutta sekä helpotti laskentaa. Laskennan tuloksia vääristävät puuttuvat tiedot, joista on tehty arvio. Puuttuvia tietoja löytyy muun muassa paneelin komponenteissa ja rahdeissa. Komponenttien laskennassa europerusteisen hiilijalanjäljen tarkkuus on aina puutteellinen, koska valmistuksessa käytetyllä energiamuodolla voidaan suuresti vaikuttaa siihen, joten arvio saattaa helposti ylittyä tai alittua. Rahtien hiilijalanjäljen osalta kotimaan kuljetukset on selvillä hyvällä tarkkuudella. Ulkomaan kuljetuksissa Keski-Euroopan rahdeille oli selvillä ainoastaan lähtöpaikka ja päätepysäkki. Läpinäkyvyyden puutteen takia rahdin reitille ja kuljetusmuodolle on tehty arvio. Loput laskennat suoritettiin europerusteisella arviolla, jolla tarkkojen arvojen sijasta hiilijalanjäljen suuruusluokka saadaan tietoon.

On otettava huomioon, että tässä opinnäytetyössä hiilijalanjäljen laskenta on tehty tuotantolinjalta valmistuneelle aurinkopaneelille. Paneelin kokonaishiilijalanjälkeä tämä laskenta ei kerro, koska paneelin elinkaari jatkuu tuotantolinjalta eteenpäin. Tutkimuksesta on rajattu pois paneelin pakkaaminen, kuljetus, asennus, huoltotyöt ja kierrätys/hävittäminen.

Salo Tech Oy:n tehtaan toimintojen hiilijalanjäljen tarkkuus on hyvä ja laskenta tapahtui vaivattomasti, koska tiedot toimeksiantajalta oli suoraan saatavilla. Tehtaan sähkö- ja lämpöenergian tarpeet perustuvat vuositason keskiarvoon.

### 5.1 Pohdinta ja kehitysideat

Aurinkoenergian päästöt suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin on hyvin matalat. Esimerkiksi kivihiilen hiilijalanjälki on n. 1000 g CO<sub>2</sub>/kWh. Suomalaisen sähkön keskimääräinen päästökerroin on 131 grammaa hiilidioksidia tuotettua kilowattituntia kohden (Motiva

2021a). Tutkimuksessa tarkasteltavana olleen aurinkopaneelin kokonaishiilijalanjälki on 31,8 g CO<sub>2</sub>/kWh, jolloin kilowattia kohden päästöjen säästö on noin 100 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Tuotteen valmistuksen sitoutunut hiilivelka voidaan myös suhteuttaa suomalaisen sähkön keskimääräiseen päästökertoimeen, jolloin voimme arvioida takaisinmaksu ajan sitoutuneelle hiilelle. Paneeliin tuotantoon (cradle-to-gate) sitoutunut hiili on 173,62 kiloa hiilidioksidia, mikä jaetaan päästökertoimella 131 g CO<sub>2</sub>/kWh, saadaan tulokseksi noin 1325 kWh (Motiva 2021a). Toisin sanoen aurinkopaneeli on maksanut hiilivelkansa takaisin suhteessa suomalaisen sähkön päästöihin, kun paneeli on tuottanut 1325 kWh sähköenergiaa. Ajassa se on noin 3 vuotta ja 11 kuukautta. Lähdeviitteisiin perustuva arvio päästöistä koko elinkaarelta (gradle-to-grave) on noin 267,1 kg CO<sub>2</sub>, joka tarkoittaa päästöjen takaisinmaksuna noin 2038 kWh, toisin sanoen noin 6 vuotta ja 1 kuukausi.

Saksalaisen tutkimuslaitoksen Fraunhofer ISE:n (2021) mukaan EU:ssa valmistettujen perinteisten yksikiteisen lasi-taustakalvo-paneelien hiilidioksidiekvivalentti on 480 kg/kW. Tutkimuksessa nimellisteholtaan 375-wattisia paneeleita tarvitsisi 2,66 kappaletta, jotta pystytään vertaamaan tuloksia. Tutkimuksen tuloksena valmiin paneelin hiilijalanjälki on 173,62 kg CO<sub>2</sub>, ja kun tulos kerrotaan 2,66:lla, päästöjä syntyy kilowattia kohden 461,8 kg CO<sub>2</sub>. Koska tulos ei ole paneelin koko elinkaarelta, voidaan lisätä tulokseen 35 %:n päästöt paneelin valmistuksen jälkeisistä päästöistä, jolloin tulos on noin 710 kg CO<sub>2</sub>/kW.

Aurinkopaneelin komponenttien hankinnassa tuotantomaalla on suuri merkitys hiilijalanjälkeen. Yleisesti ottaen lähellä tuotettujen komponenttien jalanjälki on pienempi alhaisempien kuljetusmatkojen vuoksi. Komponenttien osalta kierrätysmateriaalista valmistetun komponentin hankinta on pienipäästöisempi, kuin neitseellisestä materiaalista valmistettu uusi komponentti.

Piikentöiden hiilijalanjäljen osuus aurinkopaneelin tuotannossa on merkittävä, lähes 70 % kokonaishiilijalanjäljestä. Piin louhinta ja prosessointi kiteiseksi piiksi sitoo paljon energiaa, ja valmistus tapahtuu vielä toistaiseksi maissa, joissa fossiiliset polttoaineet ovat pääasiallinen energian lähde. Piikentöiden kierrätysmenetelmiä on saatavilla, mutta kierrätysinfrastruktuurissa ja sen taloudellisuudessa on vielä kehitettävää (Vekony 2021).

## 5.2 Opinnäytetyön onnistuminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää aurinkopaneelin hiilijalanjälki ja sen tuotannosta syntyvät päästöt. Hiilijalanjäljen käsite on laaja, joten rajausta tehtiin opinnäytetyön alussa tuotantolinjastolta valmistuneeseen aurinkopaneeliin.

Komponenttien valmistajien aktiivisuus oli positiivinen yllätys. Yleisesti ottaen monista paneelikomponenteista oli tehty hiilijalanjäljen laskenta, joka lisäsi laskennan luotettavuutta ja vaivattomuutta. Toimeksiantajan roolia tässä opinnäytetyössä ei voi väheksyä. Halu tietää ja vaikuttaa tuotteiden hiilijalanjälkeen on suuri.

Hiilijalanjäljen tulos on hyvin pitkälti samaa luokkaa, kuin euroopan muissa maissa. Aurinkopaneelin elinkaari jatkuu tuotantolinjalta eteenpäin ja uskon, että toimeksiantajalla on hyvät eväät lähteä selvittämään lopun elinkaaren päästöjä.



## LÄHTEET

- Areva Solar 2021. Aurinkopaneeli. Viitattu 15.2.2021. <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkopaneeli>
- Beetz B. 2020. Making solar sizzle. Viitattu 14.11.2021. <https://www.pv-magazine.com/magazine-archive/making-solar-sizzle/>
- Bofit 2020. Kiina kattaa 85% energiantarpeestaan fossiilisilla polttoaineilla. Viitattu 20.10.2021. [https://www.bofit.fi/fi/seuranta/viikkokatsaus/2020/vw202002\\_4/](https://www.bofit.fi/fi/seuranta/viikkokatsaus/2020/vw202002_4/)
- Calculat.org 2021. Painotettu keskiarvo. Viitattu 28.10.2021. <https://www.calculat.org/fi/keskiarvo/painotettu-keskiarvo.html>.
- Climate Central 2014. The Greenhouse Effect. Viitattu 26.4.2021. <https://medialibrary.climate-central.org/resources/the-greenhouse-effect>.
- Clonet Oy 2018. OpenCO2. Taustaa. Viitattu 18.10.2021. <https://www.openco2.net/fi/taustaa>.
- De Rooij D. 2021a. Solar glass applications and comparison to Light-Trapping. Viitattu 16.2.2021. <https://sinovoltaics.com/learning-center/materials/solar-glass-applications-and-comparison-to-light-trapping/>
- De Rooij D. 2021b. Ethylene vinyl acetate eva film composition and application Viitattu 16.2.2021. <https://sinovoltaics.com/learning-center/materials/ethylene-vinyl-acetate-eva-film-composition-and-application/>
- European Environment Agency 2021. Viitattu 3.12.2021. <https://www.eea.europa.eu/themes/transport>
- Enkhardt S. 2021. Frameless glass-glass solar modules made in Europe have the best CO2 footprint, Fraunhofer ISE says. Viitattu 14.11.2021. <https://www.pv-magazine.com/2021/09/24/frameless-glass-glass-solar-modules-made-in-europe-have-the-best-co2-footprint-fraunhofer-ise-says/>
- Frantti M. 2021a. RE: Salo Techin tuotantotilojen tiedot. Yksityinen sähköpostiviesti 1.3.2021. Vastaanottaja Hakala O.
- Frantti M. 2021b. CO2-tietoja oppariin. Yksityinen sähköpostiviesti 22.4.2021. Vastaanottaja Hakala O.
- Green Building Council Finland 2020. Vähähiilisuuden sanakirja: vähähiilisen rakentamisen ja kiinteistöliiketoiminnan terminologia. Viitattu 22.11.2021. <https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/GBC-V%C3%A4h%C3%A4hiilisyys-sanakirja-27.5.2020.pdf>
- HY Hiilifiksi n.d. Helsingin yliopisto. Hiilifiksi järjestö -laskuri Päivitetty 3/2019. Ladattavissa: <https://blogs.helsinki.fi/hiilifiksi/laskuri/>
- Ilmastodieetti 2019. Salo M, Nissinen A, Mattinen M, Manninen K, Dahlbo H, Judl J, 2019. Ilmastodieetti – mihin sen antamat ilmastopainot perustuvat? Viitattu 17.10.2021. <https://ilmastodieetti.ymparisto.fi/ilmastodieetti/documentation/Laskentaperusteet.pdf>.

IPCC 2021. www-sivut. Viitattu 27.4.2021. <https://www.ipcc.ch/>

Kauppi J. 2021. Salo Tech Oy:n tuotannon jäteselvitys ja syntyvän jätteen kierrätysmahdollisuuksien selvittäminen. Viitattu 20.5.2021. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021111520237>

Lane C. 2021. Types of solar panels: which one is the best choice? Viitattu 20.11.2021. <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>

Leino M. 2021. Mitä hiilineutraalius tarkoittaa? Viitattu 13.11.2021. <https://useless.fi/mita-hiilineutraalius-tarκοittaa/>

Li J. ym. 2021. Progress in recovery and recycling of kerf loss silicon waste in photovoltaic industry. Viitattu: 13.11.2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586620320554>

Liikanen M. 2021. LCA consulting Oy. Tuotteen hiilijalanjälki. Viitattu 28.10.2021. <https://lca-consulting.fi/tuotteen-hiilijalanjalki/>.

Lucrativo 2021. Tuotteen elinkaarianalyysi: hiilijalanjälki ja muut ympäristövaikutukset. Viitattu 23.11.2021. <https://www.lucrativo.fi/artikkelit/11/Elinkaariarviointi+LCA>

LUT University 2019. Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. Viitattu 16.2.2021. [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa).

Mertens K. 2019. Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice. Second edition.

Mertens K, Roth G. 2014. Photovoltaics: Fundamentals, technology and practice.

Motiva 2021a. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Viitattu 14.11.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-paastokertoimet).

Motiva 2021b. Sähkön hankinta ja kulutus. Viitattu 14.11.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/sahkon\\_hankinta\\_ja\\_kulutus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/sahkon_hankinta_ja_kulutus).

Motiva 2021c. Aurinkosähköteknologiat. Viitattu 20.11.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)

Mulvaney D. 2014. IEEE Spectrum. Solar energy isn't always as green as you think. Viitattu 10.3.2021. <https://spectrum.ieee.org/green-tech/solar/solar-energy-isnt-always-as-green-as-you-think>.

Nevanlinna H. 2008. Muutamme ilmastoa. Viitattu 24.5.2021. [https://space.fmi.fi/MAGN/HN/ILMASTONMUUTOS-kirja/ilmaston\\_painon\\_pdf/455853\\_001\\_048.pdf](https://space.fmi.fi/MAGN/HN/ILMASTONMUUTOS-kirja/ilmaston_painon_pdf/455853_001_048.pdf)

Niemi J. 2021. Päästökerronin, opinnäytetyö. Yksityinen sähköpostiviesti 22.3.2021. Vastaanottaja Hakala O.

Nieminen M. 2018. IPCC. Viitattu 23.11.2021. <https://www.sll.fi/2018/11/26/ipcc/>

National Renewable Energy Laboratoro 2021. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics. Viitattu 15.11.2021. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>.

Ojalainen J. 2021. Kiina julkaisi suunnitelmansa päästöjen vähentämiseksi. Epäselvää on osallistuuko maan johto ilmastokokoukseen. Viitattu 27.10.2021. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/kiina-julkaisi-suunnitelmansa-paastojen-vahentamiseksi-epaselvaa-on-osallistuuko-maan-johto-ilmastokokoukseen/0bf8f597-0661-4046-8088-e84c7710d9d1>

Ollila A. 2021. Mitä on tapahtunut auringon aktiivisuudelle ja maapallon saamalle säteilymäärälle ja kuinka IPCC asiat raportoi. Viitattu 23.11.2021. <https://puheenvuoro.uusi-suomi.fi/aveollila/mita-on-tapahtunut-auringon-aktiivisuudelle-ja-maapallon-saamalle-sateilymaaralle-ja-kuinka-ipcc-asiat-raportoi/>

Peng J. ym. 2013. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews volume 19, 255-274. Viitattu 18.10.2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112006478>.

Perälä R. 2017. Aurinkosähköä. Espoo: Alfamer / Karisto Oy.

Power from sunlight 2017. Why Solar Panel Glass Is Very Important When Choosing Solar Panel Type? Viitattu 19.2.2021 <https://www.powerfromsunlight.com/why-solar-panel-glass-is-very-important-when-choosing-solar-panel-type/>.

Ralos 2020. Aurinkokennoteknologiat. Viitattu 26.10.2021. <https://www.ralos.eco/blogi/aurinkokennoteknologiat1596652>.

Salo Tech Oy 2021. Datalehti SALO 370W-380W Mono. Viitattu: 15.11.2021. <https://salotech.fi/wp-content/uploads/Datalehti-SALO-370-380-W-Mono.pdf>

Saur Energy 2018. BACKSHEETS Selecting the Right Materials for Solar Modules & EVA. Viitattu 18.10.2021 <https://www.saurenergy.com/solar-energy-articles/backsheets-selecting-the-right-materials-for-solar-modules-eva> takakalvo.

Schnurr R. ym. 2019. Marine Transportation and Energy Use. Viitattu 3.12.2021 <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/marine-transportation>

Sievi-Korte S. 2018. Aurinkosähkön ja tuulivoiman elinkaariarviointi ja hiilijalanjälki. Viitattu 16.10.2021. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26046/Sievi-Korte.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Siitonen S. 2021. Miksi tuotteen hiilijalanjälki kannattaa määrittää. Viitattu 9.10.2021. <https://www.clonet.fi/hiilijalanjalki/miksi-tuotteen-hiilijalanjalki-kannattaa-maarittaa/>

Solaredge 2021. Technical Note Bypass Diode Effects in Shaded Conditions. Viitattu 18.10.2021 [https://www.solaredge.com/sites/default/files/se\\_technical\\_bypass\\_diode\\_effect\\_in\\_shading.pdf](https://www.solaredge.com/sites/default/files/se_technical_bypass_diode_effect_in_shading.pdf).

Solarigo 2021. Perustietoa aurinkosähköstä. Viitattu 17.10.2021. <https://www.solarigo.fi/perustietoa-aurinkos%C3%A4hk%C3%B6st%C3%A4>.

Song X. ym. 2020. Life Cycle Assessment of Geotechnical Works in Building Construction: A Review and Recommendations. Viitattu 22.4.2021. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/20/8442/htm>.

Svarc J. 2020. Solar Panel Construction. Viitattu 16.2.2021. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>.

Teknolohiateollisuus Ry. 2020. Työntekijöiden työaika 2019-2021. Viitattu 10.10.2021. [https://teknolohiateollisuus.fi/sites/default/files/2020-01/Vuosity%C3%B6aika\\_2019-2021\\_2.pdf](https://teknolohiateollisuus.fi/sites/default/files/2020-01/Vuosity%C3%B6aika_2019-2021_2.pdf)

Vattenfall 2021. Aurinkovoima. Viitattu 16.2.2021. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>.

Vekony A. 2021. The Opportunities of Solar Panel Recycling. Viitattu 30.11.2021. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling>

Y-Hiilari n.d. Suomen ympäristökeskus. Y-Hiilari Hiilijalanjälki -työkalu. Päivitetty 10/2020. Ladatavissa: [https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus\\_\\_kehittaminen/Kulutus\\_ja\\_tuotanto/Laskurit/YHiilari](https://www.syke.fi/fi-FI/Tutkimus__kehittaminen/Kulutus_ja_tuotanto/Laskurit/YHiilari)

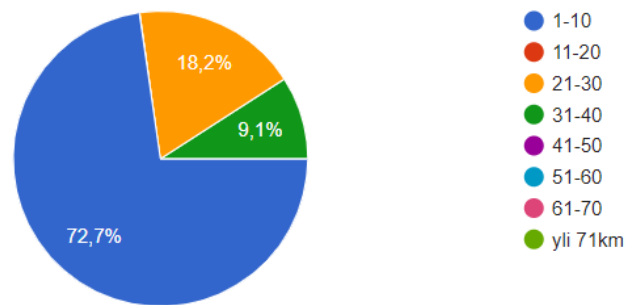
## Työmatkakysely Salo Tech Oy:n henkilöstölle

Kysely on osa opinnäytetyötä, jossa selvitetään Salo Tech Oy:n valmistaman aurinkopaneelin hiilijalanjälkeä

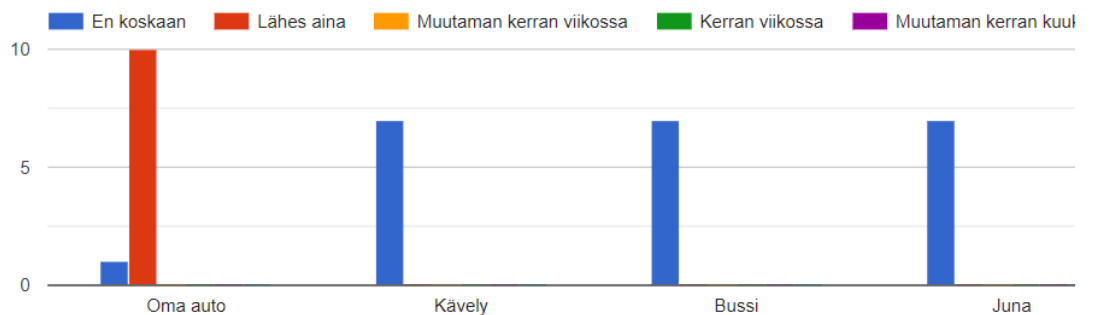
- Kysely tehty osana opinnäytetyötä Salo Tech Oy:n valmistaman aurinkopaneelin hiilijalanjälki
- Kyselyn alusta: Google Forms.
- Tekijä: Turun AMK:n energia- ja ympäristötekniikan opiskelija Otto Hakala
- Kysely aktiivisena 18.5- 8.9.2021.
- Vastauksia yhteensä 11.
- Kyselyn vastaukset ovat esitetty alla.

Työmatkan pituus, km (yhteen suuntaan)

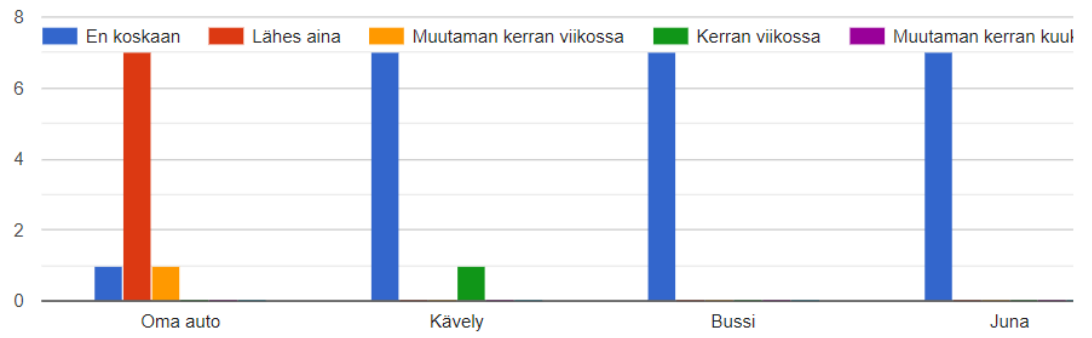
11 vastausta



Kuinka usein käytät kyseistä kulkumuotoa työmatkaan? (Talvikausi)

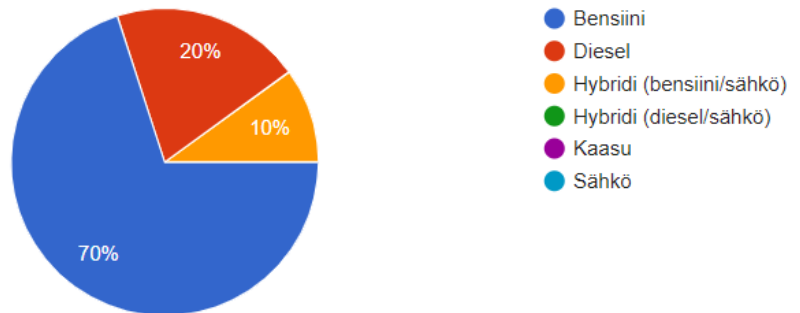


Kuinka usein käytät kyseistä kulkumuotoa työmatkaan? (Kesäkausi)



Jos oma auto, käyttövoima mikä?

10 vastausta





1.	Raw materials used in one product	kg/product		
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
	Total:	0		

Annual production capacity (pcs):

We need information on what materials have been used to make one component.  
Write the name of the material in the list and how much material was used to make one product.

Additional information:

1	Packaging material	kg/one package		
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				

How many products in one package:

Package Weight:

We need information on the packaging materials of the finished product  
What packaging material you use (paper, paperboard, plastic?) and how much is used in one package.

Additional information:

3	Transportation Emission (from supplier -> to Factory)	Type (truck, train, ship)	tons/shipment	
4.	1.			
5.	2.			
6.	3.			
7.	4.			
8.	5.			
9.	6.			
10.	7.			
11.				
12.				
13.				
14.				
15	Transportation Emission (from factory -> to Salo Tech Oy)	Type (truck, train, ship)	tons/shipment	
16.	1.			
17.	2.			
18.	3.			
19.	4.			
20.	5.			
21.	6.			
22.				
23.				
24.	How many package are in one shipment:	<input type="text"/>		
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				

Enter the material flows from the supplier to your factory  
For example:  
Helsinki -> Stockholm Ship 2t  
Stockholm -> Oslo Truck 2t

Enter the transport of the finished product from the Salo Tech Oy  
Same style as above.

Additional information:



3	Waste Type	tons/a																	
4	1.																		
5	2.																		
6	3.																		
7	4.																		
8	5.																		
9	6.																		
10	7.																		
11	8.																		
12	9.																		
13																			
14																			
15	<b>Additional information:</b>																		
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			
23																			
24																			

What production waste is generated and how much (paper, plastic glass, metal, electronics?)  
 You can also estimate the annual amount of waste if exact amounts are not available