

Slutarbete: (YH)

Utbildning: Energi- och miljöteknik

Slutarbetet klart: 2019

Isak Snickars

BÖJBARA TUNNFILMSSOLPANELER PÅ EN SOPBIL

SLUTARBETE | ABSTRAKT

ÅBO YRKESHÖGSKOLA

Energi- och miljöteknik

2019 | 33 sidor, 7 bilagssidor

Författare: Isak Snickars

BÖJBARA TUNNFILMSSOLPANELER PÅ EN SOPBIL

Syftet med detta arbete har varit att reda ut möjligheterna till att installera solpaneler på en sopbil. Under arbetets gång har det kommit fram att det bästa alternativet vore att använda böjbara tunnfilmssolpaneler eftersom de klarar av en hård belastning.

Solpanelerna skulle fästas på sopbilens tak och vid behov även på sidorna. Energiproduktionen blir förhållandevis dålig eftersom ideal vinkeln är 40–45 grader. Om man fäster det på taket eller sidorna så är det i princip den sämsta möjliga tänkbara vinkeln. Man kan dock konstatera att solpanelerna på taket skulle ändå producera mera elektricitet eftersom solpanelerna på taket är mindre i skugga.

NTM tillverkar vanliga sopbilar som går på diesel eller gas men de tillverkar också hybridsopbilar och elsopbilar. Möjligheterna till att installera solpanelerna på de olika sopbilstyperna har utretts. Ekonomiskt sett så verkar det som det bästa alternativet vore att installera solpaneler på en dieselsopbil – bara sopbilen skulle förbruka all elektricitet själv. Tyvärr så har NTM inte kunnat hitta några siffror på hur mycket elektricitet som en vanlig dieselsopbil producerar per dag. Dieselsopbilens elektricitet produceras med en dieselgenerator och det blir ganska dyrt att producera elektricitet med en dieselgenerator så därför vinner man ekonomiskt betydligt mera på att installera solpaneler på en dieselsopbil i jämförelse med en elsopbil.

Ekonomiskt sett så vore troligen återbetalningstiden 15–25 år för en hybrid- och dieselsopbil medans det för en elsopbil kan vara så långt som 50 år. Den förväntade livslängden för en sopbil är för det mesta 7–8 år så med tanke på det blir det väldigt svårt att få de investerade pengarna tillbaka. Prisutvecklingen för diesel och elektricitet är dock omöjligt att veta så de kan hända att återbetalningstiden blir längre eller kortare. Beroende på vad kundens intressen är så kan man ju ändå fundera på att installera solpaneler fast det ekonomiskt verkar dåligt. PR kan vara en grej som kunden uppskattar mera än den ekonomiska nyttan.

NYCKELORD:

Sopbil, böjbara tunnfilmssolpaneler, miljövänliga lösningar

BACHELOR'S | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and environmentally technology

2019 | 33 number of pages, 7 number of pages in appendices

Isak Snickars

THIN FILM SOLAR PANELS ON A REFUSE COLLECTION VEHICLE

The purpose of this work has been to assess the possibilities of installing solar panels on a refuse collection vehicle. During the work it has been found that the best option would be to use flexible thin film solar panels due to the fact that they can handle a hard load.

The solar panels would be mounted on the roof of the refuse collection vehicle and, if necessary, also on the sides. Energy production becomes relatively poor as the ideal angle would be 40–45 degrees. If you attach the panels to the roof or the sides, the angle is the worst possible. However, it should be noted that the solar panels on the roof would still produce more electricity than the solar panels on the sides as they are less in shade.

NTM manufactures ordinary diesel or gas refuse collection vehicles, but they also produce hybrid and electric refuse collection vehicles. The possibilities of installing the solar panels on the various types of refuse collection vehicles have been investigated. Economically, it seems that the best option would be to install solar panels on a diesel refuse collection vehicle – only it would consume all electricity itself. Unfortunately, NTM has not been able to find any statistics on how much electricity a regular diesel refuse collection vehicle produces per day. The power in a diesel engine is produced by a diesel generator and it is quite expensive to produce electricity with it. It is therefore significantly more economically profitable to install solar panels on a diesel refuse collection vehicle compared to an electric refuse collection vehicle.

In economic terms, the energy payback time for the solar panel system in a hybrid and diesel refuse collection vehicle would probably be 15–25 years, while for an electric refuse collection vehicle it could be as long as 50 years. The expected life expectancy of a refuse collection vehicle is usually 7–8 years, in the light of which it would be very difficult to pay back for the investment. The price trend for diesel and electricity is impossible to foresee, therefore the repayment period might be longer or shorter. Depending on what the customer's interests are, one can still consider installing solar panels although it's economically non-profitable. Good PR can be an aspect that the customer appreciates more than economical profit.

KEYWORDS:

Refuse collection vehicle, thin film solar panels, environmentally friendly solutions

INNEHÅLL

FÖRKORTNINGAR	6
1 INLEDNING	7
2 DELAR SOM BEHÖVS TILL PROJEKTET	10
2.1 Böjbara tunnfilmssolpaneler	10
2.1.1 Allmänt om solceller	11
2.1.2 Solcellernas funktion	12
2.2 Omvandlare	13
2.3 Kablar och PLC	14
2.4 MPPT	14
2.5 Solpanelssystemets funktion i ett hushåll	15
3 BÖJBARA TUNNFILMSSOLPANELER	17
4 PLANERING AV DE BÖJBARA SOLPANELERNA OCH ELTILLFÖRSELN TILL BATTERIET	19
4.1 Hybridsopbil	19
4.2 Elsopbil	19
4.3 Dieselsopbil	19
4.4 Lösning när batteriet är fulladdat	20
4.4.1 PLC	20
4.4.2 DC/DC omvandlare med regulator	20
5 EKONOMISKA ASPEKTER	21
5.1 Dieselsopbil	21
5.2 Hybridsopbil	21
5.3 Elsopbil	22
6 SOLPANELERNAS ELPRODUKTION	23
7 PRAKTISKA RÄKNE-EXEMPEL	27
7.1 Dieselsopbil	27
7.1.1 Solpanelssystem på 500 W	27
7.1.2 Solpanelssystem på 1500 W	28
7.2 Hybridsopbil	29

7.3 Solpanelssystem på 500 W på en elsopbil	29
---	----

8 SLUTSATSER	30
---------------------	-----------

KÄLLOR	32
---------------	-----------

BILAGOR

Bilaga 1. MiaSoles solpaneler
Bilaga 2. Solpanelernas elproduktion
Bilaga 3. Eurosolars offert

FIGURER

Figur 1. Utveckling av energikonsumtion i världen	7
Figur 2. Utveckling av koldioxidutsläpp	8
Figur 3. Tunnfilmssolceller, monokrystallina och polykrystallina solcellers produktionsutveckling i världen åren 2000–2015	10
Figur 4. Den årliga solstrålningen på jordklotet	11
Figur 5. Karta över solstrålningens mängder i Europa	12
Figur 6. Solpanelens funktionsprincip	13
Figur 7. MPPT:s funktionsprincip	15
Figur 8. Beskrivning av hur ett solpanelssystem fungerar	16
Figur 9. Ritningar på taket av en soppbil	23
Figur 10. Ritning av soppbilens sida	25

TABELLER

Tabell 1. Solcellsdata från olika bolag	17
---	----

BILDER

Bild 1. Bild av soppbilens tak	24
--------------------------------	----

FÖRKORTNINGAR

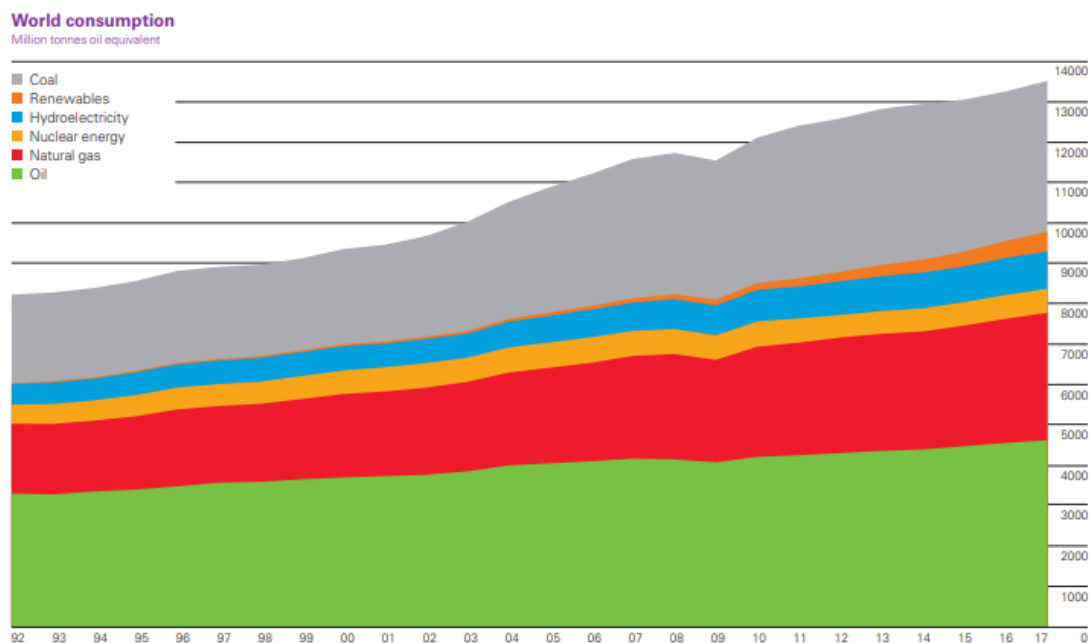
AC	Alternative Current
BMS	Battery Management System
DC	Direct Current
EMS	Energy Management system
MPPT	Maximum Power Point Tracker
NTM	Närpes Trä & Metall
PLC	Programmable Logic Controller

1 INLEDNING

Miljövänliga lösningar har alltid varit en viktig del av NTM:s (Närpes Trä & Metall) produkter. NTM har också mottot "Med kunden i tiden", vilket betyder att man vill leverera vad kunden vill ha. Därför är det också viktigt att detta projekt kommer igång eftersom en kund har varit intresserad av denna lösning. Förhoppningsvis kommer den också att bli verklighet i framtiden.

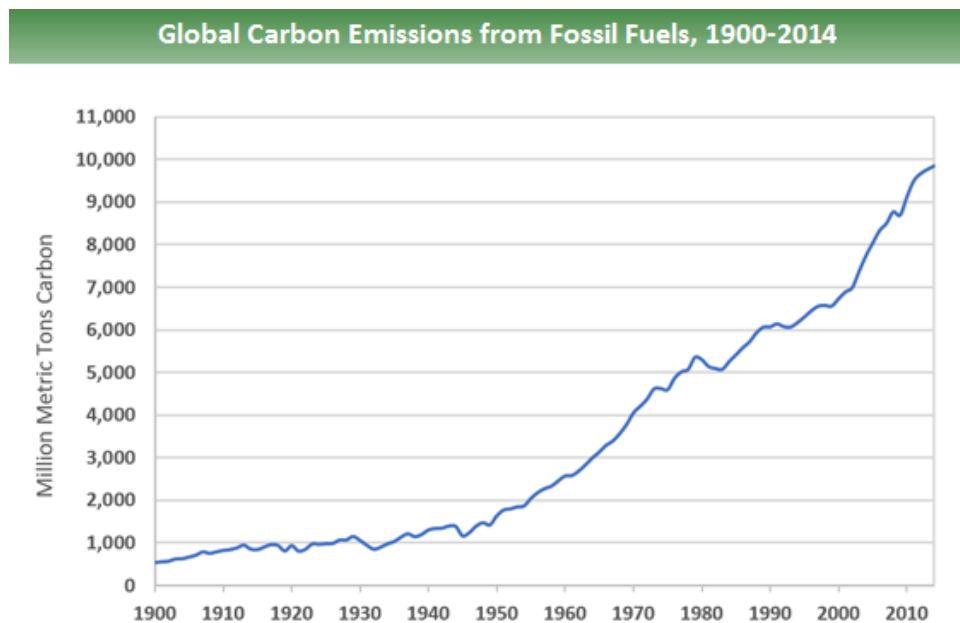
Det finns en begränsad mängd fossila bränslen i världen och råoljan kommer att ta slut någongång. Det finns många olika bedömningar när råoljan kommer att ta slut, vissa säger att den kommer att ta slut om 40 år och andra säger att den ännu räcker i 100 år. Det är omöjligt att säga exakt när den kommer att ta slut, det beror mycket på hur konsumtionen utvecklas i världen och om man hittar mera oljereserver. Man kan åtminstone konstatera att det är ohållbart att fortsätta leva som vi gör idag. Därför är det viktigt att hitta på alternativa miljövänliga lösningar.

Världens energikonsumtion har ökat väldigt mycket de senaste trettio åren som man kan se i figur 1. Förnyelsebara energiformer står för en väldigt liten del av världens energiproduktion. De fossila bränslena dominerar energiproduktionen. Om detta ska ändras så behövs drastiska åtgärder. Som man ser i figur 1 så är det ohållbart att fortsätta med denna konsumtion av fossila bränslen. Den förnyelsebara energiproduktionen har ökat markant de senaste 30 åren men den står fortfarande bara för en väldigt liten del av jordens totala energikonsumtion. En intressant iakttagelse är också att energikonsumtionen ökar hela tiden betydligt mer än vad den förnyelsebara energikonsumtionen ökar. Man kan konstatera att miljövänliga lösningar är viktiga för att skapa en hållbar framtid i världen.



FIGUR 1. Utveckling av energikonsumtion i världen (grå = kol, orange = förnyelsebar energi, blå = vattenkraft, gul = kärnkraft, röd = naturgas, grön = olja) (BP Global 2018)

Men att råoljan och andra fossila bränslen kommer att ta slut någongång i framtiden är inte det enda problemet. Koldioxidutsläppen är också ett stort problem som måste tas på allvar. För oss som bor i Norden är detta ännu inte ett så stort problem men det kan bli ett problem. Som man ser i figur 2 så har det skett en jämn ökning av koldioxidutsläpp i över 100 år. Om utvecklingen fortsätter i samma takt kan det få allvarliga följder.



FIGUR 2. Utveckling av koldioxidutsläpp 1900–2014 (Boden mfl. 2017)

Utvinning av råolja och andra fossila bränslen kan också leda till naturkatastrofer. T.ex. i Nederländerna har man börjat sätta begränsningar på utvinning av naturgas när man nämligen kommit fram till att utvinning av naturgas kan leda till jordbävningar. Råoljan har också många gånger läckt ut i naturen och orsakat stora miljökatastrofer. Listan på problem som uppstår när man använder fossila bränslen kan göras lång.

Man kan tycka att det är en droppe i havet att installera solpaneler på en sopbil och så minska på konsumtionen av fossila bränslen. Men någonstans måste man börja och varje steg mot en mindre förbrukning av fossila bränslen är ett steg i rätt riktning.

Eftersom böjbara tunnfilmssolpaneler är en ganska ny produkt så finns det inte så många fabrikanter som tillverkar denna produkt. Några fabriker finns i USA, Europa och Kina. Detta projekt kommer att reda ut vilka produkter som bäst lämpar sig för NTM:s sopbilar. Pris, effektivitet, kvalitet och garanti med mera kommer att tas i beaktande.

Idag är det sopbilarna som är den produkt som omsätter mest i bolaget NTM, ca 70 %. Trailers står för ca 30 % av omsättningen. Idag har NTM omkring 600 anställda och en omsättning på ca 85 miljoner €. Ungefär 420 av företagets anställda jobbar i Närpes där även den största delen av produktionen finns. En liten produktionsenhet finns även

i Estland. Över 75 % av produktionen går till export, främst till Sverige, Danmark, Norge, Island, Storbritannien, Ryssland, Tyskland, Polen, Holland, Österrike, Kroatien och de baltiska länderna. NTM har dotterbolag i Sverige, England, Estland, Tyskland, Ryssland och Polen. NTM är Nordens enda sopbilstillverkare, vilket ju är ganska intressant att lilla Närpes med endast ca 10 000 invånare har lyckats bli ledande inom sopbilstillverkningen i hela Norden. (NTM 2018.)

NTM:s produkter har ändrat mycket genom åren. Från början tillverkade man bl.a. kökstillbehör och reparerade jordbruksredskap. Lastbilskarosser har alltid varit en stor produkt för NTM. Man har även tillverkat frys- och kylbilar genom åren. Men det var först på 1970-talet som sopbilar började tillverkas, vilket man säkerligen kan säga att var företagets bästa beslut som tagits. Det är just på sopbilstillverkningen som företaget har kunnat växa ordentligt de senaste 20–30 åren, tack vare ständig produktutveckling. Företaget har haft en årlig ekonomisk tillväxt på ca 10 % de senaste 20–30 åren. (NTM 2018.)

Emil Westerlind har hjälpt till med planeringen. Han jobbar på det svenska företaget ETP, som planerar batterierna till de hybridsopbilar som NTM tillverkar.

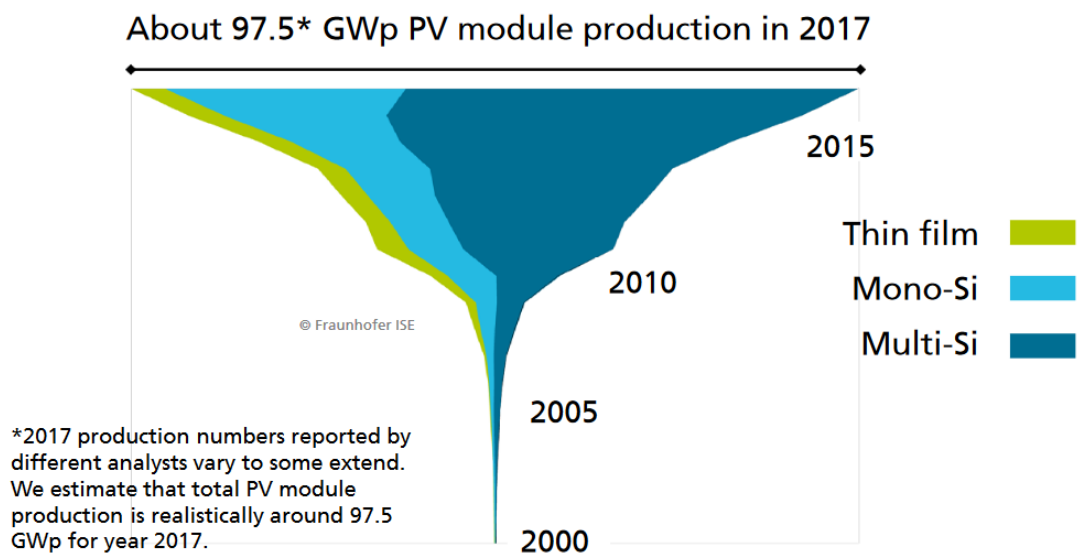
I kapitel två så kommer det att gås igenom vilka olika delar som behövs till detta projekt och solpanelernas funktionsprincip kommer också att gås igenom. Kapitel tre kommer att behandla böjbara tunnfilmssolpaneler och olika offerter som kommit in och tagits i beaktande. I kapitel fyra så gås igenom planeringen av solpanelerna och eltillförseln till batteriet och andra praktiska angelägenheter. Kapitel fem går igenom de ekonomiska aspekterna av att installera solpaneler på en sopbil med olika drivmedel. Kapitel sex behandlar solpanelernas elproduktion. I kapitel sju så gås igenom praktiska räkneexempel av att installera solpaneler på en sopbil och man får en liten uppfattning av vad återbetalningstiden kunde bli. Det sista kapitlet framför olika slutsatser som man har kommit fram till under slutarbetets gång.

2 DELAR SOM BEHÖVS TILL PROJEKTET

2.1 Böjbara tunnfilmssolpaneler

Det finns tre olika sorters solpaneler som dominerar marknaden idag men det finns också andra solpanelstyper som endast står för en liten del av marknaden. I figur 3 kan man se att monokrystallina och polykrystallina solpaneler är den klart vanligaste solcellstypen idag. Om man ser i figur 3 så kan man också konstatera att tunnfilmssolpaneler är förhållandevis ovanliga. Det i sin tur betyder att det är få distributörer som säljer produkten. Tunnfilmssolpaneler är eleganta på taket eftersom man får de integrerade med taket.

Annual PV Production by Technology Worldwide (in GWp)



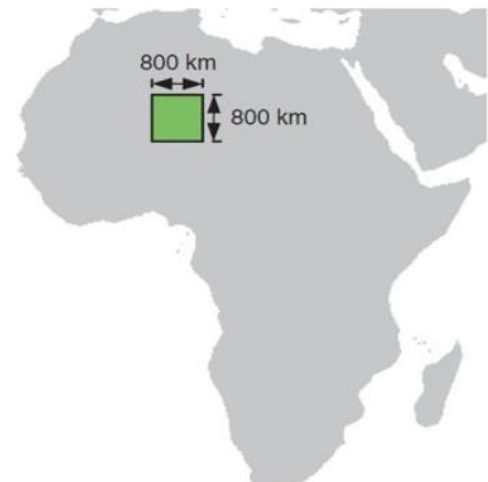
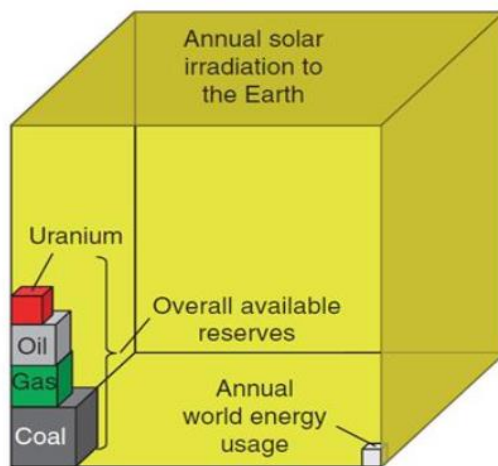
FIGUR 3. Tunnfilmssolceller (gröna), monokrystallina (ljusblåa) och polykrystallina (mörkblåa) solcellers produktionsutveckling i världen åren 2000–2015 (Fraunhofer ISE, 2017)

Böjbara tunnfilmssolpaneler är det enda möjliga eftersom solpanelerna måste vara hållbara och klara en hård belastning. Monokrystallina och polykrystallina solpaneler är därför inte tänkbara alternativ eftersom de troligen inte skulle klara av den hårda belastningen som det skulle medföra att ha solpaneler på en sopbil.

2.1.1 Allmänt om solceller

Solen frigör stora mängder energi vid fusion av väteatomer till heliumatomer. Av effekten som solen avger träffar ungefär 172 000 TW jorden. Till jordens yta når en effekt på ca 0,81 kW/m² efter att solstrålningen harit genom atmosfären. (Erat mfl. 2008, 10–11.)

Det finns enorma möjligheter med solenergin som man kan se i figur 4, om man skulle lägga solpaneler i Sahara på en yta som är 800 km x 800 km så skulle det täcka hela världens energikonsumtion. Om man ser på den vänstra stora gula lådan så visar den hur mycket solenergi som årligen träffar jordens yta. Den lilla vita lådan i den gula lådans högra nedre kant visar i proportion hur mycket energi som världen förbrukar varje år. Man kan konstatera att det finns enorma möjligheter med solenergi. Det räcker att endast en liten del av den solenergi som strålar till jordens yta tas tillvara så täcker den hela världens energikonsumtion. Då skall man förstås komma ihåg att det är en enorm utmaning att ta tillvara solenergin eftersom det behövs enorma mängder solpaneler för att det ska lyckas.



Source: K. Mertens: textbook-pv.org

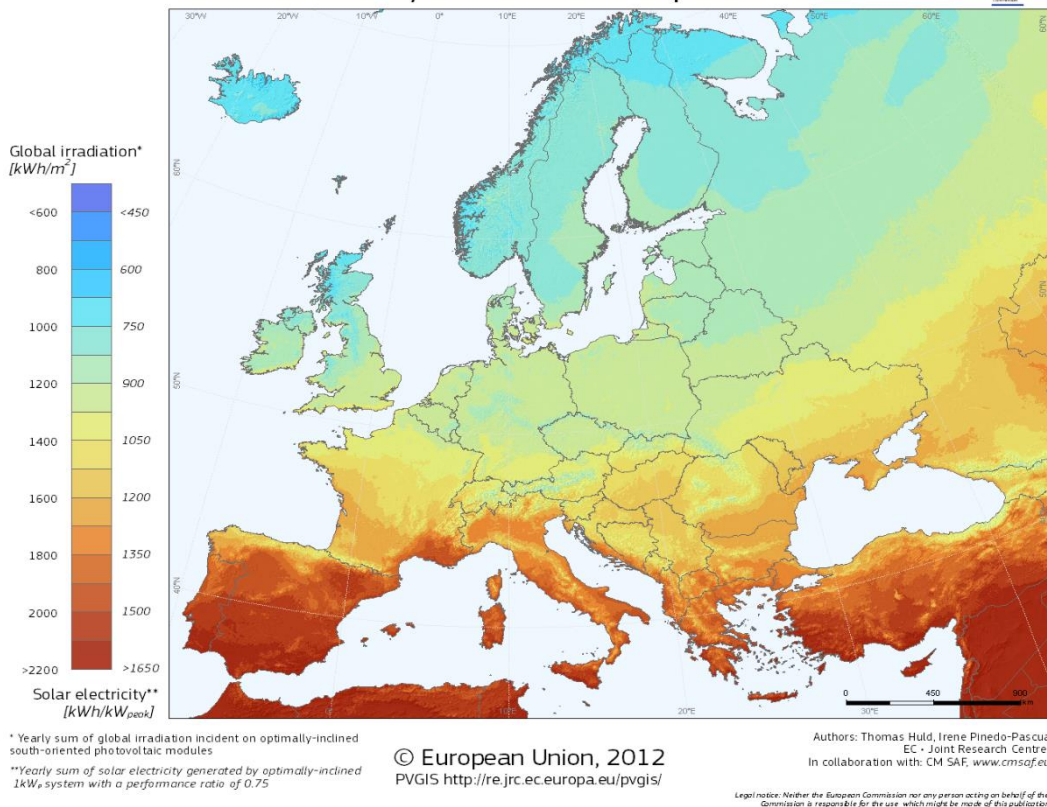
FIGUR 4. Den årliga solstrålningen på jordklotet (Mertens 2013)

Ett annat stort problem som uppstår är hur man skall lagra elektriciteten från solpanelerna, de flesta lösningar på att lagra elektricitet kan vara dyra. I den gula lådan i figur 4 så finns lådor som förevisar hur mycket reserver det finns av uran, olja, gas och kol. Skulle man ta tillvara all solenergi som kommer till jorden på ett år så skulle det vara betydligt mera energi än det som finns i världens fossila bränslereserver.

Figur 5 visar vad strålningsmängden är i olika länder i Europa. Den årliga strålningsmängden som når Finland är ca 900 kWh/m². Skillnaden mellan Tyskland och Finland är inte särskilt stor. Det intressanta är att man satsat mycket på solenergi i Tyskland

men inte i Finland. Men med tanke på strålningsmängden har vi nästan samma läge, så Finland kunde också satsa mycket mera på solenergi.

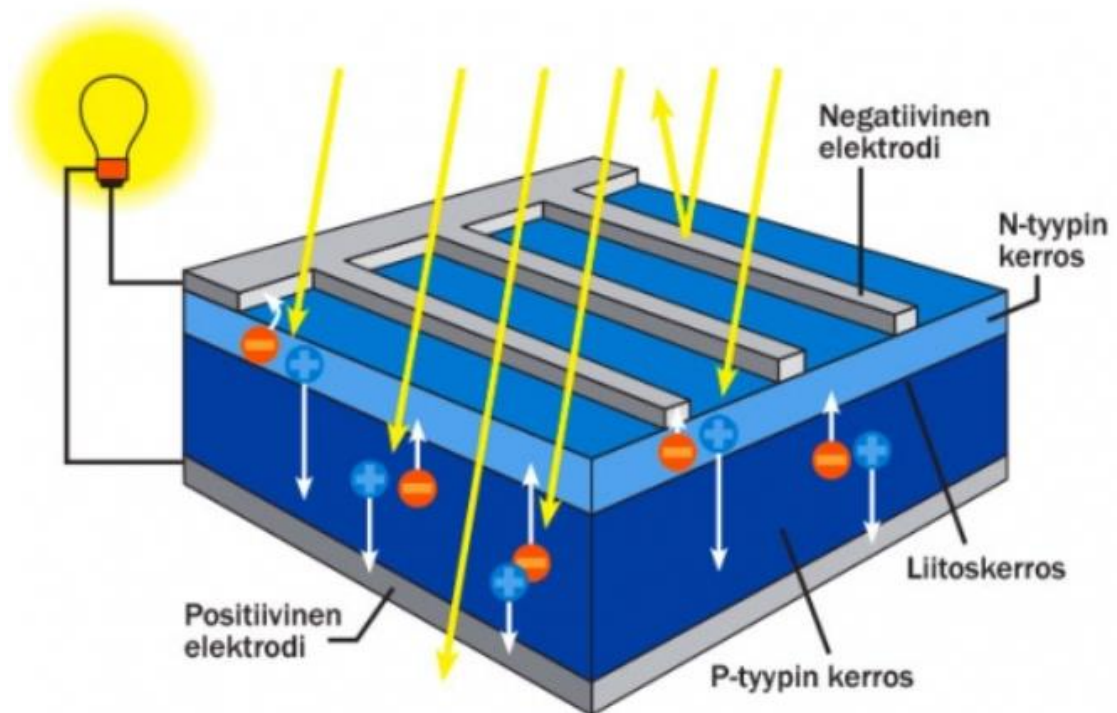
Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



FIGUR 5. Karta över solstrålningsmängder i Europa (Huld & Pinedo-Pascua 2012)

2.1.2 Solcellernas funktion

Solcellerna omvandlar ljus till elektrisk ström m.h.a. ljuskänsliga halvledardioder. Likström produceras tack vare den fotoelektriska effekten. I figur 6 kan man se funktionsprincipen för solcellerna. Solcellerna består av två olika skikt, ett P- och N-skikt, vilket delas av en PN-övergång. P-skiktet är dopat med bor och N-skiktet är dopat med fosfor. Elektronerna i solcellerna samlar sig på en sida och bildar öppningar på den andra sidan, därmed skapas ett elektriskt fält mellan skikten. När solljuset strålar så bildas par av elektroner och ström börjar genereras. (Erat m.fl. 2008, 120–121; Perälä 2017, 34–35.)



FIGUR 6. Solpanelens funktionsprincip (Ahjo Energia 2018)

Solpanelerna håller länge, deras effektivitet försämras endast ca 0,5 % per år. Många solpanelstillverkare lovar att energiproduktionen är över 80 % i jämförelse med nya solpaneler efter 25 års användning. Solpanelerna kan alltså användas länge. (Perälä 2017, 47.)

Det finns flera solceller i en solpanel. Storleken på en solcell är oftast 10 x 10 cm och den brukar vara 0,1–0,4 mm tjock. När solcellen träffas av ljus skapar den en spänning på 0,5 V. När strålmängden är konstant hålls strömmen väldigt jämn. Om strålmängden minskar så minskar också strömmens storlek. Spänningen i en enskild cell gör ingen nytta därför kopplar man solcellerna i serie så att man får en högre spänning. När spänningen är högre så är också verkningsgraden högre. Det är lättare att hantera och distribuera högre spänning istället för högre ström. Solpanelernas spänning brukar variera mellan 20–60 V. Det kan vara stora skillnader mellan olika solpaneler. (Perälä 2017, 46.)

2.2 Omvandlare

Det är ett måste att ha en omvandlare om man ska ha solpaneler på en sopbil och ta tillvara på elektriciteten. Spänningen som kommer från solpanelerna kommer att variera och batteriet måste laddas med en jämn spänning. Därför är det ett måste att använda en omvandlare. Det naturliga är att man skulle ha en DC/DC omvandlare eftersom spänningen som kommer från solpanelerna är likström och batteriet skall alltid laddas med likström.

2.3 Kablar och PLC

Kablarna som används skall vara hållbara eftersom det kan komma hårda belastningar. Utanför kablarna så skulle det gärna få finnas en metallyta som skyddar kablarna. Det behövs också kontakter så att man kan koppla ihop solpanelerna med elkablarna. Det vanligaste som man använder idag är MC4 kontakter.

PLC (Program Logical Controller) är i princip som en liten dator. Den kan programmeras att göra vissa uppgifter. Den tar emot signaler som den får och bearbetar dem och därefter kan den skicka ut signaler att utföra uppgifterna. PLC:n kan programmeras via en vanlig dator. (ABB 2018.)

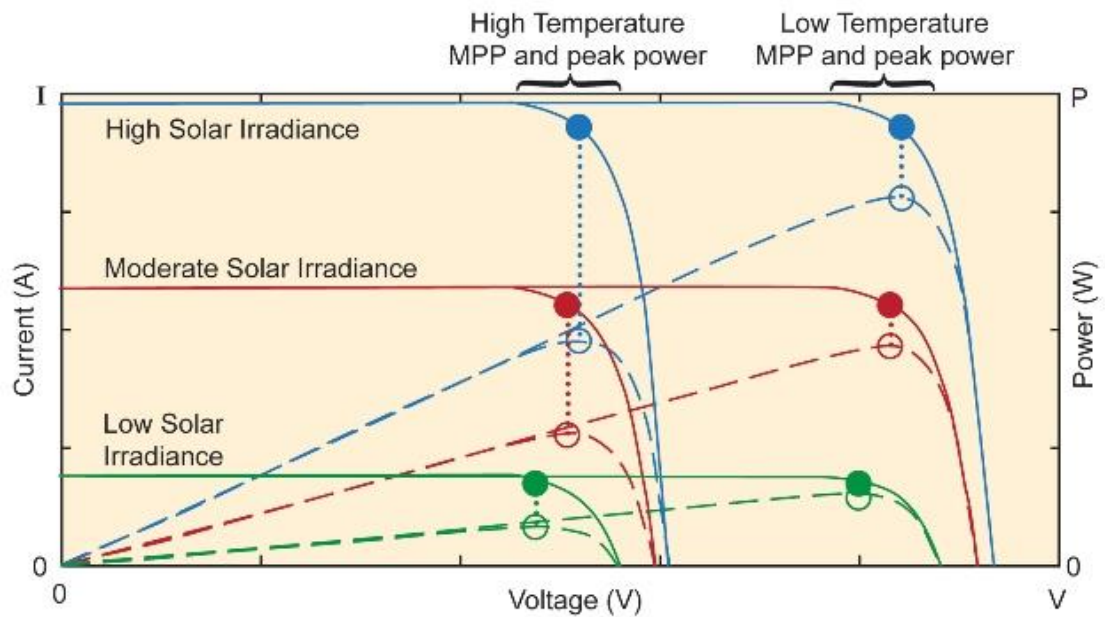
Till detta projekt kan det vara en bra lösning att ha en PLC som kan styra solpanelerna och batteriet. När batteriet är fullt och solpanelerna producerar mera elektricitet så kan man med hjälp av PLC:n bryta eltillförseln från solpanelerna till batteriet. Men det kan också finnas andra lösningar än att använda en PLC. Man kan också använda PLC:n som en EMS (Energy Management System). Med hjälp av EMS:n så kan man mäta ström- och spänningsstyrkan på olika komponenter.

2.4 MPPT

MPPT står för "Maximum Power Point Tracker". För att förstå dess funktion måste man först förstå formeln:

$$P = I \times U$$

Effekten är strömmens och spänningens produkt. Målet är att effekten d.v.s. elproduktionen ska vara så stor som möjligt. MPPT:s uppgift är att optimera spänningen och strömmen. Dess uppgift är att hela tiden leta efter den punkt var det produceras som mest elektricitet. Som man ser i figur 7 så varierar strömstyrkan mycket beroende på hur stark solstrålningen är. Solstrålningsstyrkan är vad den är och den kan man inte påverka men det som är möjligt är att hela tiden optimera effekten. MPPT ökar spänningen och minskar strömstyrkan eller vice versa beroende på behov. Som man ser i figur 7 så försöker MPPT hela tiden finna den punkt var det produceras som mest elektricitet.

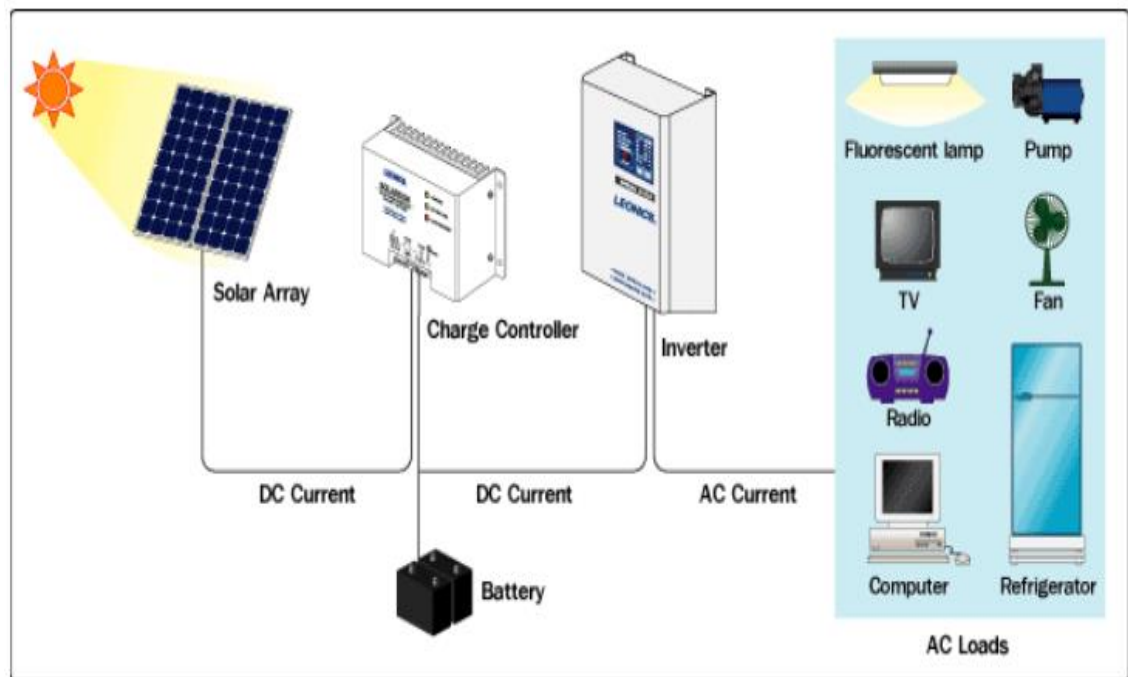


FIGUR 7. MPPT:s funktionsprincip (Latham 2013)

2.5 Solpanelssystemets funktion i ett hushåll

Solpanelerna producerar alltid likström (DC). Det är i princip alltid ett måste att man har en DC/DC omvandlare eller en DC/AC omvandlare. Beroende på vad syftet är med produktionen så omvandlar man elektriciteten till växelström eller så låter man den förbli likström. Om man har solpaneler i ett egnahemshus så omvandlar man alltid likströmmen till växelström. I Finland och Europa är det normalt att det kommer 230 VAC ur strömuttagen. Därför omvandlar man alltid likströmmen till 230 V växelström om man skall konsumera elektriciteten i ett egnahemshus. Däremot om man vill ladda ett batteri så laddas det alltid med likström. När solpaneler installeras på en sopbil så kommer elektriciteten som produceras att ledas till batteriet vilket då betyder att en DC/DC omvandlare behövs.

Figur 8 beskriver på ett bra sätt hur ett solpanelssystem fungerar i ett hushåll. Det kommer alltid likström från solpanelerna. Med hjälp av en DC/DC omvandlare som har en laddningskontroll så kan den bestämma nästa steg. Om det inte finns behov av effekt i hushållet så börjar laddningskontrollern ladda batteriet. Om batteriet är fullt så stänger man bort solpanelssystemet eller så kopplar man överloppselektriciteten till det allmänna elnätet. Om det finns behov av effekten i hushållet så omvandlar DC/AC omvandlaren likströmmen till 230 V växelström som man då kan använda.



FIGUR 8. Beskrivning av hur ett solpanelssystem fungerar (Leonics 2018)

3 BÖJBARA TUNNFILMSSOLPANELER

Eftersom det måste vara hållbara solpaneler till sopbilen så är böjbara tunnfilmssolpaneler det ända alternativet. Vanliga solpaneler skulle inte klara av belastningen av att vara placerade på taket av en sopbil. Det finns flera olika företag i Europa, Kina och USA som tillverkar böjbara tunnfilmssolpaneler men det har varit en utmaning att reda ut vilka företag som det skulle kunna lönsas att köpa dessa ifrån. Tabell 1 åskådliggör viktiga datan från alla olika bolag som har gett offert till projektet.

TABELL 1. Solcellsdata från olika bolag (Löfquist 2018; Körner 2018; Parker 2018; Ricci 2018; Liu 2018; Vienonen 2018; Lorenza 2018)

	€/Wp	kg/Wp	Wp/m ²	kg/m ²	Wp
Midsummer	1,9–2	0,032	108	3,5	180
Solbian Solar	4				
Global Solar	1,4–1,5				
Enecom	1,05	0,015	157	2,36	140
Shandong Sinoltech	1,9				
MiaSole	1,3	0,015	130	2	125
Flisom	0,85	0,021	94	2	120

En tillverkare är det svenska företaget **Midsummer** från Järfälla, nära Stockholm i Sverige. Detta är det enda företag som tillverkar böjbara tunnfilmssolpaneler i Norden. Priset på de böjbara tunnfilmssolpanelerna från Midsummer är ungefär 1,9–2 €/W, beroende på valutakursen och storlek. Solpanelerna väger 3,5 kg/m². Solpanelernas verkningsgrad är 15,5%. Modulernas utrymmeseffektivitet är 108 W/m². Vikt per watt är då 0,0324 kg/W. Det italienska bolaget Solbian gav också en offert. Deras pris är 4 €/W, vilket är betydligt dyrare än medeltalet. Det amerikanska bolaget **Global solar** gav också en offert. Deras pris är 1,4–1,5 €/W, beroende på valutakursen. Men på det tillkommer då transportkostnader och tull vilket gör att priset är ungefär detsamma som svenska bolaget Midsummer. Det italienska bolaget **Enecom** gav en offert på 1,05 €/W. Deras böjbara tunnfilmssolpaneler väger 2,36 kg/m². Så om man jämför med det svenska företaget Midsummer så verkar det var ganska lika prismässigt. Modulernas utrymmeseffektivitet är 157 W/m². Vikt per watt är då 0,015 kg/W. Det kinesiska företaget **Shandong Sinoltech** gav också en offert som låg på ca 1,9 €/W.

MiaSole har en distributör i Finland. Virte Solar som säljer vidare MiaSoles produkter har sitt lager i Åbo. Deras böjbara tunnfilmssolpaneler kostar 1,3 €/W. Deras vikt är 2,0 kg/m². Panelernas effekt är 110-125 W/m². Vikt per watt är då 0,017 kg/W. Man kan enkelt fästa de böjbara tunnfilmssolpanelerna på taket eller väggen m.h.a. lim. Bolaget Kiitokori har använt sig av samma lösningar på deras bussar och de har varit nöjda med resultatet. Det Schweiziska bolaget **Flisom** gav en offert på ca 0,85 €/W beroende på valutakurs. Men på det priset kommer också fraktavgifter och eventuell tull. Med deras lösning skulle man få rum med ca 94 W/m². Deras böjbara tunnfilmssolpaneler väger 2 kg/m². Vikt per watt är då 0,0213 kg/W. Solpanelernas verkningsgrad är 11%.

4 PLANERING AV DE BÖJBARA SOLPANELERNA OCH ELTILLFÖRSELN TILL BATTERIET

4.1 Hybridsopbil

Från början var det tänkt att elektriciteten som solpanelerna producerar kunde ledas direkt till elmotorn eftersom det blir ett visst svinn om elektriciteten far via batteriet. Men Emil Westerlind på ETP Krafterelektronik AB är kritisk till en sådan lösning. Han säger att det inte fungerar eftersom det vid en sopbilskomprimeringscykel kan behövas 26 kW effekt. Därför vore den bästa lösningen att elektriciteten som kommer från solpanelerna alltid laddar batteriet.

Solpanelerna producerar likström (DC). Den enklaste lösningen vore då att ladda sopbilens batteri direkt från solpanelerna med hjälp av en DC/DC omvandlare. Problemet som uppstår är att batteriet måste laddas med spänningen 110–120 VDC. Det är väldigt svårt att hitta DC/DC omvandlare som kan omvandla till 110–120 V. Lösningen på detta är att först så måste en DC/AC omvandlare omvandla elektriciteten till 220–230 VAC (växelström) med en ren sinusvåg. Sopbilen kan nämligen laddas från det allmänna elnätet med 220–230 VAC. Därför så skulle den enklaste lösningen vara att koppla DC/AC omvandlaren direkt till AC/DC omvandlaren som redan finns med i originalutrustningen. En viktig sak är att DC/AC omvandlaren bör producera en ren sinusvåg annars kan AC/DC omvandlaren gå sönder. En nackdel med denna lösning är att energiförlusterna blir större, DC/AC och AC/DC omvandlaren har en verkningsgrad på ca 90–95 %. Om det t.ex. skulle vara så att båda har en verkningsgrad på 90 % eller 95 % så vore verkningsgraden 81 % eller 90 %. Om det finns en DC/DC omvandlare på marknaden som kan omvandla spänningen till 110–120 V vore det troligen det bästa alternativet.

4.2 Elsopbil

Elsopbilen fungerar på precis samma vis som en hybridsopbil. Den ända skillnaden är att en elsopbil ska laddas med en spänning på 400–750 V. Men det uppstår samma problem som med hybridsopbilen att hitta en DC/DC omvandlare som kan omvandla till denna spänningsnivå. Men det största problemet är att få lov av chassi tillverkaren att koppla in ett solpanelssystem. Ur en säkerhetssynvinkel blir det lätt farligt med så höga spänningsnivåer.

4.3 Dieselsopbil

Lösningen är enklare till en dieselsopbil eftersom deras batterier skall laddas med 24 VDC. Det finns många DC/DC omvandlare på marknaden som kan omvandla till 24 VDC. Elkonsumtionen är förstås betydligt lägre på en dieselsopbil i jämförelse med en hybridsopbil. Men det är ändå ganska små mängder elektricitet som solpanelerna

producerar. Om man skulle installera ett 500 W solpanelssystem på taket så skulle det producera ungefär 2 kWh per dag på sommaren när elproduktionen är som störst.

NTM har inte hittat några siffror på hur mycket en dieselsopbil konsumerar per dag men troligen konsumerar den så pass mycket att det kunde vara en bra ide att installera solpaneler på en dieselsopbil. Ca 1/3 av sopbilarna som NTM säljer körs med dubbla skiften så det betyder att sopbilen troligen kör 15–16 timmar per dag vilket också betyder att det går en hel del elektricitet till lysen och andra elförbrukande föremål som finns på en sopbil. Därför vore troligen det mest lämpliga att installera solpaneler på en sopbil som kommer att köras i dubbla skiften.

4.4 Lösning när batteriet är fulladdat

Det finns flera olika sätt att lösa problemet som uppstår när batteriet är fulladdat och solpanelerna producerar mera elektricitet. Om batteriet blir överladdat så kan det förstöra batteriet därför så måste det finnas någon lösning vad som händer när batteriet är fullt. Solpanelerna måste kopplas bort isåfall. Om man ser ur en säkerhetssynvinkel så är det inga problem att man kopplar bort solpanelerna de kommer nämligen bara att förbli en spänning i solpanelerna men den försvinner ingenstans och inga problem uppstår heller. Elektriciteten som produceras går förstas förlorad. Nu går igenom två alternativa lösningar.

4.4.1 PLC

Westerlinds lösning på detta är "BMS (Battery Management System) kommer automatiskt att bryta laddningen av batteriet om battericellerna går höga. Men för att det ska fungera på ett bra sätt så kommer solcellerna att behöva en PLC som kan bryta laddningen av batteriet med hjälp av information från BMS. Annars kommer BMS bryta strömmen till batteriet och det kommer varken att gå att köra eller ladda". PLC:n kan också fungera som en EMS (Energy Management System).

4.4.2 DC/DC omvandlare med regulator

Det finns DC/DC omvandlare på marknaden som har en inbyggd regulator. Men det är mycket svårt att hitta en DC/DC omvandlare på marknaden som kan omvandla spänningen till 110–120 V. Om man dessutom skall försöka hitta en omvandlare som har en inbyggd regulator blir det väldigt svårt. Däremot finns det många DC/DC omvandlare som kan omvandla till 24 V. Det finns också sådana som har en inbyggd regulator. Sammanfattningsvis kan man konstatera att denna lösning vore den enklaste till en dieselsopbil eftersom deras batterier laddas med 24 V. Därför vore den klokaste lösningen om man installerar solpaneler på en dieselsopbil att man installerar en DC/DC omvandlare som har en regulator som kan koppla bort elektriciteten som kommer från solpanelerna ifall batteriet håller på att bli fulladdat.

5 EKONOMISKA ASPEKTER

Det finns tre olika sorters sopbilar som NTM tillverkar, vanliga sopbilar som drivs på diesel eller gas. Gassopbilar är dock ovanliga. Sedan finns det också hybridsopbilar som drivs på elektricitet som det får från ett batteri. Batteriet kan laddas från det vanliga elnätet. Men när batteriet börjar ta slut så laddas batteriet med en dieselgenerator eller så börjar den gå som en helt vanlig dieselsopbil. Man måste manuellt byta från att köra på elbatterierna till att köra på diesel. Vissa av hybridsopbilmodellerna kan man ladda med en dieselgenerator och således fortsätta att köra den på el. Men de äldre modellerna av hybridsopbilarna som NTM tillverkat kan man inte ladda med dieselgeneratorn så då är man tvungen att börja köra hybridsopbilen som en vanlig dieselsopbil. Sedan finns det också elsopbilar som NTM endast har byggt en av. Men kanske mera i framtiden.

5.1 Dieselsopbil

Lastbils chassiet har två stycken 12 V batterier som har 180 Ah eller 225 Ah kapacitet. Batterierna kopplas i serie så att man får en 24 V spänning. Ah betyder Amperetimme och är en måttenhet för elektrisk laddning. Om batteriet har en kapacitet på 180 Ah så betyder det att den kan leverera 180 A i en timme eller 1 A i 180 timmar. Beräkningarna är gjorda med nominalspänningen. Batterierna kan således laddas med denna mängd elektricitet:

$$E = Pt$$

$$E = UnomIt$$

$$E = 2 \times 12 V_{nom} \times 180 Ah = 4,32 kWh$$

$$E = 2 \times 12 V_{nom} \times 225 Ah = 5,4 kWh$$

Om en dieselsopbils elkonsumtion är så stor att all elektricitet som skulle produceras förbrukas så vore det ekonomiskt en mycket god ide att installera solpaneler på en dieselsopbil. Som det finns räknat i kapitel 5.2 under hybridsopbil så kostar det ungefär 38 cent/kWh att producera elektricitet med en dieselgenerator. Därför vore det ekonomiskt en god ide att installera solpaneler på en dieselsopbil.

5.2 Hybridsopbil

Solpaneler till en hybridsopbil är ekonomiskt lönsammare eftersom man vinner betydligt mer på att producera el till en hybridsopbil i jämförelse med en elsopbil. Om man tar ett kort räkne-exempel. En liter diesel innehåller 9,8 kWh energi. Om man då ska omvandla det till elektricitet så kommer en hel del av energin att bli spillvärme. Man kan ungefär räkna att 35 % av energin kommer att omvandlas till elektricitet. NTM hittade inga värden på dieselgeneratorns verkningsgrad men den ligger troligen runt 30–40% (Vikström 2014).

$$9,8 \text{ kWh} \times 0,35 = 3,43 \text{ kWh}$$

$$1,3 \div 3,43 \text{ kWh} = 0,38 \text{ €/kWh}$$

Resultatet kan säkerligen variera en hel del beroende på omständigheterna men det är betydligt dyrare att producera en kWh med dieselgeneratoren än att ladda en kWh från det allmänna elnätet. En kWh från det allmänna elnätet kostar kanske 0,1–0,15 €/kWh (Turku Energia 2018; Yrityssätkö 2018).

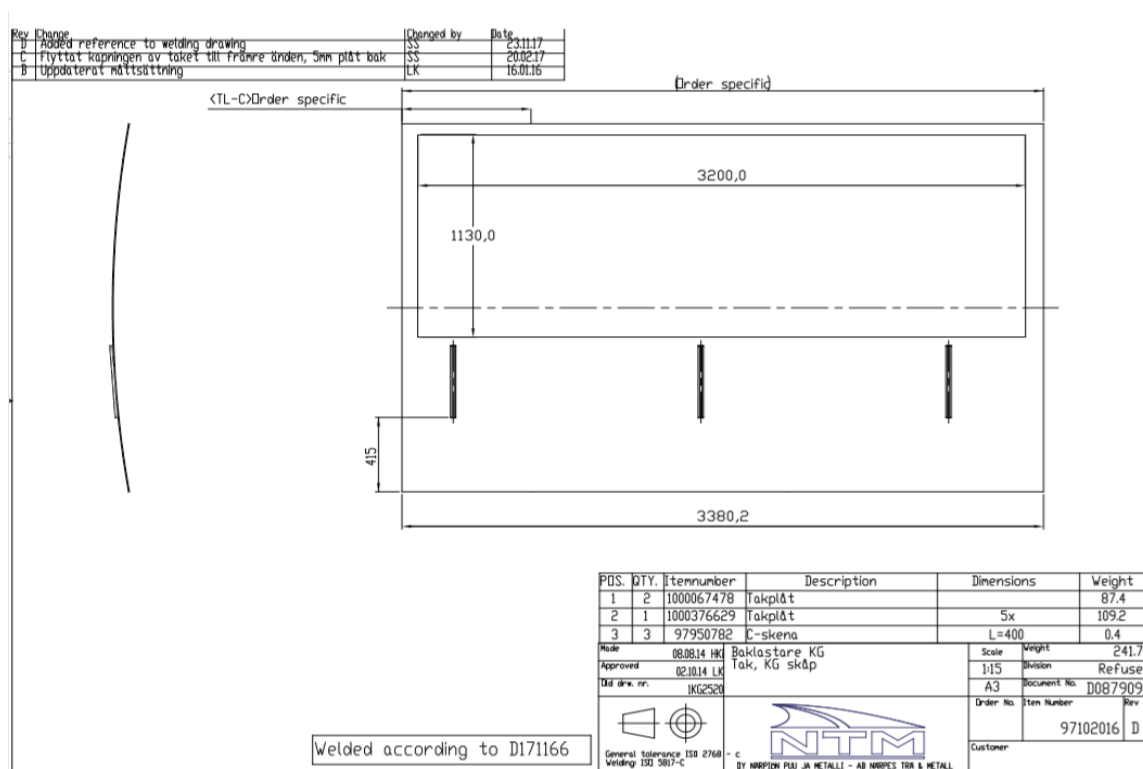
5.3 Elsopbil

Ekonomiskt blir det mycket svårare att uppnå bra resultat med en elsopbil. Detta eftersom den ända ekonomiska nyttan man vinner är den att man inte behöver ladda lika mycket elektricitet från det allmänna elnätet. Så då vinner man endast ca 0,1–0,15 €/kWh. Det man vinner med solpanelerna är förstås att man får en längre räckvidd för elsopbilen. Sedan så är det förstås svårt att förutse prisutvecklingen för elektricitet. Detsamma gäller förstås för prisutvecklingen på diesel.

6 SOLPANELERNAS ELPRODUKTION

Det är aningen komplicerat att räkna ut hur mycket elektricitet som solpanelerna kommer att producera. Söpbilen kommer hela tiden att vara i olika lägen, ibland pekar den mot norr och ibland mot söder. För solpanelerna som är på taket så är det ingen desto större skillnad åt vilket håll som söpbilen kör. Däremot så är det en stor skillnad för solpanelerna som är på sidan. Ibland kommer solpanelerna att vara vända mot solen och ibland så kommer de att vara i skugga.

Det finns ett online-verktyg som heter PVGIS som gör det möjligt att räkna ut hur mycket elektricitet som produceras i olika lägen. På en söpbil rymms ungefär 1/3 av solpanelerna på taket och ungefär 2/3 på sidorna. Man kan anta att det kommer att finnas rum att montera 0,5 kW på taket och 1,0 kW på sidorna. Man kan se i figur 9 hur den vanligaste modellen av söpbilarna ser ut. På vänstra sidan finns det 1130 mm ledigt utrymme och på den högra sidan finns det 415 mm ledigt utrymme. På mitten av taket går det hydraulikrör som det inte går att flytta på. Om det skulle användas MiaSoles solpaneler så skulle det rymmas åtminstone 4 stycken 125 W solpaneler på taket. MiaSoles solpanelers mått är 370 mm x 2600 mm. För mera information om MiaSoles solpaneler hänvisas till bilaga 1. Bild 1 visar hur taket på söpbilen ser ut i verkligheten.

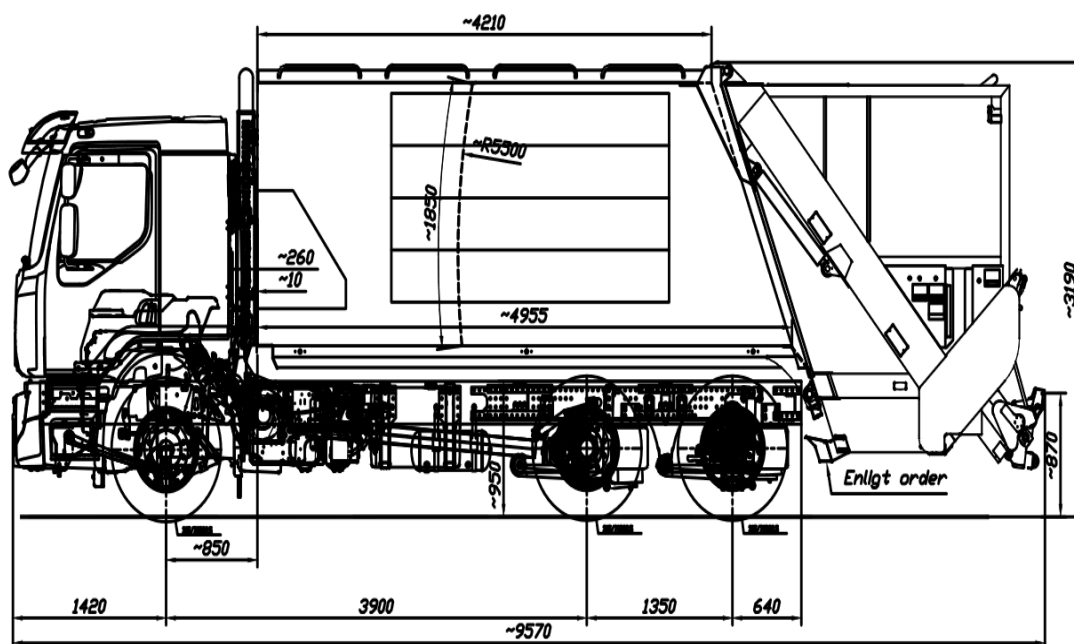


FIGUR 9. Ritningar på taket av en söpbil (Kankanpää 2018)



BILD 1. Bild av sopbilens tak (Bilden tagen av Isak Snickars 10.12.2018.)

Det är mer komplicerat att räkna ut hur många solpaneler som det kommer att rymmas på sidorna. Vissa företag vill att det skall synas stort företagets namn medan andra inte vill att det skall synas särskilt mycket. Så det är väldigt svårt att säga exakt hur många solpaneler som ryms på sopbilens sidor. Men som man ser i figur 10 så finns det gott om utrymme på sidorna av sopbilen. Om man skulle vara nöjd med lösningen som finns i figur 10 så skulle det rymmas fyra stycken av MiaSoles solpaneler. Solpanelernas mått är 370 mm x 2600 mm.



FIGUR 10. Ritning av sopbilens sida (Kankanpää 2018)

Det är möjligt att räkna ut hur mycket solpanelerna på taket troligen kommer att producera. Solpanelerna ligger vågrätt på taket. Dessutom så antas det att sopbilen befinner sig i Åbo och att systemförlusterna är 14 %. Om effekten skulle vara 0,5 kW på taket så skulle solpanelerna producera 357 kWh per år. För att se produktionen för olika årstider hänvisas till bilaga 2.

Det är även nödvändigt att räkna ut hur mycket elektricitet som solpanelerna på sidorna producerar. För att få ett resultat som är så nära verkligheten som möjligt så borde man räkna ut produktionen från fyra olika vinklar, nämligen syd, väst, öst och nord. På båda sidorna så kommer det att finnas solpaneler som har en effekt på ungefär 0,5 kW. Solpanelerna på båda sidorna kommer ungefär lika ofta att vara i samma vinkel så man kan räkna ut direkt hur mycket elektricitet som kommer att produceras i alla fyra olika vinklar.

Det produceras sämst med elektricitet om solpanelerna pekar mot norr. Om solpanelerna pekar mot öst eller väst så produceras lika mycket elektricitet och när solpanelerna pekar mot söder så produceras mest elektricitet. Kort sammanfattat, syd är bäst, nord sämst och öst eller väst är lika bra. Man kan då räkna ut hur mycket solpanelerna troligen kommer att producera.

Solpanelerna som är mot norr kommer att producera 244 kWh och de som är mot syd producerar 721 kWh. De solpaneler som är mot öst och väst kommer att producera 544 kWh. För mera information om solpanelernas elproduktion hänvisas till bilaga 2.

$$721 + 544 \times 2 + 244 = 2053 \text{ kWh}$$

$$2053\text{kWh} \div 4 = 513\text{ kWh}$$

Solpanelerna på sidorna kommer att producera 513 kWh. Solpanelerna på taket kommer att producera 357 kWh. Solpanelerna som är på sidorna skulle producera 513 kWh och solpanelernas effekt är 1,0 kW. Det betyder att solpanelerna på sidorna skulle producera 513 kWh/kW. Solpanelerna på taket har en effekt på 0,5 kW och de producerar 357 kWh så det betyder att de då skulle producera 714 kWh/kW. Solpanelerna som är på taket tar bättre tillvara på solenergin.

Det måste beaktas att beroende på var sopbilen kör så kommer den att vara olika mycket i skugga. Det är stor skillnad om man kör på en öppen åker eller i en stad med många höghus omkring. Det är omöjligt att exakt räkna ut hur mycket av solstrålningen som kommer att gå förlorad p.g.a. att sopbilen är i skugga. Men man kan kanske anta att av solpanelerna som är på taket så går kanske 15 % av solenergin förlorad p.g.a. att solpanelerna är i skugga. Det kommer att gå ännu mera energi förlorad för solpanelerna som är på sidorna. Man kan kanske räkna med att 20 % av solenergin kommer att gå förlorad för solpanelerna som är på sidorna. Då kan man räkna ut hur mycket som solpanelerna troligen skulle producera. Om solpanelerna på taket skulle ha en effekt på 500 W så skulle de producera 357 kWh per år. Om man då räknar att 15 % av den energin går förlorad när sopbilen befinner sig i skugga så betyder det att den skulle producera 303 kWh per år. Om solpanelerna på sidorna skulle ha en effekt på 1,0 kW så skulle de producera 513 kWh per år. Om man då antar att 20 % av den energin går förlorad eftersom sopbilen befinner sig i skugga alltid nu och då så betyder det att solpanelerna på sidorna skulle producera 410 kWh per år.

Det måste även tas i beaktande att sopbilen kör vanligtvis endast måndag till fredag. Eftersom batterierna är så småa så kommer troligen den elektricitet som produceras på helgerna att gå förlorad. Det betyder att man kommer endast att ha nytta av 5/7 av den solenergi som produceras. Det betyder att av solpanelerna som är på taket så blir det ca 216 kWh per år som man har nytta av och av solpanelerna som är på sidorna har man nytta av ca 293 kWh per år. Dessa siffror skulle gälla både hybrid- och diesel sopbilar. Hybridsopbilen läggs nämligen troligen på laddning direkt efter arbetspasset på fredag eftermiddag så att batteriet är fulladdat tills nästa arbetspass måndag morgon. Därför så kommer knappast solpanelerna ha någon nytta på helgerna för en hybrid-sopbil. Batteriet kommer troligen att vara fulladdat redan på fredag kväll. Enligt NTM så kör ca 1/3 av sopbilarna som de säljer två arbetspass per dag så det vore mera lämpligt att installera solpaneler på dem eftersom elförbrukningen är större desto mera man kör. Detta gäller då främst dieselsopbilarna.

7 PRAKTISKA RÄKNE-EXEMPEL

Nu kommer det att gås igenom hur mycket det ungefär kommer att kosta att installera solpaneler på en sopbil. Det måste dock tas i beaktande att detta är ungerfärliga beräkningar.

7.1 Dieselsopbil

7.1.1 Solpanelssystem på 500 W

Som första exempel så gås igenom hur mycket det ungefär skulle kosta att installera solpaneler på taket av sopbilen. Man kan anta att det skulle rymmas ett system på 500 W på taket. Om vi tar MiaSoles solpaneler så skulle priset för dem bli.

$$500 \text{ W} \times \frac{1,3 \text{ €}}{\text{W}} = 650 \text{ €}$$

Eftersom alla solpaneler skulle vara på taket så räcker det med en DC/DC omvandlare som har endast ett intag. Modellen skulle vara: TracerAN MPPT säädin100 V / 30 A, 12/24 V. Denna skulle kosta 194 €. Sedan så behövs ännu MC4-kopplingar. Modellen skulle vara: Diodi 10A MC4. Denna produkt skulle kosta 15 €. Det skulle behövas fyra stycken. Också elkablar behövs och de skulle kosta ca 28 €. (Hiltunen 2018.)

Dessa priser är från en offert som Eurosolar från Reso har givit. Dessa kan förstås ändra i framtiden. Priserna är räknade med moms noll. I bilaga 3 kan man se offerten som Eurosolar har givit.

Installationen kostar förstås också en hel del. För det mesta brukar man räkna med att installationskostnaderna är ca 25 %. Men när detta är ett så litet projekt så kommer installationskostnaderna att bli betydligt högre. Kanske kan man räkna med 40 %. Priset för detta projekt skulle i så fall bli.

$$650 + 194 + 15 \times 4 + 28 = 932 \text{ €}$$

$$932 \times 1,4 = 1305 \text{ €}$$

Det är då möjligt att räkna ut hur länge det skulle ta att betala tillbaka solpanelerna och alla avgifter som de medfört. I detta exempel så antas att sopbilen konsumerar all elektricitet som sopbilen producerar under arbetsveckan, alltså måndag till fredag. Därför kan vi anta att elektriciteten är värd 0,38 €/kWh. Detta eftersom det är betydligt dyrare att producera elektricitet med en dieselgenerator. Om inte solpanelerna producerar elektriciteten så vore dieselgeneratoren tvungen att producera elektriciteten. Som man kan se i beräkningarna från det sjätte kapitlet om solpanelernas elproduktion så skulle troligen ett solpanelssystem på 500 W på taket producera ca 216 kWh i året som man har nytta av. Det betyder att elproduktionen skulle vara värd.

$$216 \text{ kWh} \times 0,38 \text{ €} = 82 \text{ €}$$

$$1305 \text{ €} \div 82 \text{ €} = 15,9 \text{ år}$$

Det skulle troligen ta knappt 16 år att betala tillbaka solpanelerna. För det mesta brukar det kunna ta 10–20 år innan solpanelerna betalat sig tillbaka. Den förväntade livslängden för en sopbil är 7–8 år, därför så kommer högst troligen solpanelerna aldrig att betala sig tillbaka. Man måste dock beakta att det är omöjligt att veta prisutvecklingen på diesel och elektricitet så därför kan återbetalningstiden ändra beroende på hur priset utvecklas.

7.1.2 Solpanelssystem på 1500 W

Om dieselsopbilen har en hög konsumtion så kunde det vara en god ide att installera solpaneler på sidorna också. Återbetalningstiden kommer att bli aningen längre därför att solpanelerna på sidorna får sämre med solljus och producerar således mindre.

Solpanelerna skulle kosta 1,3 €/W om man tar MiaSoles solpaneler. Kostnaden för ett solpanelssystem på 1500 W skulle då bli.

$$1500 \text{ W} \times \frac{1,3 \text{ €}}{\text{W}} = 1950 \text{ €}$$

Man skulle behöva tre DC/DC omvandlare eftersom produktionen kan vara väldigt olika på sidorna och på taket. Priset på DC/DC omvandlaren skulle vara 194 € och för tre stycken så blir det 582 €. Sedan så behövs ännu MC4-kopplingar. Det skulle behövas 12 stycken och priset är 15 € per styck så den sammanlagda kostnaden skulle bli 180 €. Kostnaden för kablarna skulle troligen bli runt 60 €. (Hiltunen 2018.) Kostnaderna för alla ovannämnda produkter skulle då bli:

$$1950 \text{ €} + 582 \text{ €} + 180 \text{ €} + 60 \text{ €} = 2772 \text{ €}$$

Eftersom detta är ett så litet projekt så blir installationskostnaderna betydligt högre än normalt. Därför kan man kanske räkna med att installationskostnaderna är 40 %.

$$2772 \text{ €} \times 1,4 = 4712,4 \text{ €}$$

Man kan då räkna ut hur lång återbetalningstiden skulle bli. Som man kan se i kapitel 6 så skulle solpanelerna på sidorna producera 293 kWh per år. Solpanelerna på taket så skulle producera 216 kWh per år. Sammanlagt skulle det alltså bli 509 kWh per år.

$$509 \text{ kWh} \times \frac{0,38 \text{ €}}{\text{W}} = 193,4 \text{ €}$$

$$4712,4 \text{ €} \div 193,4 \text{ €} = 24,4 \text{ år}$$

Återbetalningstiden skulle då bli 24,4 år. Det är betydligt längre än om man bara skulle installera solpaneler på taket. Om man ser på saken från den ekonomiska sidan så är 24 år en väldigt lång återbetalningstid och man bör beakta att den förväntade livslängden för en sopbil är 7–8 år.

7.2 Hybridsopbil

Siffrorna för en hybridsopbil och dieselsopbil är ungefär detsamma. Det kan hända att hybridsopbil skulle ta bättre tillvara på elektriciteten som solpanelerna producerar eftersom den har ett större batteri men det skulle däremot vara dyrare att installera solpaneler på en hybridsopbil eftersom det blir mer komplicerat med DC/DC omvandlare eller så behövs kanske en DC/AC omvandlare. Hybridsopbil kommer därför inte att undersökas desto noggrannare eftersom det verkar som att sopbilsbranschen håller på att gå över mera till elsopbilar. Antalet beställda hybridsopbilar har sjunkit väldigt mycket de senaste åren och det kan hända att marknaden försvinner för hybridsopbilar och man istället övergår till elsopbilar.

7.3 Solpanelssystem på 500 W på en elsopbil

För att belysa den stora skillnaden som det skulle vara för en elsopbil med återbetalningstiden så tas ett exempel. Priset på elektricitet från det allmänna elnätet brukar vara ca 0,10–0,15 €/kWh. Det man vinner då är att man inte behöver ladda den elektricitet som solpanelerna producerar från elnätet. I detta exempel så skulle sopbil producera 216 kWh per år som man har nytta av om solpanelerna har en effekt på 0,5 kW. Troligtvis så skulle man kunna utnyttja solpanelerna bättre på helgerna eftersom sopbilens batteri skulle vara väldigt stort. Men det kan hända att man skulle lägga sopbilens batteri på laddning redan på fredag eftermiddag och då skulle det vara fulladdat redan på lördag morgon.

$$216 \text{ kWh} \times \frac{0,125 \text{ €}}{\text{kWh}} = 27 \text{ €}$$

$$1305 \text{ €} \div 27 \text{ €} = 48 \text{ år}$$

Återbetalningstiden blir då alltså knappt 50 år. Det bör också tas i beaktande att solpanelerna och DC/DC omvandlarna inte kommer att hålla 50 år. Från den ekonomiska sidan så är det ingen bra lösning att installera solpaneler på en elsopbil. Den förväntade livslängden för en sopbil är 7–8 år så det är omöjligt att solpanelerna betalar sig tillbaka på en elsopbil.

8 SLUTSATSER

Om man ser på detta projekt från den ekonomiska sidan så vore det troligen klokare att installera solpaneler på en dieselsopbil eller möjligtvis på en hybridsopbil istället för en elsopbil. NTM har inte hittat några siffror på hur mycket elektricitet (kWh) som en dieselsopbil konsumerar per dag. Men om detta projekt kommer att förverkligas någon gång så vore det en god ide att ta reda på hur mycket elektricitet som dieselsopbilen konsumerar och sedan dimensionera produktionen efter konsumtionen.

En utmaning med att dimensionera solpanelernas produktion enligt konsumtionen är den att det är väldigt stor skillnad på elproduktionen på sommaren och på vintern. För att belysa problemet så kan man se i bilaga 2, var det är möjligt att se om det finns ett solpanelssystem på 500 W på taket så producerar den i medeltal 2,16 kWh per dag i juni men i januari så är produktionen bara 0,09 kWh per dag i medeltal. Dessa siffror förutsätter dock att sopbilen inte kommer att befinna sig i skugga. För att optimera det på bästa sätt vore den klokaste lösningen att dimensionera solpanelerna enligt vad produktionen är på sommaren. För att ta ett enkelt och konkret exempel så om sopbilen i medeltal konsumerar 2,5 kWh per dag så vore det lämpligt att endast installera solpaneler på taket för då borde allt som solpanelerna producerar alltid konsumeras. Om det då däremot visar sig att sopbilens elkonsumtion är större så kan man fundera på hur mycket solpaneler som man kunde installera på sidorna.

En stor fördel med att installera solpaneler på en dieselsopbil är den att det är väldigt lätt att hitta en DC/DC omvandlare som har alla egenskaper som behövs. Sopbilens batterier laddas med 24 V och det är lätt att hitta DC/DC omvandlare som omvandlar till denna spänning.

Det kunde också ekonomiskt vara en god ide att installera solpaneler på en hybridsopbil. Fördelen med en hybridsopbil är att de har stora batterier och det borde inte vara något problem att konsumera allt som solpanelerna producerar fast man t.o.m. skulle fylla hela sopbilens tak och alla sidor med solpaneler. Om man däremot ser på saken från den ekonomiska sidan så kan det hända att det inte är lika lönsamt som om man jämför med en dieselsopbil. Om sopbilens batteri är dimensionerad så att det nästan varje dag tar slut och man blir tvungen att börja köra på diesel så är det ekonomiskt en god ide att installera solpaneler på en hybridsopbil. Som man kan se i kapitel 5 så kostar en kWh som är producerad m.h.a. dieselgeneratoren ca 0,38€ medan en kWh från det allmänna elnätet kostar ca 0,10–0,15 €.

En stor nackdel med att installera solpaneler på en hybridsopbil är den att det är väldigt svårt att hitta DC/DC omvandlare. En hybridsopbils batterier skall laddas med 110–120 V och det finns nästan inga DC/DC omvandlare på marknaden som kan omvandla till denna spänning. Det finns eventuellt någon DC/DC omvandlare på marknaden men de har då i princip aldrig en MPPT och regulator. Dessutom är en DC/DC omvandlare som kan omvandla till 110–120 V betydligt dyrare än genomsnittet. Det skulle också vara en möjlighet att omvandla elektriciteten till växelström m.h.a en DC/AC omvandlare och sedan omvandla tillbaka elektriciteten till likström m.h.a en AC/DC omvandlare som redan finns ombord på hybridsopbilarna. Men med denna lösning så skulle energiförlusterna bli större men det kan ändå hända att det vore den klokaste lösningen.

Att installera solpaneler på en elsopbil är inte ekonomiskt lönsamt. Återbetalningstiden skulle troligen vara ca 50 år. Det blir väldigt svårt ekonomiskt att betala tillbaka solpanelerna p.g.a. att det ända som man vinner är att man inte behöver ladda lika mycket från det allmänna elnätet. Priset på elektriciteten från det allmänna elnätet är dock liten så därför blir också återbetalningstiden väldigt lång. Elsopbilens batterier laddas med en spänning på 400–750 V vilket betyder att det är samma problem som med hybrid-sopbilen att hitta DC/DC omvandlare. Dessutom så kan det vara problem att få lov av chassi tillverkaren att installera solpaneler till en elsopbil. Ur en säkerhetssynvinkel blir det farligt med högre spänningsnivåer.

En annan sak som det är svårt att få något exakt svar på är hur mycket extra bränslekostnader som solpanelernas vikt medför. Solpanelerna väger ju förstås en del och de tillför extra vikt och extra bränslekostnader. Det är dock omöjligt att exakt räkna ut hur mycket det påverkar bränsleförbrukningen eftersom olika sopbilar körs olika mycket och på olika orter med olika höjdskillnader. Man kan dock konstatera att solpanelernas vikt inte kommer att påverka något mycket på bränsleförbrukningen och i beräkningarna så har man inte heller tagit i beaktande den extra bränslekonsumtion som solpanelerna medför på grund av att de anses som väldigt marginella.

KÄLLOR

ABB. Styrssystem i det mindre formatet. Hämtat 2.10.2018. <https://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/plc>

Ahjo Energia, 2018. Aurinkopaneelien toiminta. Hämtat 17.10.2018. <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkopaneelien-toiminta>

Boden, T. A., Marland, G. & Andres, R. J. 2017. Trends in Global Emissions. Hämtat 12.10.2018. <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

BP Global, 2018. Primary energy consumption. Hämtat 12.10.2018. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas. Borgå. Aurinkoteknillinen yhdistys ry.

Fraunhofer ISE, 2018. Photovoltaics report. Hämtat 12.10.2018. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

Hiltunen, S. 2018. Offert från Eurosolar. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi. 8.11.2018. Hämtat 5.12.2018

Huld, T. & Pinedo-Pascua, I. 2012. Photovoltaic Geographical Information System. Hämtat 16.10.2018. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index_c.html

Kankanpää, L. 2018. Sopbilsritningar. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi. 12.11.2018. Hämtat 14.11.2018

Körner, M. 2018. Tunnfilmssolpanelsdata och pris. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi 14.9.2018. Hämtat 14.11.2018

Lathal, A. 2013. Current sensing for renewable energy. Hämtat 24.10.2018. https://www.electronicproducts.com/Sensors_and_Transducers/Sensors/Current_sensing_for_renewable_energy-v2.aspx

Leonics, 2018. Solar home system. Hämtat 13.11.2018. http://www.leonics.com/system/solar_photovoltaic/solar_home_system/solar_home_system_en.php

Liu, S. 2018. Tunnfilmssolpaneldata och pris. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi. 18.9.2018. Hämtat 14.11.2018.

Lorenza, N. 2018. Tunnfilmssolpaneldata och pris. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi 1.10.2018. Hämtat 14.11.2018

Löfquist, C. 2018. Tunnfilmssolpanelsdata och pris. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi 12.9.2018. Hämtat 14.11.2018.

Martens, K. 2013. Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice. Hämtat 16.10.2018. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=1574357>

NTM. Historik och Nyckelfakta. Hämtat 11.9.2018.
<http://www.ntmsverige.se/foretaget/ntm-koncern/historik>

Parker, C. 2018. Tunnfilmssolpanelsdata och pris. Email
isak.snickars@edu.turkuamk.fi 6.9.2018. Hämtat 14.11.2018.

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Esbo. Alfamer / Karisto OY.

Ricci, M. 2018. Tunnfilmssolpanelsdata och pris. Email isak.snickars@edu.turkuamk.fi
1.10.2018. Hämtat 14.11.2018.

Turku energia, 2018. Överföringsavgifter på elektricitet. Hämtat 5.12.2018.
<https://www.turkuenergia.fi/sahkoverkko/tietoa-sahkoverkostamme/hinnastot-ja-sopimusehdot/verkkopalveluhinnasto/>

Vienonen, L. 2018. Tunnfilmssolpaneldata och pris. Email
isak.snickars@edu.turkuamk.fi 24.9.2018. Hämtat 14.11.2018.

Vikström, K. 2014. Effektivaste motorn utvecklas i Lund. Hämtat 19.11.2018.
<http://www.vibilagare.se/nyheter/effektivaste-motorn-utvecklas-i-lund>

Yrityssähkö, 2018. Priset på elektricitet. Hämtat 5.12.2018.
https://yrityssahko.com/?gclid=Cj0KCQiAi57gBRDqARIsABhDSMownfIZ6gzc4McsBPTMR5Xwh_OADMehVCdoutimh7z9uxFWijDBD48aAmY2EALw_wcB#top

BILAGA 1. MIASOLES SOLPANELER

MiaSolé
FLEX SERIES -02N

CIGS Flexible Modules:
High Power Density in a Flexible Form Factor

KEY FEATURES


- ▶ Record efficiency levels in a CIGS flexible form factor
- ▶ Low installed weight at less than 2.9kg/m² (<0.6lb/ft²)
- ▶ No penetrations, ballast or racking required
- ▶ Applicable for high wind load and high seismic hazard areas
- ▶ Bypass diode every two cells reduces PV system shading losses
- ▶ Directly bonds to many approved surfaces


RELIABILITY AND SAFETY

- ▶ IEC 61646, IEC 61730-1 & -2, IEC 61701, IEC 62716
- ▶ UL 1703, ULC ORD C1703, UL 2703

WARRANTY

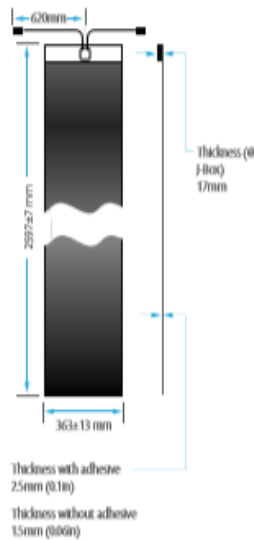
- ▶ 5 year workmanship
- ▶ 10/25 year warranty against power loss





MiaSolé FLEX SERIES

FLEX-02N SERIES CIGS MODULE



ELECTRICAL PERFORMANCE AT STC¹

			FLEX-02 110N	FLEX-02 115N	FLEX-02 120N	FLEX-02 125N	FLEX-02 130N
Nominal Power	P_{MPP}	[W]	110	115	120	125	130
Aperture Efficiency	η	[%]	14.4%	15.0%	15.7%	16.4%	17.0%
Power Output Tolerance		[W]	+5/-0	+5/-0	+5/-0	+5/-0	+5/-0
Maximum Power Voltage	V_{MPP}	[V]	28.9	29.7	30.5	31.3	32.0
Maximum Power Current	I_{MPP}	[A]	3.81	3.87	3.93	4.00	4.06
Open Circuit Voltage	V_{OC}	[V]	37.1	37.6	38.1	38.6	39.1
Short Circuit Current	I_{SC}	[A]	4.50	4.52	4.53	4.55	4.57
Maximum Series Fuse Rating		[A]	10				
Maximum System Voltage (IEC/UL)		[V]	1000/600				

¹Standard Test Conditions (STC): 1000 W/m², 25°C cell temperature, AM 1.5 spectrum

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	[°C]	48
Temperature Coefficient of P_{MPP}	[%/°C]	-0.38
Temperature Coefficient of V_{OC}	[%/°C]	-0.28
Temperature Coefficient of I_{SC}	[%/°C]	0.008

PHYSICAL AND MECHANICAL SPECIFICATIONS

Length	2597±7 mm (102.2±3 in)
Width	363±13 mm (14.3±5 in)
Thickness, Maximum at J-Box*, Module	17 mm (0.7 in), 2.5 mm (.1 in)
Weight (Module without adhesive)	2.0 kg (4.3 lb)
Weight (Module with adhesive)	2.7 kg (5.9 lb)
Weight/Area (Module without adhesive)	2.0 kg/m ² (0.4 lb/ft ²)
Weight/Area (Module with adhesive)	2.9 kg/m ² (0.6 lb/ft ²)
Junction Box Type	IP68
Cable Connections	Amphenol H ₄
Cell Type	Copper Indium Gallium Diselenide (CIGS)
Warranty**	5 year workmanship; 10/25 year power output
Certifications	UL 1703, ULC ORD C1703, UL 2703, IEC 61646, IEC 61730-1 & -2, IEC 61701, IEC 62716, DEWA
Packaging Info	15 modules per crate, 150 modules per pallet, 600 modules per 20' ISO container, 2400 modules per 40' ISO container

*25 mm (0.1 in) for the rest of the module with adhesive
 **15 mm (0.06 in) for the rest of module without adhesive
 **Please see full warranty for details

FLEX modules are manufactured in the United States and China



2590 Walsh Avenue, Santa Clara, California 95051, USA
 1.408.919.5700 info@miasole.com www.miasole.com

MiaSolé and the MiaSolé logo are registered trademarks.
 ©2017 MiaSolé. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
 MiaSolé Approved for Public Release.
 Part Number 990-187716-00_6

BILAGA 2. SOLPANELERNAS ELPRODUKTION

Solcellernas elproduktion på sopbilens tak. Solpanelernas effekt är 500 W. E_d visar hur mycket elektricitet (kWh) som solpanelerna producerar per dag. E_m visar hur mycket som produceras i månaden.

Fixed system: inclination=0°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.09	2.82	0.27	8.41
Feb	0.32	8.92	0.93	26.1
Mar	0.74	22.9	2.04	63.2
Apr	1.41	42.3	3.81	114
May	2.01	62.3	5.38	167
Jun	2.16	64.9	5.78	173
Jul	2.08	64.6	5.57	173
Aug	1.48	45.9	3.98	123
Sep	0.86	25.9	2.36	70.7
Oct	0.36	11.3	1.02	31.8
Nov	0.12	3.62	0.35	10.5
Dec	0.05	1.60	0.15	4.76
Yearly average	0.978	29.8	2.65	80.5
Total for year		357		966

Solpanelernas elproduktion på sobilens sidor. Solpanelernas effekt är 1000 W. Solpanelerna är vända mot norr.

Fixed system: inclination=90°, orientation=180°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.09	2.67	0.08	2.62
Feb	0.23	6.40	0.23	6.36
Mar	0.45	14.0	0.48	14.8
Apr	0.79	23.5	0.90	26.9
May	1.42	43.9	1.70	52.6
Jun	1.78	53.4	2.15	64.4
Jul	1.53	47.4	1.90	58.9
Aug	0.86	26.7	1.10	34.2
Sep	0.46	13.8	0.57	17.2
Oct	0.24	7.41	0.28	8.70
Nov	0.10	2.96	0.11	3.32
Dec	0.05	1.53	0.05	1.58
Yearly average	0.668	20.3	0.799	24.3
Total for year		244		292

Solpanelernas elproduktion på sobilens sidor. Solpanelernas effekt är 1000 W. Solpanelerna är vända mot öst eller väst. Elproduktionen kommer att vara densamma oberoende om solpanelerna är vända mot öst eller väst.

Fixed system: inclination=90°, orientation=90°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.19	5.89	0.21	6.51
Feb	0.69	19.5	0.78	21.9
Mar	1.34	41.4	1.53	47.3
Apr	2.30	68.9	2.69	80.8
May	3.00	93.1	3.64	113
Jun	3.00	90.1	3.67	110
Jul	2.91	90.2	3.60	112
Aug	2.12	65.6	2.59	80.2
Sep	1.35	40.6	1.61	48.4
Oct	0.61	19.1	0.71	22.1
Nov	0.21	6.42	0.25	7.37
Dec	0.10	3.23	0.12	3.67
Yearly average	1.49	45.3	1.79	54.4
Total for year		544		653

Solpanelernas elproduktion på sobilens sidor. Solpanelernas effekt är 1000 W. Solpanelerna är vända mot syd.

Fixed system: inclination=90°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	0.67	20.9	0.75	23.2
Feb	1.87	52.3	2.18	61.1
Mar	2.41	74.8	2.86	88.7
Apr	3.01	90.2	3.59	108
May	3.03	93.8	3.66	113
Jun	2.75	82.5	3.35	100
Jul	2.83	87.6	3.48	108
Aug	2.55	78.9	3.12	96.8
Sep	2.19	65.6	2.65	79.5
Oct	1.37	42.5	1.61	50.0
Nov	0.64	19.3	0.73	22.0
Dec	0.40	12.3	0.45	13.9
Yearly average	1.97	60.1	2.37	72.1
Total for year		721		865

