

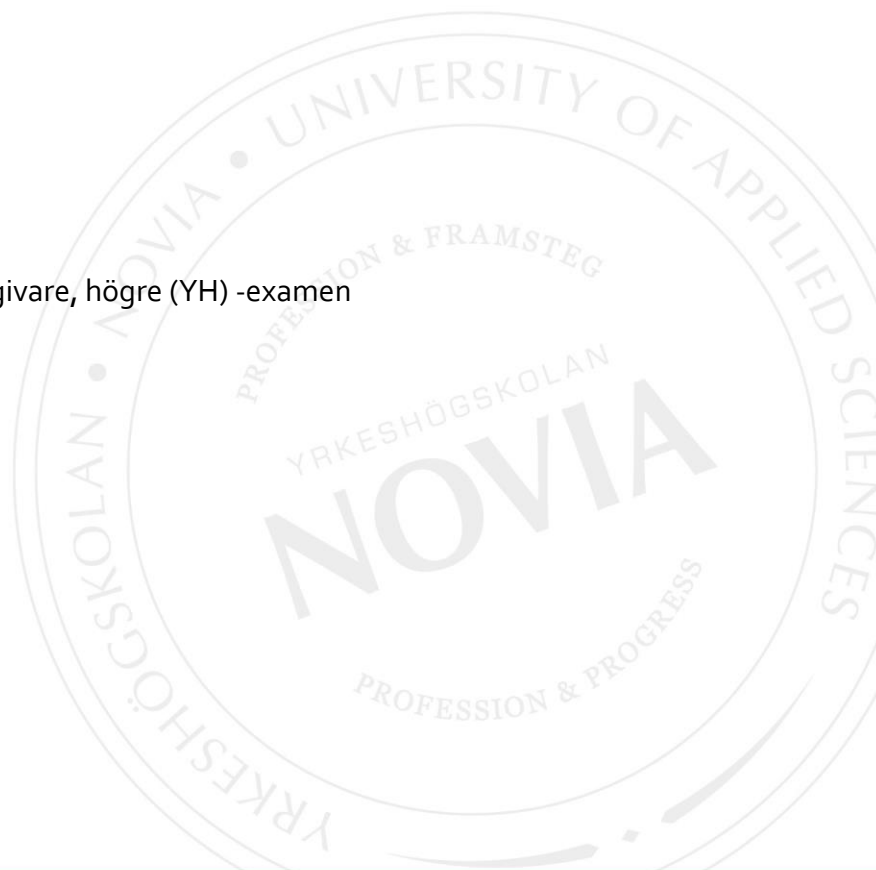
Solpaneler och deras hantering efter förbrukad livstid

Johan Sundqvist

Examensarbete för Formgivare, högre (YH) -examen

Cirkulär design

Jakobstad 2023



EXAMENSARBETE

Författare: Johan Sundqvist
Utbildning och ort: Utbildning i cirkulär design, (6osp), Jakobstad
Handledare: Emma Westerlund

Titel: Solpaneler och deras hantering efter förbrukad livstid.

Datum 22.10.2023 Sidantal 49

Abstrakt

Under 2010- och 2020-talen har försäljningen av solpaneler för privat- och företagsbruk ökat kraftigt. Antal solpaneler som tas i bruk ökar för varje år för att vi ska kunna bli mera självförsörjande, men under ytan bubblar ett problem som kommer att visa sig i framtiden: det faktum att ingen storskalig återvinning av solpaneler existerar.

Eftersom de flesta solpaneler som är i bruk i dagsläget ännu inte hunnit bli uttjänta är det inte aktuellt med storskalig återvinning av dem. Solpaneler sägs ha en livslängd på 25 – 30 år och hittills är stora mängder av dem fortfarande fullt brukbara. Detta är än så länge orsaken till att vi inte börjat återvinna dem.

EU har tagit i bruk WEEE-direktivet vilket gäller hanteringen av elektriskt och elektroniskt avfall, vilket solpaneler faller inom. Direktivet omfattar insamling, återhämtning och återvinning av elektronikskrot och det strävar till att detta avfall ska kunna återvinnas upp till en minimigräns. I dagsläget drar solpanelernas återvinningsgrad ner medeltalet vilket ytterligare påvisar att dess återvinning är bristfällig.

Med detta examensarbete vill jag belysa de problem som kan uppstå i framtiden ifall återvinningen inte är tillräcklig, de framtidsutsikter som finns med solpaneler och återvinningen av dem, ifall designen gynnar vid återvinning och vad som kunde göras bättre.

Språk: svenska

Nyckelord: Solpanel, solcell, återvinning, energi, direktiv

BACHELOR'S THESIS

Author: Johan Sundqvist
Degree Programme: Degree Programme in Circular Design, (60ECTS),
Jakobstad
Supervisor(s): Emma Westerlund

Title: Solar Panels and their handling after exhausted lifetime.

Date 22.10.2023 Number of pages 49

During the 2010's and the 2020's the number of photovoltaic solar panels for private- and business usage has increased sharply. The number of panels in use is rising every year so we can become more self-sustainable. However, under the surface there is a problem that will show in the future: the fact that there is no large-scale recycling process of solar panels in use.

Since most solar panels in use today still haven't reached their end of life yet there hasn't been a need for large-scale recycling of them so far. Solar panels are said to have a lifetime of 25 – 30 years and most units are still fully functional as of today. This is the reason why we haven't had the need for recycling of solar panels.

The EU has taken the WEEE-directive into use which is about the recycling of electric and electronic equipment, to which solar panels belong. The directive encompasses collection, recovery and recycling of electronic waste and strives to reach a minimum target for recycling of said waste. As of today, the recycling rate of solar panels pulls down the average score which further shows that the recovery rate is inadequate.

In this thesis I want to shed light on the problems that may be caused by solar panels if their recycling rate remains inadequate, the future in solar panels and their recycling, if their design is beneficial in recycling them and what could be done better.

Language: Swedish Key words: Solar Panel, Solar Cell, Recycling, Energy, Directive

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Tillvägagångssätt.....	1
1.3	Syfte och mål	1
1.4	Avgränsning.....	2
2	Cirkularitet.....	2
2.1	Förnybar energi	4
2.2	Solenergi	5
2.2.1	Solenergi i Finland.....	5
2.3	Utmaningar som förnybara energisektorn står inför.....	6
2.3.1	Resiliens	7
2.3.2	Utmaningar som uppkommer med solpaneler	7
3	En introduktion till solpaneler.....	8
3.1	Den egna anläggningen	8
3.2	LCA – Livscykelanalys av solpaneler	9
3.3	Olika varianter av solpaneler.....	11
3.3.1	Solfångare.....	11
3.4	Solpanelers beståndsdelar.....	12
3.5	Solpaneltillverkningens grunder.....	13
3.5.1	Olika skeden av kiselsolcellstillverkning.....	13
3.5.2	Tillverkning av aluminiumramen.....	16
3.6	Råmaterialet och dess extrahering och hantering	16
3.6.1	Kisel.....	16
3.6.2	Aluminium.....	16
3.6.3	Glas	17
3.6.4	Koppar	17
3.6.5	Silver	18
3.6.6	Övriga material.....	18
3.6.7	Sammanfattning.....	18
3.7	Ibruktagande av solpaneler.....	19
3.8	Livslängd.....	20
3.9	Marknadsföring.....	21
3.10	Design for Dissassembly.....	22
4	Solpaneler i Finland.....	24
4.1	Solpanelstillverkning i Finland	24
5	Hantering av gamla solpaneler	24

5.1	Hur kan uttjänta solpaneler återvinnas?.....	25
5.1.1	Återvinning av kiselpaneler, steg för steg.....	25
5.1.2	Återvinning av tunnfilmssolceller.....	26
5.2	Framtiden.....	26
6	WEEE-direktivet.....	27
6.1	Mål.....	27
6.2	Implementering.....	27
7	Intervjuer med aktörer inom solpanelsmarknaden.....	28
7.1	Intervju med Herrfors.....	29
7.2	Intervju med Ferromek.....	31
7.3	Intervju med Spikas Kvarn.....	33
7.4	Intervju med Styrelsen i Svenska Järn.....	35
7.5	Intervju med Salo Tech.....	38
7.6	Intervju med El-Sören.....	42
7.7	Analys av intervjusvaren.....	44
8	Sammanfattning.....	46
8.1	Svårigheter.....	48
8.2	Slutord.....	48
9	Källförteckning.....	50

1 Inledning

I mitt examensarbete vill jag forska i vad som händer med solpaneler efter att dess livstid tagit slut. Jag upplever att informationen om detta är knapp och i och med att allt flera paneler tas i bruk kommer detta problem att växa med tiden. Jag strävar till att få fram information ur litteratur och av företag som har att göra med solceller, endera direkt eller indirekt t.ex. försäljning av dem och hoppeligen kunna komma fram till ett eller flera alternativ om vad solceller som tagits ur bruk kan användas till.

1.1 Bakgrund

Som bakgrund till varför jag valt just detta ämne som mitt examensarbete kan nämnas en artikel i omvarlden.se som jag hittade och fann intressant och aktuell. I den påpekas att det inte finns någon effektiv återvinning av förbrukade solpaneler och av denna orsak ansåg jag att detta vore intressant att fördjupa mig i.

Med tanke på att världen strävar till att förlita sig mindre på fossila bränslen förstoras behovet av att kunna producera energi med förnybara metoder, vilket är en bidragande orsak till att behovet av bland annat vindkraft och solkraft ökar. Dessa energiproduktionsmetoder är tyvärr inte avfallsfria och därför har National Renewable Energy Laboratory i USA gjort en studie i vilken det räknades ut att det kommer att ha deponerats ca. 8 miljoner ton solcellskrot innan år 2050. Denna siffra förväntas tiodubblas trettio år senare. Med denna information kan man fråga sig hur klimatvänlig våra förnybara energiproduktionsmetoder egentligen är. (*Iaconangelo, 2020*)

1.2 Tillvägagångssätt

Jag kommer att utföra en litteraturstudie över solpaneler, dess tillverkning, användning och behandling efter livstiden. Information hämtas från böcker som behandlar ämnet, internethemsidor och från intervjuer som görs med aktörer som endera direkt eller indirekt arbetar med solpaneler.

1.3 Syfte och mål

Syftet med examensarbetet är att lyfta fram de framtida problem vi kommer att få pga. den bristfälliga hanteringen av uttjänta solpaneler men också de möjligheter som tillkommer med att lösa dessa problem. I examensarbete går igenom vad solceller består av, vad det är som

orsakar att deras livstid är limiterad, ifall något kan göras redan idag och vad planerna är för framtiden.

Tanken med examensarbetet är att ge en inblick i och belysa brister i hanteringen av uttjänta solceller samtidigt som det ger sig in hur utvecklingen tar sig med hjälp av litteratur och intervjuer med aktörer på området.

1.4 Avgränsning

I examensarbetet kommer jag att behandla solpaneler, deras livscykel och dess hantering när brukstiden löpt ut. Jag kommer i huvudsak att ge mig in på vad som görs åt dem efter att de förbrukats och vad alternativen kan vara.

De solpaneler som tas upp är de kristallina panelerna som används för elproduktion, eftersom de är de dominerande panelerna på marknaden vilket betyder att det är dessa varianter som kommer att orsaka den största mängden avfall. Samtidigt ger examensarbetet i mindre mån också en beskrivning av tunnfilmssolceller och en introduktion till solfångare.

Arbetet beskriver tillverkningsprocessen, användningen och demonteringsprocessen i framtiden och med hjälp av intervjuer med aktörer inom området ger det en beskrivning av dagens metoder för hanteringen.

2 Cirkularitet

Cirkularitet innebär att resurser utnyttjas fullt ut. Detta omfattar nyttjande, återanvändning, återvinning och minimerande av slutgiltigt avfall. Att designa cirkulärt innefattar att resurser som material nyttjas med tanke på långvarig användning och återtagande och återutnyttjande av dessa resurser, så att säga ge dem nytt liv efter att livscykeln för produkten tagit slut. På så sätt att materialflödet hålls igång så länge som möjligt.

Eftersom jordens resurser är ändliga ökar globala behovet av att frångå de linjära flöden som dominerat ekonomin allt sedan industrialiseringen till cirkulära materialflöden. Utvecklingen, inte minst den ekonomiska och samhällseliga, kommer med sannolikhet att påverkas av cirkularitet och cirkulärt tänkande framöver. (*Ammenberg, Jonas och Hjelm, Olof 2023, 25 – 27*)

En annan beskrivning av cirkularitet kan ges som sådan att resurser hålls inom ett kretslopp snarare än att förbrukas. Inom en cirkulär ekonomi bör en uttjänt produkt kunna återanvändas och ifall detta inte är möjligt bör den återvinnas och som sista lösning kan den energi-återvinnas. För att skjuta upp det sistnämnda kan produkten designas så att den delas upp i olika beståndsdelar och kan separeras som sådana. Då kan slutprodukten i en process ingå som råmaterial i en annan process, enligt The Ellen MacArthur Foundation.

I EUs handlingsplan för påskyndande till en cirkulär ekonomi beskrivs 54 åtgärder som strävar till att sluta kretsloppet med produkternas livscykel och dessa åtgärder omfattar bland annat produktion, konsumtion, avfallshantering och marknaden för returråvaror. Fem prioriterade områden nämns också, dessa är: plast, viktiga råvaror, matsvinn, byggnation och rivning samt biomassa och biobaserade produkter. (*Larsson, Bratt, Sandahl, 2021.*)

I dagens dominerande linjära ekonomi blir förbrukade produkter ofta till avfall som klassificeras som deponi. Till nya produkter som tillverkas används då istället jungfrumaterial, vilket omfattar material som extraheras från miljön utan att ha använts tidigare, alltså inte återvunnet. Som beskrevs ovan skiljer sig dessa ekonomier på så sätt att inom cirkulära ekonomin används ett material så länge som möjligt och i mån av möjlighet återanvänds det när produkten är förbrukad.

Vid lyckad återvinning så sparar man inte bara in på de material som återvinns utan minskar också på utsläpp samtidigt som man sparar ekonomiskt och på miljön, tillika också den energiåtgång som går åt till att tillverka en ny produkt. (*Bilbao et al. 2021*)

Cirkularitet gäller inte bara produkter som tillverkas och hur dess material tas tillvara utan sträcker sig också vidare till energiproduktion. För att undvika vad som beskrivs som en ekologisk katastrof är vi tvungna att börja designa om framtida solpaneler så de blir enklare att återvinna.

2.1 Förnybar energi

En stor del av den elektricitet som används idag kommer från fossila energikällor. Detta i samband med att energisektorn står för den största delen av globala utsläpp av växthusgasen CO₂ är en ledande orsak till de klimatförändringar vi nu observerar. (*Vår enda framtid: 100% fossilfritt, 2023*)

Några syften med förnybar energi är att minska mängden utsläpp av växthusgaser samtidigt som självförsörjningsgraden ökar samtidigt som sysselsättningsgraden ökas samt främjar områdets tekniska utveckling.

Inom EU har man med ett direktiv, så kallade RED II-direktivet, lagt upp mål om att andelen förnybar energi ska utgöra 32 procent av totala energiproduktionen. I Finland har vi redan uppnått nästan 40% energiproduktion från förnybara källor och målet är att andelen ska uppnå 50% under 2020-talet. (*Förnybar energi i Finland, 2023*)

Fördelen med att producera elektricitet med hjälp av solpaneler och vindkraftverk är att behov av tillsatt bränsle inte finns. Själva tillverkningen står för en hel del utsläpp eftersom produktionen av de flesta, ungefär 70% av globala tillverkade enheterna, utförs i Kina, dessutom med majoritet av energiproduktionen som fossil, men när de är tagna i bruk har man utsläppsfri energiproduktion under några decennier. (*Solcellers miljöpåverkan, 2021*)

Förnybar energiproduktion är fortfarande inte befriad från problem som orsakas när de enheter som används för detta syfte har uttjänats. Det är fullständigt korrekt att de inte utgör någon miljöpåverkan under sin brukstid, men varefter tiden går och dess verkningsgrad minskar får man börja tänka på ifall det är dags att byta ut enheten. Eftersom vi idag år 2023 inte står inför ohanterliga mängder avfall från solpanelerna har det inte varit aktuellt att tänka på storskalig återvinning av dem, men inom snar framtid står vi inför ett massutbyte av den första stora mängden installerade solpaneler och då bör vi vara förberedda på gällande hur vi ska hantera detta problem. (*Gamla solpaneler – ett växande miljöproblem, 2022*)

2.2 Solenergi

Solen fungerar som en fusionsreaktor. Vid höga temperaturer (inne i solens kärna ca. 10 miljoner °C) uppstår fusion. Energi frigörs när två väteatomer slås samman och bildar en heliumatom.

Av solens fusionsreaktion frigörs enorma mängder energi, solens uteffekt är ca. 376×10^{12} TW, eller 376×10^{21} KW. Absoluta majoriteten av denna energimängd strålas ut i rymden och endast 170×10^{14} KW träffar jorden. Matematiskt innebär detta att ca. 0,000000045% av solens totala utgående energi ankommer till jorden. Det kan verka vara en mikroskopisk del, men denna energimängd skulle räcka 10,000 gånger om till den energiförbrukning som mänskligheten använde sig av under år 2008. Det är dock inte tekniskt möjligt att försöka ta tillvara så stora energimängder.

Tekniskt möjligt vore det möjligt att använda 438 000 TWh energi/år medan mänsklighetens förbrukning ligger på ungefär 132000 TWh/år. Varje kvadratmeter (m²) jordyta mottar i medeltal en effekt om 1kW. (Tahkokorpi, 2016)

2.2.1 Solenergi i Finland

I södra Finland mottar varje kvadratmetermarkyta ca. 1100kWh/ år och mellersta Finland ca. 1000kWh/år. I Finland beaktas bland annat väderförhållanden för att beräkna hur stor mängd strålning (energi) som ankommer. För att solpaneler ska få så hög verkningsgrad som möjligt bör dessa väderförhållanden beaktas gällande hur panelen placeras och riktas. I Finland liksom överallt vill man sträva till att vinkeln som strålningen träffar panelens yta är så nära 0° som möjligt. (Tahkokorpi, 2016)

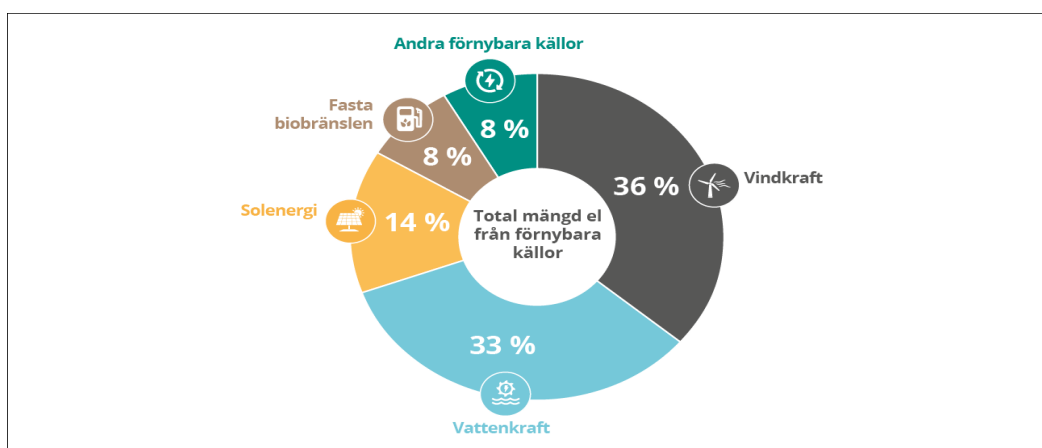
2.3 Utmaningar som förnybara energisektorn står inför

Frasen ”förnybar energi” betyder antingen att bränslet kommer från förnybara källor, som biogas eller att inget bränsle alls behövs för att producera elektricitet. De utsläpp som orsakas vid fossil energiproduktion minskas genom omställningen till förnybara energikällor. Omställningen måste ske snabbt vilket i sig skapar utmaningar till exempel genom att välja vilka metoder man ska börja förlita sig på. Det bör beaktas att utbyggnad av elledningar och att hitta tekniska lösningar tar tid.

En annan viktig faktor som bör beaktas med förnybar energi är vädret vilket försvårar vid planering och orsakar sårbarhet i system. Energikällor beroende av väder är inte styrbara till skillnad från de fossila energikällorna. (*Snabb omställning skapar utmaningar. u.å.*)

Lagringen av förnybar energi ger också upphov till utmaningar. Fossila energiformer är enklare att lagra, som kol eller olja vars energi inte frisätts innan de förbränns. Transporten av dessa energiformer är också lättare än för förnybara. Utmaningen för den förnybara energisektorn ligger i att hitta lagringsenheter av tillräcklig kapacitet samt framställa system för att kunna transportera energin som erhållits från de förnybara energikällorna. Detta orsakar utmaningar i sig självt.

Det förnybara energisystemet bör vara tillräckligt resiliert för att kunna producera tillräcklig energi under perioder med hög efterfrågan och vara anpassat till oundvikliga effekter orsakade av klimatförändringen, däribland värmeböljor och torka, tillika bör det vara flexibelt nog att leverera elektricitet också när vind inte blåser eller solen inte skiner. (*En framtid som baseras på förnybar energi, 2023*)



Figur 1 Beskrivning av hur stor andel de olika fossilfria energiproduktionsformerna står för i relation till varandra inom EU. Bild hämtad från EEA.

2.3.1 Resiliens

Tidigare i kapitel 2.3 nämndes ordet ”resilient”. Vad innebär resiliens för en produkt? Ordet resiliens beskrivs som en produkts, till exempel en solcells, förmåga att hantera förändringar och dess kapacitet att utvecklas efter att den utsätts för stress.

Resiliens gäller inte bara för produkter utan också för ekosystem. Det är viktigt att bevara ekosystemens resiliens så att de inte utarmas och slutar producera. (Larsson, Bratt, Sandahl. 2019)

2.3.2 Utmaningar som uppkommer med solpaneler

Som nämndes tidigare i kapitel 2.1 så orsakar solpaneler en del utsläpp under tillverkningsfasen och i framtiden står vi också inför utmaningar angående hur vi ska hantera enorma mängder av de som blivit uttjänata.

I dagsläget återvinns endast en liten del av solcellerna som uttjänats. Orsaken till detta anses vara bristande lönsamhet eftersom de mängder solceller som skickas till återvinning inte är tillräckligt stora så då återvinns endast de material som är värdefulla. Dessa inkluderar aluminium, plasten och värdemetallerna som silver och koppar. (Ahrberg, 2023)

Produktionen är heller inte det enda som orsakar utsläpp av växthusgaser utan också transporten av solpanelerna. Långa transportsträckor från utlandet orsakar att solcellernas koldioxidavtryck ökar. (*5 nackdelar med solceller, 2020*)

3 En introduktion till solpaneler

Solpaneler för privat- och företagsbruk installeras oftast på tak och består av solceller. När dessa celler träffas av solstrålar uppstår en elektrisk spänning mellan cellens ovan – och undersida. Genom en kabel rör sig elektronerna mellan sidorna och detta orsakar att en elektrisk ström bildas, så kallad likström. För att likströmmen ska bli användbar bör den omvandlas till växelström. Denna omvandling utförs med hjälp av en växelriktare, även i vardagligt tal kallat för inverter. Mera om vad som ingår i en solcellsanläggning i kapitel 3.6.

Fördelarna med att införskaffa en solpanelsanläggning är att man kan producera sin egen energi och därmed bli mera självförsörjande, överskottselen kan säljas via elnätet och den el som inte förbrukas genast kan lagras i ett eller flera batterier. Det sistnämnda ger den fördelen att man kan förbruka den egna solenergin nattetid eller ha som reserv vid till exempel ett elavbrott. (Ejeklint, 2023)

3.1 Den egna anläggningen

Vad man kan tänka på i ett tidigt skede vid införskaffning av solpaneler är storleken på anläggningen. En större anläggning producerar naturligtvis mera energi, men man bör sträva till att införskaffa en som täcker det egna behovet. Man bör också beakta att de effekter som anges åt panelerna är teoretiska maxeffekter som kan uppkomma vid optimal vinkelräthet vid högsommar.

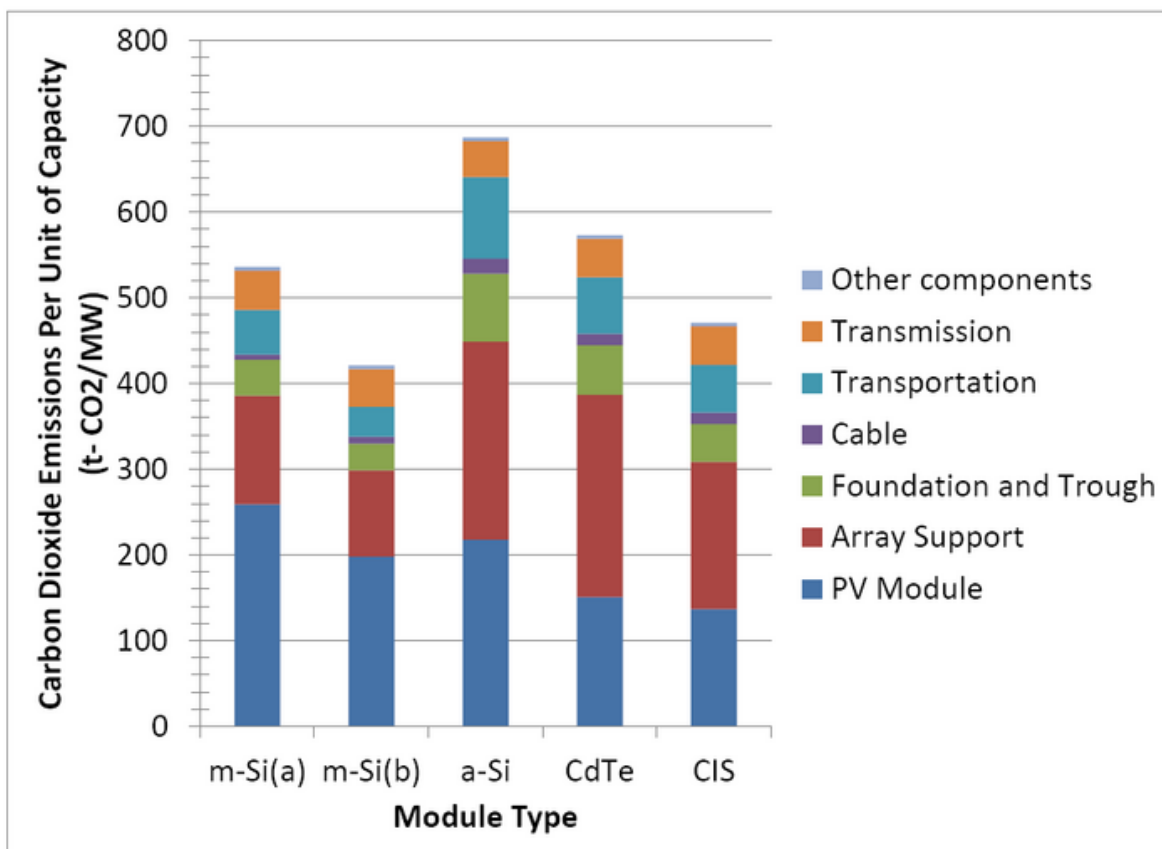
Vid införskaffning av solpaneler vill man också fundera på en batterianläggning med vilken man kan lagra den energi som kommer ur solpanelsanläggningen. Flera alternativ av bly och litium-jonbatterier finns att välja på. En fördel med denna lagringsmetod är att de inte orsakar föroreningar vid användning samtidigt som de till skillnad från diesel- och bensingeneratorer är betydligt tystare vid användning.

Den solpanelsanläggning som införskaffas måste också regelbundet skötas om. Med till exempel rengöring kan man avlägsna skräp och andra orenheter kan sänka verkningsgraden och orsaka slitage på panelerna. Vid regelrätt skötsel kan man optimera panelernas livslängd. Detta betyder att man vid rengöring av solpanelerna inte får använda vilka medel som helst utan avlägsnar föroreningar som pollen med redskap som inte orsakar repor på ytan. På så sätt påverkar man livslängden positivt. (Laitinen, 2010.)

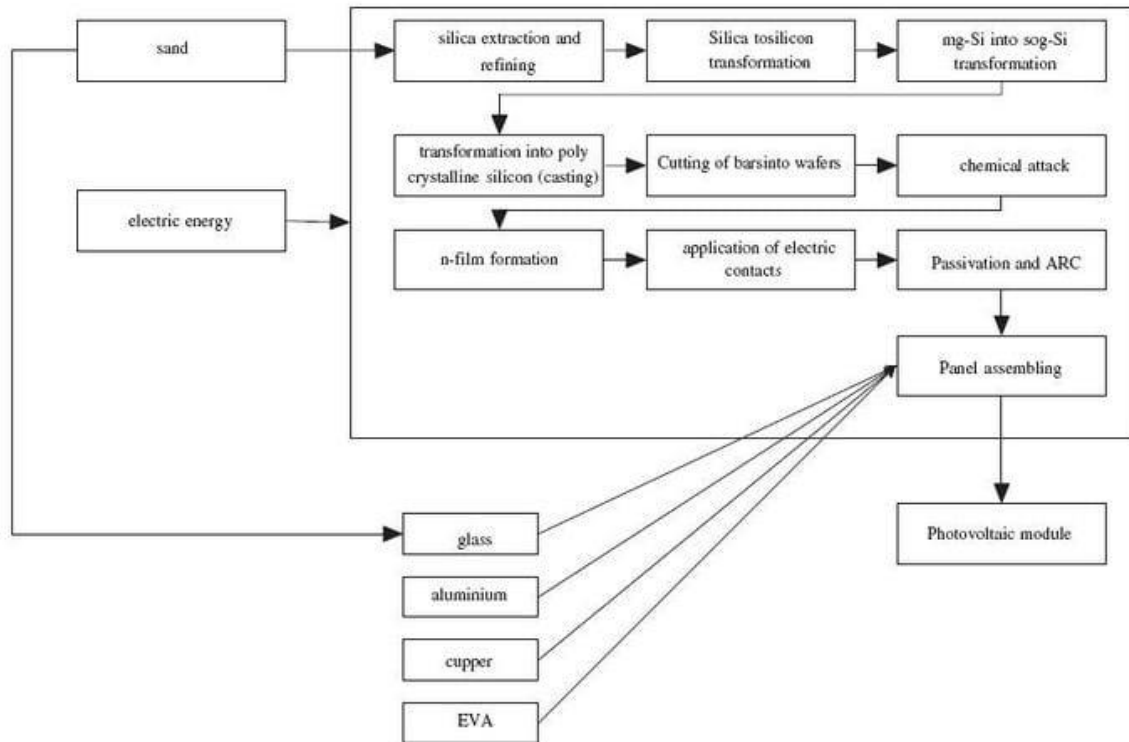
3.2 LCA – Livscykelanalys av solpaneler

Life Cycle Analysis eller livscykelanalys på svenska är en metod med hjälp av vilken man utvärderar en produkts miljöpåverkan från tillverkning till bortskaffande. En sådan utförs genom att man studerar och analyserar de materielmängder och den energimängd som krävs vid tillverkning av en produkt samtidigt som man beaktar de konsekvenser som uppstår genom användning, bortskaffande eller återvinning.

Tidigare LCA finns utförda på solpanelernas påverkan. I huvudsak räknar man med de tre mest krävande materialen som går åt till tillverkningen: Modulen, ramen och komponenterna till balanseringssystemet till vilket bland annat invertern tillhör. I exemplet nedan har inte ställningssystemet beaktats.



Figur 2 graf över koldioxidutsläppen orsakade av solpaneler, uppdelade i komponenter. Grafen jämför vanliga kiselbaserade solpaneler. Hämtad från Appropedia.



Figur 3 Beskriver produktionscykel och de resurser som krävs för att tillverka solpaneler. Hämtad från Appropedia.

Mest miljöpåverkan orsakas av tillverkningen av själva panelen. En annan faktor som också behöver inkluderas i solpanelens LCA är transporten. Eftersom de flesta storskaliga fabriker som tillverkar solpaneler finns i Kina blir transportsträckan till Finland av betydande karaktär. I mindre mån påverkar också installationen av panelerna hos slutkunden beroende på vilka monteringsmetoder och verktyg som används. Påverkan i detta skede orsakas främst av elförbrukningen.

Vad som inte orsakar något utsläpp är användningen. Solcellerna förbrukar inget bränsle utan producerar energi genom att solstrålarna träffar panelen varefter en ström bildas. När allt flera solpaneler tas i bruk kommer nettoutsläppen att minska kraftigt i jämförelse med andra energiproduktionsformers användning i samma skede. Man bör också beakta att andra former av energiproduktion också har starkt miljöbelastande produktions-, - och transportsleden, tillika bör även komponenter i de enheterna bytas ut med tiden samt att flera av de som används för storskalig energiproduktion ännu idag kräver bränsle för att fungera.

Dagens solpanelers sista användningsstadium efter att livslängden löpt ut, bortskaffandet, är orsak till en del påverkan som kommer att bli mera märkbart med tiden. Det finns bristfälligt

med information om detta vilket kräver mera forskning för att kunna redas ut med relevanta data. Av denna orsak finns inte denna info med i LCA:n. (*Apple m.fl., 2010*)

3.3 Olika varianter av solpaneler

Det finns i huvudsak 3 olika varianter av solceller: Monokristallina, polykristallina och tunnfilmssolceller. Monokristallina och polykristallina solceller består till största delen av glas, aluminium, plast och kisel. Glas utgör ungefär två tredjedelar av solpanelens vikt. I betydligt mindre kvantiteter består solcellerna också av bly, koppar och silver.

95% av alla solceller utgörs av ovan nämnda kristallina kiselceller. I mindre utsträckning används också tunnfilmssolceller. Flera varianter av denna typ existerar och den vanligaste har benämningen CIGS-solcell. CIGS är förkortat från engelska och står för koppar, indium, gallium och selen. Detta examensarbete behandlar främst de kristallina solcellerna.

Skillnaden mellan dessa varianter är märks mest mellan de båda kristallina jämfört med tunnfilmssolcellerna. Tunnfilmssolceller har lägst verkningsgrad av dessa tre men är böjbara, vilket möjliggör för placering på ytor som de andra inte kan placeras på, mindre materialåtgång och är lättare.

De kiselbaserade solpanelerna skiljer sig åt från varandra på så sätt att monokristallina solpaneler har högst verkningsgrad men är dyrare än de polykristallina. (*Apple m.fl., 2010*)

3.3.1 Solfångare

Solenergi kan också utnyttjas med hjälp av solfångare. Skillnaden mellan solceller och solfångare är att solfångare producerar värme medan solcellerna producerar elektricitet. Den värme som produceras från solfångare bör kunna transporteras och lagras. Transport utförs endera vatten- eller luftburet.

Olika typer av solfångare finns också, bland andra vakuumrörssolfångare, plana solfångare och poolsolfångare varav de plana och vakuumrörsvanternas utgör huvudgrupperingarna. Skillnaderna mellan vakuumrörssolfångarna och de plana solfångarna är att vakuumrörssolfångarna absorberar solenergin via rörformen medan de plana absorberar genom isolering som effektivt förhindrar att värmen släpps ut igen. På så sätt blir de plana varianterna något effektivare. (*Tahkokorpi, 2016*)

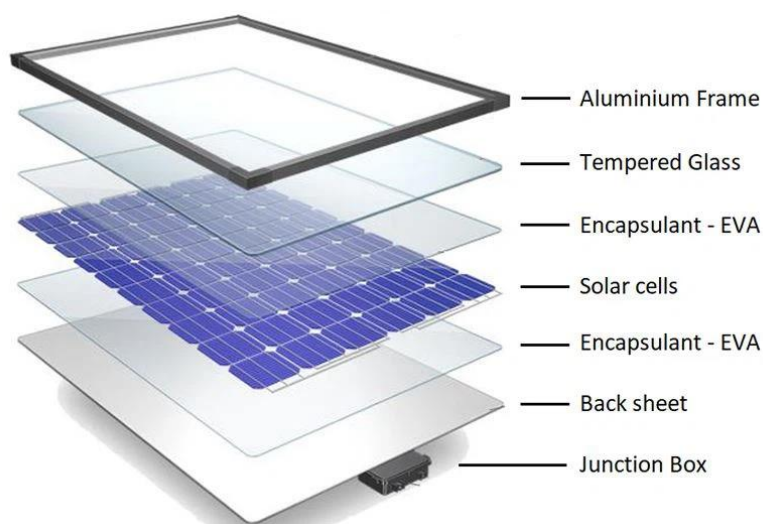
Detta examensarbete behandlar inte solfångare, utan i huvudsak solpaneler men det är viktigt att man vet skillnaden mellan dessa två applikationstyper, vilket är orsaken att detta beskrivande stycke finns med. Solfångare skiljer sig utseendemässigt från solpaneler.

3.4 Solpanelers beståndsdelar

Som nämndes i stycket ovan består en solcell viktligt till två tredjedelar till tre fjärdedelar av glas. Det är också det materialet som utgör huvuddelen av solpanelernas omslutning, i lag med aluminium och plast. Själva cellen består av kristallint kisel vilket utgör ungefär 5% av totala vikten och ytterligare beståndsdelar är ca. 1% koppar och ca. 0,1% silver och resterande beståndsdelar som bly. Av dessa material är silvret det som är minst förekommande på naturlig väg.



Figur 4 visualiserar en kristallin solcells materialvolym enligt vikt. Hämtad från solcellskollen.



Figur 5 visar en kristallin solpanels beståndsdelar. Hämtad från DS New Energy.

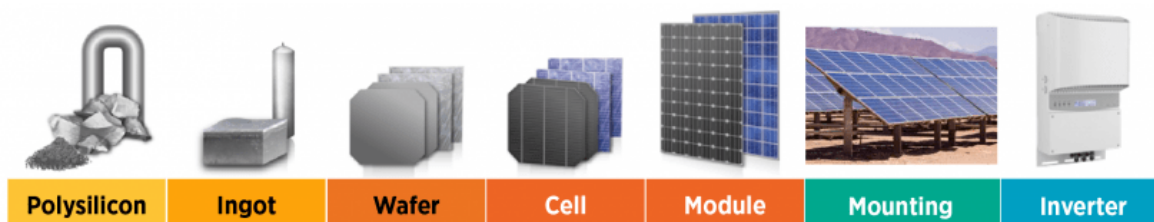
3.5 Solpaneltillverkningens grunder

Tillverkning av kiselpaneler innefattar produktionen av solcellerna, dess moduler, kablage, elektronik och monitorsystem etc. Nedan går vi igenom tillverkningsprocessen för några av beståndsdelar till solpanelerna.

Också i Finland förekommer solpanelstillverkning, en av tillverkarna är Salo Tech Oy, beläget i Salo. Företaget fokuserar främst på mono- och polykristallina solpaneler. Mera om detta företag och dess verksamhet i senare kapitel. *Salotech, u.å.*

3.5.1 Olika skeden av kiselcellstillverkning

De mest förekommande varianterna av solpaneler är de kristallina, uppdelade i två grupper: Monokristallina och polykristallina. Detta material fungerar som absorptionsmaterial i solcellen.



Figur 6 Visualisering av solpanelens tillverkningsstadier, steg för steg. Hämtad från Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.

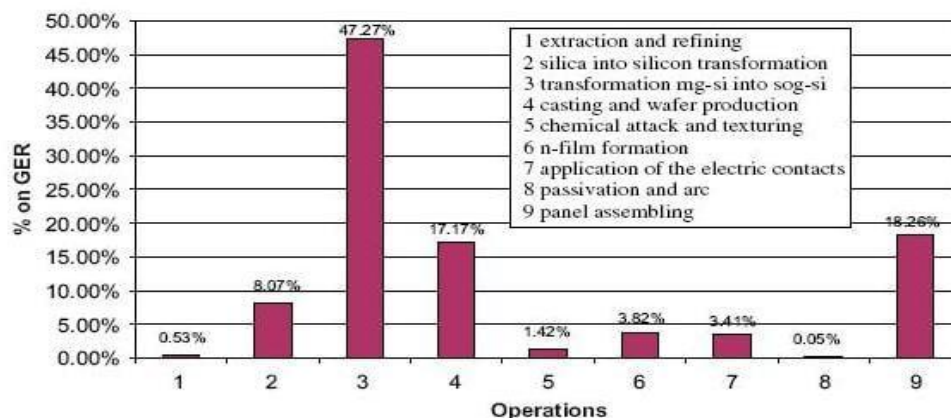
Bilden ovan visar olika stadier i tillverkningen av solpaneler samtidigt som det också visar några viktiga tillbehör som krävs för att hela systemet ska fungera.

Första stadiet innefattar kristallint kisel. Vanligtvis tillverkas komponenterna från pärl- eller stavformade grundkomponenter med hjälp av högreaktiva gaser. Det syntetiseras från metallurgiskt kisel som utvinns ur kvarts, väte och klor. Denna kisel-klor-väteföreningssgas passerar ett upphettat kisel-filament som bryter molekylbindningarna och för över kiset till filamentet. Detta bildar en u-formad stav av kisel. Orsaken att filamentet också är tillverkat ur kisel är för att förhindra att ett främmande ämne förorenar poly-kislet. Resterande gaserna återanvänds i en sluten cykel. Detta är en av metoderna som används för tillverkning av kiselpaneler och denna kallas för Siemens-metoden.

En annan metod innebär att pärlformat kisel placeras i ett kärl, format som en kon, till vilken det pumpas in en föreningssgas bestående av kisel och väte som får pärlorna att flyta till ytan av kärlet som därefter värms upp tills kiselbindningen bryts och atomerna överförs till pärlorna, som sjunker till botten av kärlet. Därifrån plockas pärlorna och skickas vidare i processen.

Nästa steg i processen är att forma om kiselstavarna, - eller pärlorna till plattor. Också i denna process placeras materialet i ett kärl som hettas upp, denna gång till sådan temperatur att kiset smälter och blir flytande. Från den flytande massan dras en liten ”partikel” sakta uppåt från ytan av kärlet vilket ger kiset en cylindrisk form. Denna process kallas för Czochralski-processen. I en annan metod genomförs de första stegen i detta stadiet på samma sätt, men istället för att dra materialet uppåt så låter man det kylas ned tills det stelnar och formen blir fast från botten uppåt. På engelska kallas denna metod ”directional solidification”, på svenska ungefär ”direktionell solidifiering”. Av denna metod bildas ett storkornigt kristallint göt som sågas till tunna skivor. Sågningen utförs ofta med diamantbelagda trådsågblad vilket lämnar en restprodukt i form av skär. Det finns andra metoder som minimerar skäret, bl.a. genom att avlägsna tunna nedkylda lager av kristallint kisel från ännu varmt, flytande kisel eller genom att använda en föreningssgas för att avsätta kiselatomer till ett kristallint kiselunderlägg i samma form som en kiselplatta. (*Solar Photovoltaic Manufacturing Basics, u.å.*)

Efter att man erhållit kiselplattor från tidigare processer följer själva celltillverkningen. Det första som görs är en form av rengöring i vilken man avlägsnar spån och andra föroreningar från ytan, denna process kallas för ”kemisk texturering”. Inte sällan bör cellen också utsättas för en gas med ett elektricitetsledande medium samt ännu applicering av diverse lager för att öka cellens effektivitet vid exponering av solljus. (*Solar Photovoltaic Manufacturing Basics, u.å.*)



Figur 7 Visualisering av de olika processerna samt hur stor procentuell andel av energimängden de kräver vid tillverkning. Här ser vi att den överlägset största andelen kommer ur transformationen av kisel till kisel som är dugligt i solpanelerna. Från Appropedia.

Till näst följer modulmontering. I detta stadiet kommer materialen koppar och silver in i tillverkningsprocessen. Kopparband pläterade med en lödmetall binder silverskenorna i cellens främre yta med intilliggande cellens bakre yta under en process som kallas ”Tabbing and stringing”. Sammankopplingen placeras med framsidan nedåt på en glasyta täckt med en polymerinkapsling. En annan skiva med inkapslingsmedel applicerat läggs ovanpå varefter ännu en skiva bestående av endera ett polymerunderlägg eller en till glasskiva. Laminering utförs i en ugn för att denna nya sammansättning ska bli vattentät och försätts efteråt med en aluminiumram varefter tätningsmedel och en kopplingsbox där band är anslutna till dioder som förhindrar bakåtströmning av elektricitet appliceras. (*Solar Photovoltaic Manufacturing Basics, u.å.*)

Kopplingsboxen, eller kopplingsdosan som de också kallas består av plast, vilket också i övrigt är ett vanligt förekommande material i solpaneler. Kopplingsdosan möjliggör för sammankoppling av flera solpaneler till samma system. (*Eri Materiaalit, Joita Käytetään Aurinkopaneelien Valmistamiseen, 2021*)

3.5.2 Tillverkning av aluminiumramen

För att forma solpanelens aluminiumram använder man sig av en speciell extraheringsprocess. Aluminium värms upp till sin smältpunkt och förs sedan in i en press som omvandlar aluminiumet till rätt form. Efter detta bör ännu kvalitetsgranskning utföras samt lite bearbetning för att det ska börja passa ihop med solpanelen. (*Otalum, u.å.*)

3.6 Råmaterialet och dess extrahering och hantering

Som beskrevs i det förra kapitlet så består solpaneler av ett antal olika beståndsdelar. Dessa bör extraheras, raffineras, formas och fraktas etc. Alla dessa processer och steg i tillverkningskedjan bidrar till solcellernas miljöpåverkan.

3.6.1 Kisel

Kisel är efter syre det vanligaste förekommande grundämnet. Den vanligaste framställningsmetoden för kisel är att hetta upp kiseldioxiden, även kallad kvarts, till en mycket hög temperatur. Metoden kallas för reduktion och utförs i en ljusbågsugn vid temperatur runt 1900K. Övriga ämnen separeras från kislet och förs bort, medan flytande kislet samlas i botten av ugnen. Detta kisel har en hög renhet som kan renas ytterligare med klorering. (*Mississippi Silicon, 2019.*)

Kisel som efter reduktion har en hög renhet, 98% eller högre har benämningen Mg-Si. Detta är inte en tillräckligt ren legering för att kunna användas inom elektronik, utan behöver renas ytterligare för att kunna tillämpas i solpaneler.

Den kiselvariant som kan användas i solpaneler har benämning SoG-Si (Solar Grade Silicon). För att transformera Mg-Si till SoG-Si måste kemiska processer ytterligare utföras för att rena det från föroreningar bestående av bland annat järn, aluminium, titan, bly och kol med flera. (*Safariana, Tranella, Tangstada et al. / Energy Procedia 20 (2012) 88 – 97*)

3.6.2 Aluminium

Från ett råmaterial som kallas för bauxit, bestående av olika mineraler ur vilken man erhåller aluminiumoxid efter en reningsprocess från ett oxidverk. Genom smältelektrolys erhåller man så kallat primäraluminium. Därefter formas primäraluminiumet till göt som anpassas för valsning eller gjutning. Legeringsmaterial tillsätts för att aluminiumet ska uppnå önskade egenskaper.

Formningen utförs via extrudering, en teknik inom vilket materialprofiler pressas fram, till exempel till stänger eller rör. Temperaturen som krävs för detta är ca. 450 – 500°C och vid de temperaturerna pressas götet genom en verktygsmatrix med önskad form, varefter det formade materialet kyls endera i luft eller vatten. Åldring utförs därefter på materialet vilket ger aluminiumet dess önskade hårdhet.

För att få aluminiumet plåtformat, som krävs för solpanelernas ram, så utförs varm- eller kallvalsning av götet vid höga temperaturer. Via valsning passerar götet flera gånger genom spalterna på två valsar, och avståndet mellan spalterna minskas tills man uppnått önskad materialtjocklek. (*Extrudering av aluminium, u.å.*)

3.6.3 Glas

Råvarorna till glastillverkning utgörs av sand (kiseldioxidsand), kalciumoxid, ”salt” och magnesium. Dessa blandas ihop och inte sällan tilläggs återvunnet glas vilket göra att smältningen kräver mindre energi. Råmaterialen förs vidare till en ugn i vilket de smälts ner vid en temperatur om 1600°C. Därefter hålls den flytande blandningen på ett flytande tennbad i vilket det formas till en skiva. Blandningen valsas därefter till skivor av önskad tjocklek. När glaset lämnar tenn-badet har temperaturen sjunkit till ungefär 600°C och glödgas därpå för att dämpa spänningarna i materialet. (*Glass Manufacturing Process, 2023*)

3.6.4 Koppar

Produktion av koppar börjas med kopparmalm som bryts ur en gruva eller ett dagbrott. Malm krossas och mals samt separeras genom anrikning från andra mineraler. Kopparkoncentrat bestående av ca. 25 – 35% koppar smälts i ett smältverk och blir till så kallad kopparsten. Övriga ämnen som järnoxid och svavel separeras i denna process. Smältan raffinerar genom elektrolyt och blir till kopparkatoder. Kopparkatoderna skickas efteråt iväg till gjuterier för att formas till önskad form.

Tillverkningsprocesserna för koppar har främst i Norden utvecklats på senare tid till att bli mera energisnåla samt att så mycket som möjligt av mineralerna och ämnena som separeras i processen tas tillvara. Tillika tas också energin tillvara i form av värme som kan överföras som fjärrvärme. (*Från malm till metall, u.å.*)

3.6.5 Silver

Ungefär 70% av globala silverproduktionen utförs vid gruvbrytning. Silver är inte sällan en biprodukt från utvinning av andra mineraler så som koppar och bly. Primärt silver kallas det som framställts i huvudsak för silvrets skull och utgör ungefär 30% av produktionsvolymen, medan 70 % utgörs som biprodukt ur brytning av andra mineraler.

För framställning av silver ur primär silverbalm löses krossad malm upp i en natriumcyanidlösning för att därefter absorberas av aktivt kol och föras över i en vattenlösning.

Om produktionen utförs som biprodukt ur bly/zinkmalmer framställs först en blandning (koncentrat) av de metallerna som därefter smälts och renas i smältverk. Smält bly och silver separeras genom att zink tillsätts som silvret reagerar med och stelnar, medan blyet hålls flytande. För att separera zinken från silvret ångas det bort vid hög temperatur.

Ifall silvret framställs tillsammans med koppar så följer det med alla steg i kopparproduktionen och separeras först vid elektrolys-skedet i kedjan. (*Olsson, 2013.*)

3.6.6 Övriga material

Utöver de material som beskrivs i kapitlen ovan så ingår också bland annat mindre mängder bly och polymera material samt gummi i solpanelerna vilka också kräver höga energimängder vid framställning. I övrigt förekommer inga stora mängder sällsynta jordartsmetaller i solcellerna. (*Hemming, 2023*)

3.6.7 Sammanfattning

Efter att ha gått igenom grundprinciperna för produktionen av solpanelernas viktiga största beståndsdelar ser vi att det rör sig om energikrävande processer. Höga temperaturer krävs för framställningen av alla dessa material så även fast de är vanligt förekommande i naturen lönar det sig just av den orsaken att ta tillvara komponenterna, inte bara för att undvika avfall.

3.7 Ibruktagande av solpaneler

För att kunna ta solpanelerna i bruk krävs vid sidan om själva panelerna också en del tilläggsutrustning. Det inkluderar växelriktare, även vardagligt kallat för ”inverter”, montagesystem och en elcentral samt även valfria tillbehör som laddningsregulator och ett eller flera batterier. (Hemming, 2023.)

Växelriktarens viktigaste uppgift är att omvandla likströmmen som kommer från solpanelerna till växelström. Som andra uppgift har växelriktaren att effektivisera elproduktionen. Detta är ett viktigt tillbehör som en solpanelsanläggning inte kan fungera utan. (Bergqvist, 2020.)

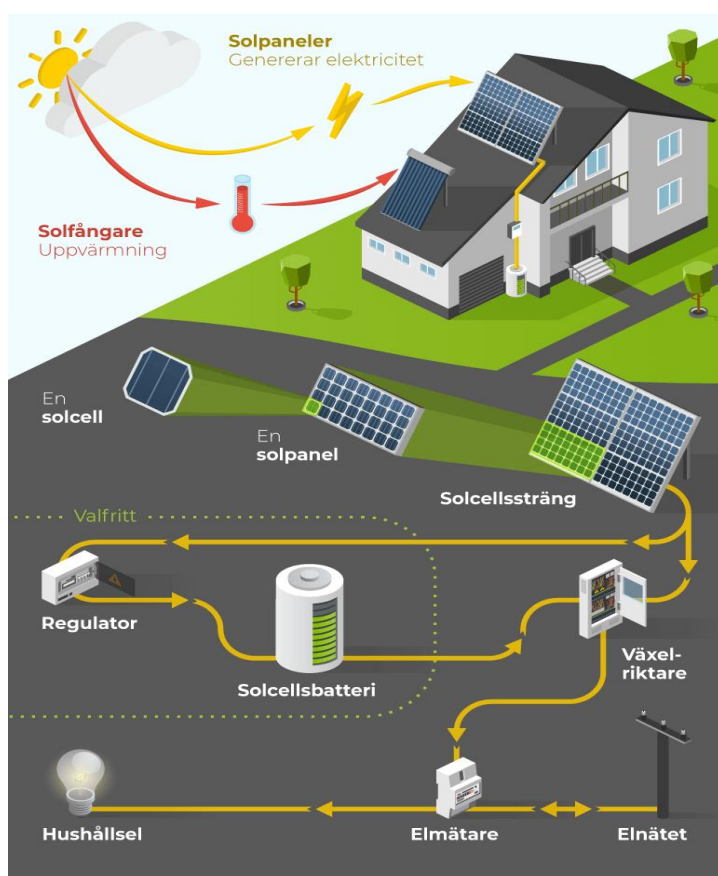
För att solpanelerna ska kunna monteras bör de ytterligare placeras och monteras på en ställning, inte sällan bestående av järn som genomgått en ytbehandling som beläggning eller förzinkning för att skyddas från korrosion. Dessa ställningar kallas för montagesystem. Det bör också påpekas att grunden som ställningarna står på i stora solcellsparkar består av betong. Dessa komponenter bör också tillverkas och transporteras samt beaktas när solcellerna blir förbrukade. Stationära ställningar finns i olika former, bl.a. baserade på de takformer som de är tänkta att installeras på. T.ex. finns ställningar för platta tak som konstruerats så att solcellerna kan lutas i olika vinklar för att fånga upp solljuset så effektivt som möjligt.

Det finns ställningar som är stationära i den position som de placeras i men också varianter som är rörliga och kan följa med solens rörelsemönster. Denna spårningsmekanism ökar solcellernas verkningsgrad, men ökar också behovet av komponenter så som motorer för att fungera. Tillika bör man också räkna med att de rörliga solpanelsställningarna kommer att vara i behov av mera underhåll och service än de stationära varianterna. (*Solar Photovoltaic Manufacturing Basics, u.å.*)

Laddningsregulatorn kan läggas till i kedjan för att maximera energiproduktionen ytterligare och reglera strömmen och spänningen samt skydda batteriet från överspänning. Laddningsregulatorn klarar av att överföra både likström och växelström på olika spänningsnivåer och kan fungera som laddare till batteriet. Två olika varianter av laddningsregulatorer finns och skillnaderna är märkbara vid energiproduktionen. Dessa varianter förkortas PWM (Pulse Width Modulation) och MPPT (Maximum Power Point Tracker).

En PWM-regulator tar emot strömmen från solcellsanläggningen och kapar spänningen. Detta betyder att laddningen till batteriet slås på och av när spänningen når en viss nivå, precis ovanför mottagande batteriets nivå.

MPPT-regulatorer fungerar så att de söker konstant efter bästa effektläge genom att reglera strömmen i panelen vid optimal spänning. Spänningen transformeras därefter ned medan strömmen transformeras upp med samma förhållande så det passar med batteriet. MPP-regulatorer är ca. 30% effektivare än PWM-regulatorer och kostar mera att införskaffa till solcellsledjan. (Tahkokorpi, 2016.; Hemming, 2023.)



Figur 8 visualisering av solcellsanläggningens beståndsdelar samtidigt som den visar i vilken ordning strömmen rör sig mellan de olika punkterna. Hämtad från Solarvolt.

3.8 Livslängd

Solpanelers livslängd utges vara ungefär 25 – 30 år. Livslängden påverkas dock av några faktorer, de viktigaste är hur den installerats, underhåll och solläge. Desto längre en solcell kan hållas i drift minskar dess växthusgasutsläpp per producerad energienhet. Vartefter teknologin utvecklas kommer nya krav att ställas på tillverkare och återförsäljare gällande

en längre livstid samt krav på möjlighet för återvinning för att kunna uppnå en bättre livscykel. (*Hedström, 2022*).

Växelriktaren behöver också bytas ut med tiden. Under sin brukstid behöver de inte utföras service på men har dock en livstid på ungefär 10 år, så under den tid man har solpanelerna får man räkna med att byta ut växelriktaren 1 – 2 gånger. (*Tahkokorpi, 2016*).

3.9 Marknadsföring

Solpaneler marknadsförs i dagsläget som ett miljövänligt alternativ för energiproduktion som på lång sikt också avbetalar sig ekonomiskt. I vissa fall går marknadsföringen så långt som att påstå att miljöpåverkan är näst intill noll. Detta kan uppfattas som oroande eftersom trenden tyder på det motsatta när tidpunkten kommer under vilken det blir dags att byta ut solcellerna.

Vid marknadsföring spelar försäljarna på panelernas verkningsgrad och deras tekniska funktioner samtidigt som marknadsföringen också inkluderar möjligheterna till självförsörjning och att kunna sälja överloppselen via elnätet för att kunna tjäna ekonomiskt på anläggningen. (*Hansdotter, 2019 ; Vanliga frågor och svar om solceller, u.å.*)

En del av marknadsföringen spelar på att solcellerna har störst miljöpåverkan vid tillverkningen och transporten. Produktion utförs oftast i länder långt borta från Europa, som till exempel Kina. Därifrån blir det långa transportsträckor för att nå den europeiska marknaden. Brytningen av de mineraler som hör till solpanelerna negligeras nästan lika mycket som problemet med solceller som tas ur bruk.

3.10 Design for Dissassembly

Design for Disassembly (på svenska ungefär design för demontering) är ett begrepp som innebär att en produkt utvecklas så att den ska bli enklare att ta isär. Detta eftersom man vill underlätta att produkter, material och komponenter ska kunna återvinnas, återanvändas och repareras. Med hjälp av denna metod minskar man belastningen på miljön och upprätthåller även den ekonomiska aspekten av vald produkt. Design for Disassembly är ett växande fenomen inom bland annat tillverkningsindustrin vartefter kraven ökar och processen påbörjas redan i designstadiet och framgången visar sig senast i slutet av produktens livslängd. Drivkraften är inte endast ekonomisk utan motiverande också eftersom man strävar att minska på allt skräp som linjärt designade produkter orsakat och de föroreningar som nyttillverkningen ger upphov till samt den material-, - och energiförlust som medförs. Allt detta kan sparas in på genom design för demontering. (*Design for Disassembly (DfD), u.å.*)

En utmaning som den cirkulära ekonomin står inför är återanvändningen av blandade material, i värsta fall går det inte att återvinna eftersom det är svårt eller olönsamt att försöka separera dem från varandra. Inom den cirkulära ekonomin sporrar man istället till att redan under designen planera så att man minimerar blandningen av olika material för att återvinningen ska bli så enkel som möjligt. En bra cirkulär design tillåter återvinning enkelt samt som den blir ekonomiskt och ekologiskt lönsam. (*Bilbao m.fl., 2021*).

Det finns flertalet aspekter att ta i beaktande för den som designar solpaneler, liksom alla andra produkter med limiterad livslängd, med Design for Disassembly i åtanke. Funktionsduglighet, kostnader, livslängd och hållbarhet är alla viktiga att tänka på i designskedet. När tiden kommer då produkten tjänat sitt syfte är kravet på att det ska vara enkelt att separera olika material och legeringar ifrån varandra viktigare. Genom att minimera användningen av farliga ämnen i produktionen eller genom att förenkla separeringen av dessa ämnen blir också graden av återvunnen materielmängd större. Det samma gäller material som är svåra att återanvända, samt också minimering av svårupplösta bindningsmedel.

Att förutse graden av återvinning och dess förbättringsområden samt identifiera svåråtervunna ämnen är viktigt för att kunna avgöra återvinningsgraden på en produkt, samt användning av markeringar som etiketter på respektive komponent underlättar ytterligare för återvinnaren när hen ska avgöra om vad som är nödvändigt att ta tillvara från den uttjänta

produkten. Genom att tillverka nya produkter av redan återvunnet material kan man sporra till fortsatt cirkularitet redan i produkternas design-stadie.

Vidare följer rekommendationer för angående vad som tas i beaktande vid solpanelsdesign: Identifiering av hållbar modulkonstruktion och sammansättning tillåter en mera effektiv och trygg återvinningsprocess.

Materialval till panelens baksida har stor påverkan på hur bra det går att återvinna panelens komponenter. På samma sätt har valet av panelens metaller till de komponenter som kräver det en stor påverkan på återvinningsprocessen och kostnaderna.

Designen av cellens inkapsling och hur enkel den blir att ta isär beror direkt på hur mycket av solpanelen som kan återvinnas. Detta beror på hur inkapslingen är sammansatt samt vilka bindningsmedel som används för att den ska hålla ihop. Här kan man tänka på ifall andra bindningsmedel kan ändras för att underlätta vid demontering.

Ett dilemma som orsakas är hur komplex solpanelen ska designas; att förenkla designen kan förvisso leda till att den blir enklare att återvinna men det kan påverka dess effektivitet under livstiden. Den mest relevanta faktorn här är solpanelens verkningsgrad. Tillverkningskostnader kan minskas, återvinning underlättas men energimängden som den ger av solljuset kan minskas vid en simplare konstruktion. (*Bilbao m.fl., 2021*).

I framtiden bör vi tänka vidare på hur solpaneler designas för att de lättare ska kunna monteras isär. I nästa kapitel beskrivs hur solpaneler kan återvinnas i dagsläget och att processen kan upplevas som invecklad och utmanande. Tillsammans med beskrivningen ovan, om hur de tillverkas, får man dra den slutsatsen att flertalet av svårigheterna kan elimineras genom att solpanelerna redan i planeringsskedet planeras så att de blir lättare att ta isär och separera deras komponenter.

4 Solpaneler i Finland

I Finland liksom i andra delar av världen har bruk av solenergi ökat markant med tiden. Försäljningen av solpaneler går upp och antalet solpaneler i användning är högt. Därför blir hanteringen av solpaneler i Finland viktig att utföras på rätt sätt.

4.1 Solpanelstillverkning i Finland

Som nämndes tidigare finns solpanelstillverkning i Finland. Bland andra Salo Tech Oy har 40 års erfarenhet av solpanelsutveckling och tillverkning. Fabriken i Salo är automatiserad så tillverkningen utförs av robotar. Detta ger dem möjlighet att tillverka högkvalitativt och konkurrera med övriga tillverkare.

Salotech har flera återförsäljare nämnda i sin hemsida. Bland dessa är, men inte limiterade till, Onninens enheter i Karleby, Jakobstad, Seinäjoki och Vasa, El-Sören i Munsala, Nykarleby och Alahärmän Sähkö. (*Salotech, u.å.*)

5 Hantering av gamla solpaneler

Precis som alla elektroniska enheter är solpanelers livslängd begränsad. Vartefter flera solpaneler inom en snar framtid kommer att behöva bytas ut, så blir det också viktigare att hanteringen av uttjänta solpaneler utförs på rätt sätt.

Solenergi är en relativt ny form av elproduktion vilket också är en orsak till att återvinningen inte är särskilt effektiv ännu. Framst på grund av ekonomiska orsaker då det inte ansetts kostnadseffektivt att satsa på återvinning hittills. Än så länge skickas flera solpaneler till vanliga återvinningscentraler när dess livslängd löpt ut. När större och större mängder kommer till återvinning blir det allt viktigare att vi har ett fungerande system för återvinning. Det blir en mångsidig uppgift som innefattar hantering av farliga ämnen samt att kunna utvinna så mycket som möjligt av främst de mest svårtillgängliga materialen och vid behov kunna separera dessa ämnen från varandra.

Med tiden kommer krav att ställas på solcellstillverkarna att enheterna behöver bli enklare att ta isär och återvinna och med denna utveckling kommer vi att kunna ta tillvara alla komponenter i en solcell i framtiden. (*Hedström, 2022*).

5.1 Hur kan uttjänta solpaneler återvinnas?

Återvinning av solpaneler är en viktig etapp gällande att säkerställa förnybar energiproduktion i framtiden. Det finns i dagsläget inga enkla metoder för att återvinna uttjänta solceller men inom industrin strävar man till att utveckla konceptet. Som tidigare nämnts i kapitel 3.8 så har solpaneler en livslängd på 25 – 30 år, vilket betyder att stora mängder ännu inte börjat hopa sig. Inom 10 år har läget sannolikt förändrats men vid det laget har också återvinningsprocesser möjliggjort till den grad att det inte bara är lönsamt för miljön utan också ur ett ekonomiskt perspektiv. För att driva en process med att återvinna gamla solpaneler måste man ta i beaktande att spill av främst värdemetaller bör reduceras och miljöpåverkan minimeras. (Wallner, 2021).

I nuvarande läge finns två huvudsakliga processer för solcellsåtervinning: Den första metoden strävar till att demontera panelens omslutning (glas, plast och aluminium) samtidigt som den strävar till att ta kiselcellen tillvara. Kiselcellen kan återanvändas i nya solpaneler eller i annan elektronik.

Återvinningen av solceller kan delas in i olika steg, såsom demontering, återhämtning, värmeseparering, cellseparering och kiselåterhämtning. (Schoder, 2020).

5.1.1 Återvinning av kiselpaneler, steg för steg

Demontering innebär att omslutningen separeras från resten av panelen. Från denna återvinns aluminium och koppar. Inget går till spillo från detta steg eftersom både koppar och aluminium är fullt återvinningsbara.

Vid glasseparering körs glasskivan längs ett rullband för att återvinna glaset, som har en återvinningsgrad på ungefär 95%.

Värmesepareringen utförs med att de resterande materialen körs in i ett värmeprocesseringsenhet som värmer upp dem till flera hundra °C. Detta orsakar att bindingarna mellan materialen släpper och gör dem enklare att separera. Plasten faller bort från kiselcellerna vilket underlättar dess återvinning. Plasten återvinns därefter vid behov.

Cellerna separeras därefter mekaniskt och ca. 80% av detta material är direkt återvinningsbart medan resterande volymen bör genomgå vidareaffinering innan den kan användas igen.

Från cellsepareringen genomgår kiselraffinering för att få ut mera av detta material. Kislet som erhållits från raffineringen smälts ned för att tillverka nya solpaneler. Slutliga restvolymen av kisel kan separeras med hjälp av syra. Totalt har kisel en återvinningsgrad på ungefär 85% ur kristallina kiselpaneler. (*Schoder, 2020. ; Solar Panel Recycling, 2023*)

5.1.2 Återvinning av tunnfilmssolceller

Den andra metoden riktar sig till tunnfilmssolceller. Med denna metod strävar man till att ta tillvara kadmium-tellurid eller indium-gallium-selenid från cellerna. Denna metod kräver försiktighet för att få ut största möjliga volym av dessa värde-element.

Tunnfilmssolceller strimlas till bitar av några millimeters storlek. Substansen som lämnar är en blandning av solid och flytande materia som separeras med hjälp av en roterade skruv. Den flytande återstoden går igenom en avfuktningssprocess varefter den genomgår ett metallprocessningssteg som separerar halvledar-materialet.

Solitt material genomgår en vibrationsprocess som separerar glas från inneslagna materialet. Ca. 90% av glaset kan återanvändas från tunnfilmssolceller. (*Vekony, u.å.*)

5.2 Framtiden

Än så länge är storskalig återvinning av solpaneler i startgroparna. Framsteg görs runt om i världen. Nya metoder utvecklas för att underlätta extraheringen av kisel, tenn, koppar och silver från panelerna.

De framsteg som görs idag kan med bra timing komma att visa sig när den första vågen av uttjänta solpaneler skickas på återvinning. Kostnadseffektiva återvinningsprocesser är under utveckling och behovet av fungerande återvinningssystem ökar. I framtiden kommer sannolikt flera solpaneler att börja tillverkas i återvunnet material. (*Blue Stem Energy Solutions, 2023*).

Till exempel i Australien har forskare utvecklat metoder för att kunna extrahera kisel från paneler och konvertera om det till nano-kiselpartiklar som kan användas till tillverkning av litium-jonbatterier. Metoden är en värmeseparationsprocess som beskrivs som billig, effektiv och inte skadlig för miljön. (*Carroll, 2023*).

6 WEEE-direktivet

År 2012 genomförde EU det så kallade WEEE-direktivet (Waste from Electrical and Electronic Equipment Directive) som sätter mål för insamling, återvinning och återanvändning av alla typer av elektronik.

Direktivet ställer krav på tillverkare och elektronikåterförsäljare att etablera en infrastruktur för insamling av elektronikavfall från fysiska personer. Kravet är i nuläget att privatpersoner kostnadsfritt ska kunna återlämna förbrukade elektronikprodukter. (*European Commission, u.å. ; Eur-Lex, u.å.*)

Solpaneler faller inom detta direktiv under samma grupp som bland annat datorer. Kravet är att minst 60% av sådan elektronik och 80% av material från enheter från denna grupp ska kunna återvinnas och återtas.

6.1 Mål

Målet med WEEE-direktivet är att effektivisera återvinningen av uttjänta elektroniska enheter för att minska deras klimatpåverkan och begränsa avfall från elektroniska enheter. Detta ska uppnås med hjälp av att aktörer som omfattas av direktivet bidrar till effektivt återhämtande av sekundära råvaror genom återanvändning, återvinning och andra former av återbruk. (*European Commission, u.å.*)

6.2 Implementering

Hur implementeras då WEEE-direktivet så att det ska fungera i praktiken? Det finns ett krav på EU-länder att de årligen ska rapportera angående sina framgångar inför WEEE-kollektivet. I rapporteringen framkommer om förberedelser för insamling och återanvändning.

Som tillverkare och producent har man också ansvar att rapportera om sina framgångar. Den som producerar och säljer elektronik inom EU bör regelbundet rapportera till WEEE-auktoriteterna i varje land som dessa aktiviteter pågår angående vilka typer av utrustning det rör sig om samt i vilka mängder. (*Your Europe, u.å.*)

7 Intervjuer med aktörer inom solpanelsmarknaden

För att få en bättre bild av hur uttjänta solpaneler hanteras i dagsläget och hur framtiden ser ut angående dess hantering återvinning ringdes ett antal aktörer upp. Dessa aktörer är Herrfors, Stormossen, Spikas kvarn i Kronoby, Ab Ferromek, Salo Tech, El-Sören och Styrelsen i Svenska Järn.

Frågor som ställdes varierade beroende på aktörernas verksamhetsområde. För Herrfors del gäller frågorna främst angående försäljningen, hantering och syn på återvinningen. Frågorna som ställdes åt Styrelsen i Svenska Järn berör vad som sker och inte sker med uttjänta solpaneler i dagens läge. Ferromek och Spikas Kvarn intervjuas som användare av solpaneler och hur de från den synpunkten ser på framtiden och återvinning av de solpaneler som de har i bruk vid sina respektive verksamhetspunkter. Hur tänkte de vid införskaffandet av solpaneler och vad är planen vid den tid när panelerna tas ur bruk?

Ferromek har sedan två år tillbaka solpaneler installerade på taket till huvudbyggnaden (installerade 2021) för att producera egen energi. Spikas kvarn har också egna solpaneler och den stora solpanelsanläggningen installerades och togs i bruk år 2017. Syften med varför solpanelerna införskaffades varierade något mellan de olika parterna vilket befinner intressant och ger en bredare bild av varför olika aktörer tar beslutet om att införskaffa dem.

Orsaken att Herrfors valdes som intervjusubjekt är att de är verksamma inom energibranschen i Jakobstadsregionen som eldistributör. Utöver att erbjuda elavtal till spotpris utför de också planering och försäljning av solpaneler vilket är orsaken att de uppfattas som relevanta att intervjua för detta projekt.

Även solpanelstillverkaren Salo Tech Oy intervjuades. Som finländsk tillverkare anses deras kunskaper om ämnet relevanta och bör kunna ge en inblick i hur tillverkningen går till och vad som bör tänkas på i den processen samt framtidsutsikten och hur de förhåller sig till det faktum att stora antal solpaneler riskerar att orsaka ett enormt miljöproblem. Även hur de designar sina paneler och hur de angriper förbättringsförslag som orsakar att avfall från solpanelerna minskar

Som sista intervjusubjekt valdes också en av Salo Techs solpanelsåterförsäljare. El-Sören i Munsala ringdes upp för en intervju. Som återförsäljare har man antagligen ett visst förhållningssätt till hur solpanelerna bör hanteras samt vem ansvaret bör åläggas samt hur men förhåller sig till det egna ansvaret.

Intervjuerna utfördes i form av strukturerade intervjuer, alltså i vilka alla frågor är planerade på förhand för att uppnå exakta intervjusvar. Alla intervjuer förutom en utfördes via telefon vid förbestämda tidpunkter och intervjusubjekten hade fått ta del av frågorna på förhand för att kunna bekanta sig med dem. Undantaget var Spikas Kvarn vars intervju utfördes på plats vid verksamhetspunkten i Kronoby.

7.1 Intervju med Herrfors

Herrfors intervjuades 17.10.2023 kl. 14:45. Svarande är en anställd av företaget och har solpaneler som huvudsakligt verksamhetsområde.

- Kan ni berätta om Herrfors verksamhet?

Svar: Herrfors är ett elbolag som utför produktion och försäljning tillsammans med Herrfors nät, ett skilt bolag som är medägare. De är aktiva inom elnätverksamhet.

- De solpaneler ni tillhandahåller, kan ni berätta något deras ursprung?

Svar: De flesta panelerna är tillverkade i Kina och köps in via vår leverantör som lägger egen branding på dem.

- Hur länge bör en solpanels livslängd vara?

Svar: Eftersom produktionsgarantin ligger på 30 år så får man anta att livslängden är längre, rent av upp till 40 – 50 år. En produktionsgaranti med denna tid skulle man nog inte lägga på en produkt om man inte är helt säker på att den livstiden är det minimala.

- Har ni en uppgjord LCA (Life Cycle Analysis) på solpaneler?

Vi har ingen egen uppgjord LCA på dem, vi är dock bekanta med konceptet.

- Ungefär hur många % av er elproduktion utförs mha solpaneler?

Herrfors har inga egna solpaneler i dagsläget men vi köper in överloppselektriciteten av privatpersoner och företag inom vårt område. I dagsläget är andelen under 1%.

- Vilka andra former av energiproduktion utgörs er verksamhet av?

Svar: Herrfors använder sig också av vindkraft, vattenkraft, kärnkraft och biobränslekraftverk.

- Vore leasing av solpaneler ett alternativ?

Svar: *Nej. Med leasing får man tänka sig att det alltid är någon som ska ha sin del av det med tanke på dagens marknadspris på solpaneler. Vi ser inte att det skulle finnas någon lönsamhet i detta.*

- Vad tar ni som elproducent för ansvar angående solpanelernas återvinning?

Svar: *Efter att vi sålt dem har vi egentligen inget ansvar men vi ger råd och hjälper till vid behov och söker fram information på vilket sätt de ska kasseras beroende på vilket område de är installerade på.*

- Vad bör man göra med en solpanel vars livstid löpt ut?

Svar: *Rekommendationen är att de kasseras som elektronikskrot enligt lokala direktiv.*

- Har ni planer på att utföra egen återvinning eller påbörja samarbete med en aktör som kan sköta detta?

Svar: *Inte för tillfället. Det är relativt nytt även på Herrfors så vi har inte kommit så långt att behovet att skrida till åtgärder angående detta. Det kan komma in någon enstaka på flera år. Själva återvinningen finns det inte så mycket verksamhet kring i dagsläget på grund av att det inte börjat komma in stora mängder paneler men det kommer att bli aktuellt i framtiden.*

- Påverkar inverters och laddningsregulatorer solpanelernas livslängd beroende på kvalitet och typ?

Svar: *Svårt att svara, vi skulle anta att det inte har någon betydelse.*

- Finns återvinningsprogram för inverters och laddningsregulatorer? Är det lönsamt?

Svar: *Nej, inte heller här är det lönsamt att återvinna. Kasseras som elektronikskrot. Hittills har en behövt bytas ut men detta på grund av åskväder.*

- Vore ett pantsystem, alltså så att gamla paneler kan lämnas in mot billigare kostnader för nyinköp, realistiskt?

Svar: Säkerligen i framtiden när det börjar finnas en marknad för insamling ifall det finns någon som samlar. Det beror på vad materialen i panelerna kan användas till efteråt.

- Hur påverkar WEEE-direktivet er verksamhet?

Svar: Vi upplever inte att det påverkar oss så mycket, vår leverantör sköter om detta och sköter om registreringen, betalningen och rapporteringen av varorna som importeras via en organisation som de är med i.

7.2 Intervju med Ferromek

Intervjun med Ferromek utfördes fredagen 13.10.2023 med företagets VD, Kim Åkerlund. Frågor som ställdes kretsar kring företagets solpaneler som införskaffades under år 2021 i formen av monokristallina kiselpaneler.

- Varför togs beslutet om införskaffning av solpaneler?

Svar: Ferromek strävar konstant till att göra förbättringar och i och med erhållandet av miljöcertifikatet 14001 som erhöles år 2014 ville även fokusera på något större än enbart minikravet för 14001. Solpaneler funderades på och flertalet leverantörer kontaktades innan vi tog beslut om en specifik lösning.

- Solpanelernas ursprung? Leverantör?

Svar: Som leverantör av solpanelerna fungerade Solnet medan företaget Solaredges levererade invertern.

- Har investeringen varit lönsam?

Ja, investeringen har varit lönsam. Lönsamheten blev desto större delvis med tanke på att elpriserna kan variera kraftigt, som skedde på grund av Rysslands anfällskrig mot Ukraina. Dessutom säljs överloppselektriciteten via elnätet och detta fenomen har ökat lönsamheten ytterligare. Just nu är prognosen att det räcker ungefär 7 år från införskaffningsdatum kommer solpanelerna att ha betalat tillbaka hela investeringen.

- Ungefär hur många % av er elproduktion utförs mha solpaneler?

Uppskattningsvis ca. 30 – 35% av företagets elproduktion utförs med hjälp av solpanelerna nuförtiden.

- Har ni en plan för solpanelernas hantering när dess livslängd löpt ut?

Svar: Det tänktes inte så mycket på vid införskaffningen och har ej tänkts så mycket på ännu idag. Vad vi vet om aluminiumramarna är att de kommer att kunna återvinnas precis som en stor del av aluminiumavfallet som uppstår från bearbetningen inom vår produktion. Montagesystemet består av förzinkat stål och när tiden kommer skickas det till återvinning som sådant.

- Ifall ett pantsystem fanns för insamling av uttjänta solpaneler, skulle ni finna det intressant när det blir aktuellt?

Svar: Inte osannolikt. Det beror på vilka alternativ som finns till förfogande när tiden kommer. Det är helt klart ett alternativ värt att överväga.

- Hade leasing varit ett alternativ?

Svar: Leasing som ett alternativ övervägdes inte. Ferromek införskaffar generellt inte artiklar via leasing eftersom investeringar anses mycket tryggare som inköp istället. När en produkt är avbetalad äger man den vilket undviker eventuella överraskningar som kan uppkomma genom leasing.

7.3 Intervju med Spikas Kvarn

Intervjun med Spikas Kvarn utfördes på plats 18.10.2023 kl. 10:00 med svarande Bengt Häggblom. Spikas kvarn intervjuades som användare av solpaneler och hur de tänkte kring införskaffandet, om användningen samt hur de tänker om bortförskaffandet av solpanelerna när det blir aktuellt. Intressant med Spikas Kvarn är att inte enbart solceller använts här, utan också vakuumsolfångare finns installerade för värmeproduktionen samt en värmepanna för att kunna lagra värmen effektivt.

- Kan ni berätta något om Spikas Kvarn?

Svar: Själva kvarnen planerades redan 1916. Två familjer beviljades tillstånd och ibruktagningen förverkligades under 1920-talet och upphörde 1962. Vid kvarnen maldes under verksamhetsperioden spannmål för boskap och människor. Sedan år 2006 är kvarnen i Kronoby Folkhögskolas ägo.

- Varför togs beslutet om införskaffning av solpaneler?

Svar: Sedan kvarnen kom i Kronoby Folkhögskolas ägo har den gjorts om till ett center för förnybar energi. Tillståndet för införskaffning av solpaneler beviljades år 2008 och detta ville man ha för ett undervisningsprogram. Föreningen för Teknik, Energi och Miljö står bakom detta och solpanelerna har med hjälp av 14 företag och ett antal privatpersoner blivit sponsrade. Idén var att kvarnen skulle bli helt självförsörjande, men detta lyckas inte riktigt enkelt utan mänsklig närvaro. Den stora panelanläggningen tillkom senare, så sent som år 2017. Sedan 2018 har solpanelerna producerat 26MWh elektrisk energi. Tidigare har också vindkraft använts.

- Solpanelernas ursprung? Leverantör?

Svar: Som leverantör fungerade El-Sören från Munsala och det är Salotech's solpaneler som installerats.

- Har investeringen varit lönsam?

Svar: Eftersom 14 av 18 paneler sponsrades av föreningen så har inte mycket pengar gått ut. Det är svårt att värdera i pengar.

- Ungefär hur många % av er elproduktion utförs mha solpaneler?

Svar: *Ungefär 20% av elproduktionen utförs av solpaneler vid Spikas Kvarn. Det skulle ha varit till fördel med flera behållare för energin, då kunde denna procent öka något ännu.*

- De solpaneler som ni har idag, hur länge har de använts?

Svar: *Som tidigare nämnts så installerades de under år 2017 så det har varit 6 år i användning nu.*

- Hur har verkningsgraden påverkats med tiden, märks det i elproduktionen?

Svar: *Än så länge har vi inte märkt av någon förändring i verkningsgraden. Det är klart att nya, rena solpaneler ger mest energi men hittills har nog verkningsgraden inte påverkats märkbart.*

- Har ni en plan för solpanelernas hantering när dess livslängd löpt ut?

Svar: *Detta har vin inte funderat så mycket på, det är inte något som man ofta tänker på när man funderar på att införskaffa solpaneler. Det är något som blir aktuellt när den dagen kommer.*

- Hade leasing varit ett alternativ?

Svar: *Nej, detta var inget som skulle ha övervägts eftersom största delen av solpanelerna sponsrades.*

- Ifall ett pantsystem fanns för uttjänta solpaneler mot billigare införskaffning av nya, skull ni finna det intressant?

Svar: *Absolut.*

7.4 Intervju med Styrelsen i Svenska Järn

Representanten för Styrelsen i Svenska Järn, Ellinor Feuer, intervjuades 17.10.2023 kl. 12:00 för att få ta del av information av en återvinnare av metallskrot. Aspekten är viktig fastän aktören inte är specialiserad inom återvinning av solpaneler, men ändå fått in några sådana. Frågor som ställdes:

- Kan ni berätta om Styrelsen i Svenska Järns verksamhet?

Svar: Svenska Järn som också kallas för Svenska Järn och Metalls krothandlarföreningen är en sammanslutning av skrotföretag i Sverige, en branschorganisation. Styrelsen jobbar med att ta tillvara medlemmarnas intressen och synas utåt och förklara vilket arbete våra medlemmar gör. Vi upplever att vi som arbetar med skrotåtervinning är okända och folk känner inte till det arbete som vi gör. Vi jobbar också mycket med att hålla kontakt med myndigheter och besvara medlemmarnas frågor och besvara deras frågor. Styrelsen består av 8 personer, jag som ordförande och en branschansvarig som arbetar 25% åt svenska järn. Själv har jag arbetat med trading av metall och elektronikskrot i 15 år.

- Vad är er syn på dagens hantering av uttjänta solpaneler?

Svar: Min syn på hantering och återvinning av solpaneler är att det inte finns någon. Eftersom de faller under WEEE-direktivet så faller de inom elektronikskrot.

- Hur ser ni på utvecklingen, går den i rätt riktning?

Svar: Ur återvinningssynpunkt så har solpaneler börjat dyka på agendan. Jag sitter också i BIR (the Bureau of International Recycling) och där märks det att det börjas diskuteras överallt och det syns mera bland annat i media. När det uppmärksammas mera så börjar också återvinnarna prata om det. Fortfarande har vi inga mängder skrot från solpaneler att tala om så det är svårt att veta men det finns flera som diskuterar problemet i jämförelse med för två år sedan.

- Har ni gjort upp en LCA (Life Cycle Analysis) för solpaneler?

Svar: *Själva har vi inte gjort något men Stena recycling har funderat på det. De har kommit fram till att det finns väldigt många typer. Bland annat solcellslampor som sätts upp i trädgården har lite samma teknik som solpaneler fastän de egentligen inte är samma sak och de går tyvärr inte att återvinna. Tillverkare kollar på detta eftersom de vet att det kommer att bli aktuellt och vill kunna besvara de frågor som uppstår. Men många tillverkare har orsakat att det finns olika modeller med olika uppbyggnad och detta försvårar uppgörelse av LCA och tillika också återvinningen.*

- Har ni förslag på hur solpaneler kunde designas så att de blir enklare att ta isär och reparera/återvinna?

Svar: *Nej inte direkt. De är relativt enkla att reparera från början genom att separera aluminiumet och plasten. Gällande återvinningsprocessen så används pyrolys och hydromet-återvinningsprocess som verkar fungera. Gällande elektronikskrot överlag så är det enklare att återvinna skruvade produkter än svetsade eller limmade produkter. Som återvinnare är min upplevelse att tillverkare sällan funderar på återvinningen som nästa steg. Man kanske tänker mera på om ett specifikt material är återvinningsbart men inte desto mera över hur produkten är sammansatt.*

- Vilka komponenter tas tillvara i dagsläget?

Svar: *Aluminium, plaster, koppar silver, glas och kisel som tas tillvara på olika sätt. De äldsta panelerna innehåller även kadmium som behöver hanteras varsamt. Detta är inte ett problem med nytillverkade paneler.*

- Finns det ännu komponenter och material vars återvinningsgrad är bristfälliga vars återvinningsmetoder bör utvecklas?

Svar: *I överlag behöver hela processen ses över. Ungefär 15% av solpanelerna återvinns och tyvärr så separeras inte komponenterna i den utsträckningen utan hamnar med övrigt elektronikskräp. Man behöver se över specifik hantering av solpaneler, tillika återvinningsmetoderna. Mitt intryck är att processen för återvinningen av solpaneler inte behöver bli väldigt dyr och komplicerad så på det sättet är det positivt.*

- Finns återvinningsprogram för inverters och laddningsregulatorer? Är det lönsamt?
Svar: *Nej inget speciellt, detta hamnar bland elektronikskrot pga. kablaget.*

- Finns det någon förklaring till varför återvinningen av uttjänta solpaneler hittills är bristfällig? Andra än av ekonomiska orsaker?
Svar: *Det är en mängdfråga vilket också blir en ekonomifråga. Flera paneler kasseras så vi talar inte om några stora mängder som kommit in för att återvinnas ännu.*

- De komponenter som kan tas ur en uttjänt solpanel, kan de användas till att tillverka nya solpaneler eller används de till ett annat syfte efteråt? Vad?
Svar: *Här framkommer skillnader mellan återvinning och återbruk. Många elektronikåtervinnare är bra på återbruk också. Jag har svårt att se att solpaneler skulle bli återbrukade, men man kunde ju tänka att om man vill ha högre energieffektivitet så kunde man använda dem på annat sätt, detta är en mer teknisk fråga som tillverkarna kanske bättre kan ta ställning till.*

- Vore ett pantsystem, alltså så att gamla paneler kan lämnas in mot billigare kostnader för nyinköp, realistiskt?
Svar: *inte orealistiskt men det faller sannolikt på tillverkarna att börja driva detta. Det finns några konsultbolag som ser på pantsystem och det är tänkbart att vid utbyte kunde man få rabatter vid nyinköp men det faller som sagt på producenterna. Det blir ett mera komplext system än för pantburkar som kan ta emot flertalet burkar och flaskor. Därför faller det på tillverkarna som känner till sin egna produkt.*

- Hur påverkar WEEE-direktivet?
Svar: *Solpaneler ingår i WEEE-direktivet. Det ställer krav på producenterna. Solpanelerna hamnar bland elektronikskrot och återvinningsgraden gäller för allt elektronikskrot och panelernas återvinningsgrad faller långt under gränsen för återvinningsgrader.*

- Har WEEE-direktivets instruktioner haft någon egentlig verkan såhär långt?

Svar: Jag är av den åsikten. Det är något som alla använder och hänvisar till så det har haft verkan hittills. WEEE-direktivet har en speciell standard gällande återvinningen av solpaneler. Många regler kommer att tillkomma och bland annat exportförbud kommer att tillkomma vilket innebär att elektroniskrot kommer att behöva återvinnas inom Europa och här kommer WEEE-direktivet att påverka kraftigt.

7.5 Intervju med Salo Tech

Salo Tech intervjuades som finländsk solpanelstillverkare. Intervjun utfördes 18.10.2023 kl. 13:00, per telefon.

- Kan ni berätta om Salo Tech?

Svar: Salo Tech beslöt år 2014 att påbörja egen solpanelstillverkning i Salo. Från och med det har solpaneler tillverkats i växande takt med syftet att i första hand kunna betjäna på den inhemska marknaden samt även i Sverige och i de Baltiska länderna. Solpanelerna är designade enligt de nordiska väderförhållande och det beaktas också vid materialval.

- Hur fungerar en finländsk solpanelstillverkning mot en marknad av internationella aktörer?

Svar: Vi strävar som sagt till att anpassa våra solpaneler enligt de nordiska väderförhållandena och på det sättet har vi en fördel på den nordiska marknaden. Vi har ju dock konkurrens från bland annat den kinesiska marknaden som är dominerande i Europa.

- Materialets ursprung, varifrån kommer kisel, aluminium, glas, kopparn och andra delar land räcker?

Svar: *Vi strävar till att använda så mycket material av europeiskt ursprung som möjligt. Till exempel aluminium fås från finländska producenter och vi försöker använda oss av återvunnet aluminium så långt det är möjligt. Koppar och ledningar hittas också bland finländska producenter. Närmaste glasleverantör finns i Tyskland. Själva kisel-cellens material har tidigare importerats från bland annat Taiwan eftersom det inte finns tillräckligt med tillverkningskapacitet i Europa. Kiselcellen tillverkas färdigt och de har redan utfört Livscykelanalys över produkten. Kisel är ett material som har begränsat med leverantörer och producenter. En förändring med kiselleverantör blev vi tvungna att utföra på grund av att det rådde en osäkerhet kring om cellerna var tillräckligt hållbara i de väderförhållande inom vilka de ska användas. Nuförtiden får vi dem certifierade och med löfte om att de uppnår kraven.*

- Är råvarornas klimatpåverkan beaktade vid valet av dessa (koldioxidfotavtryck)?

Svar: *Så långt som det är möjligt. Till exempel har vi bytt ut materialet på bakre membranet från polymer till ett mera miljövänligt alternativ.*

- Har ni gjort upp en LCA (Life Cycle Analysis) på solpanelerna?

Svar: *Vi har utfört detta i samband med beräkningar om koldioxidfotavtrycket. Det framkom att cirka 70% av fotavtrycket är pga. koldioxidutsläpp vid tillverkning av kiselcellerna. Det är här som vi också har den största möjligheten att minska på påverkan. Detta har redan funderats på hur det ska utföras och vi kör med att försöka förbättra en sak, som en komponent, åt gången. Det är en konstant pågående process.*

- Hur anser ni att man som konsument bör hantera en solpanel efter att dess livstid löpt ut efter 25 – 30 år?

Svar: Kort sagt rekommenderar vi att man återvinner så ansvarsfullt som möjligt. Det finns några alternativ idag och sannolikt kommer flera tillvägagångssätt att uppstå i framtiden med bland annat teknisk utveckling, utvecklingsboomen är igång. Självklart på så sätt att man kan återta så mycket material som möjligt. Det har redan börjat utvecklas till ett stort problem i bland annat Tyskland och Spanien. Vad vi vet i detta skede är att det årligen uppstår tusentals ton skrot från uttjänta solpaneler. Det är dock möjligt att återta stora delar av huvudkomponenterna, till exempel aluminiumet är relativt enkelt att återvinna eftersom insamlingssystem finns för detta material. Det är ett råmaterial som det till och med betalas för.

Gällande glaset så kan man också hitta nya användningssätt för det och nya metoder för återvinning och användningssätt utvecklas. Återvinningsätt för kisel är under utveckling också. Självklart vill man också utvinna mässingen och silvret från panelerna och metoder är under utveckling för dessa också. Tyvärr finns inga riktigt miljövänliga tillvägagångssätt för att ta tillvara silver på grund av att man är tvungen att separera det med hjälp av syror.

- Påverkar inverters och laddningsregulatorer solpanelernas livslängd beroende på kvalitet och typ?

Svar: Det är nog ingen betydande påverkan på själva solpanelerna. Resten av systemet kan dock påverkas i olika grad beroende på modell och kvalitet. Invertern är den första komponenten som går sönder och man får räkna med att den behöver bytas ut åtminstone en gång under solpanelernas livstid. Controllern påverkar potentiellt främst batteriets livslängd.

- Utför, eller planerar ni att utföra egen återvinning av solpanelerna?

Svar: Vi återvinner de små mängder som hittills kommer in och har igång samarbete med andra parter som kan utföra återvinning. De sorteras som elektronikskrot och eftersom största delen av solpanelerna består av glas så återvinns de i enlighet med denna info. Utveckling av återvinningsmetoder är igång och vi funderar aktivt på hur våra egna paneler skulle kunna tas tillvara.

- Hur många % av de olika materialvolymerna förväntas kunna tas tillvara ur era uttjänta solpaneler?

Svar: *Omkring 95% bör kunna tas tillvara. De delar som blir problematiska att kunna återvinna är membranet, polymererna och bakre membranet utan att förbruka stora mängder energi. Teoretiskt sett bör man kunna återvinna 100% av aluminiumet och glaset. Det finns som sagt återvinningssystem för dessa.*

- Vad tar ni som tillverkare för ansvar angående hanteringen av uttjänta solpaneler?

Svar: *Som tillverkare ansvarar vi för hanteringen av våra egna paneler i enlighet med WEEE-direktivet. Vi strävar till att kunna sköta om detta inom hela Finland i enlighet med direktiven för elektroniskt avfall. Vi hoppas även kunna återvinna andra paneler än våra egna. Problematiskt är det med oräkneliga mängder panelmodeller på marknaden och man bör kunna anpassa efter det. Till exempel bör man kunna beakta om panelen innehåller polymerer.*

- Designar ni solpanelerna/produkterna själva?

Svar: *Ja, vi designar våra egna paneler.*

- Designas solpanelerna redan i detta skede så att de ska bli enklare att ta isär vid reparation eller återvinning? (Design for Disassembly)

Svar: *Det är en del av tanken kring designprocessen, ja. Men i huvudsak vill vi tillverka paneler som håller i de nordliga väderförhållandena. Bakre membranet väljs ändå så att det ska vara så miljövänligt som möjligt.*

Aluminiumskalet kan dock anpassas något för att underlätta vid reparation av solpanelen, vilket tillika underlättar vid återvinning.

- Vore ett pantsystem, alltså så att gamla paneler kan lämnas in mot billigare kostnader för nyinköp, realistiskt?

Svar: *Man får fundera hur det ska fungera i praktiken, åtminstone finns inget system som vi är bekanta med. Det finns några fall i vilka utländska paneler samlats in mot billigare nyinköp. Det bör dock anpassas för flera olika modeller för att bli lönsamt. Men det tåls att tänka på. Självklart i framtiden när det börjar röra sig om tillräckligt stora volymer kan det tänkas bli lönsamt.*

- Hur påverkas ni av WEEE-direktivet?

Svar: På så sätt att vi har ett tillverkaransvar för de paneler vi tillverkar. Endera så att vi börjar ta emot våra egna uttjänta paneler eller ordna samarbete med en partner för insamling och återvinning. Hittills har vi inte märkt av så kraftig påverkan av direktivet. I framtiden kommer vi att behöva rapportera om hur vi sköter om hanteringen av dem, och nya direktiv får man räkna med att komma att uppkomma.

7.6 Intervju med El-Sören

Sista intervjusubjektet är El-Sören i Munsala, Nykarleby. Som återförsäljare av Salo Techs solpaneler funderades hur de resonerar kring försäljningen av solpaneler och också hur de som försäljare anser att korrekt hantering av solpaneler ska utföras i dagsläget samt deras åsikt om framtiden.

- Kan ni berätta något El-Sören?

Svar: Elinstallationsföretaget startade 1978 som ett enmansföretag. Jag var väldigt tidigt ut med solpaneler, jag införskaffade först en på prov för att se hur den fungerade. Det började smått och ryktet spred sig tillika ökade förfrågan och så småningom delvis marknadsföringen. Därefter började solpaneler installeras på sommarstugor. Då under 2013 – 2014 övergick vi till elnätsanslutna solpaneler för egenhemsbruk. Det började helt enkelt med att jag tyckte att jag behövde testa en ny teknologi. Intressant med solpaneler är att de utvecklades till först för rymdindustrin.

- Hur länge har ni utfört försäljning av solpaneler?

Svar: Sedan tidigt 80-tal.

- Vad tar ni som försäljare för ansvar gällande avfallet som orsakas av uttjänta solpaneler/Återvinningen av uttjänta solpaneler?

Svar: *inget större personligt eller firma-ansvar. Gällande uttjänta solpaneler så började vi som sagt smått och efteråt skulle det installeras mera och mera och större och större. Systemen hos tidigare kunder har med tiden blivit utbytta eller utvidgade, då har gamla paneler bytts in och till största delen har de utbytta sålts vidare fastän verkningsgraden är betydligt lägre. Vissa har inte behovet av större och effektivare paneler så de nöjer sig med mindre.*

- Har ni en plan för hur solpanelerna ska hanteras, återvinnas när dess livstid löpt ut?

Svar: *Egentligen inte, med frågan har ställts av vår avfallshanteringspartner och enligt dem ska det behandlas som elektronikavfall. Som försäljare och installatör har man ett ansvar att ta hand om avfallet som uppstår ur uttjänta produkter. Så avfallet levereras avfallet till avfallshanteringen som behandlar på vederbörligt sätt. Från avfallshanteringen skickar de vidare till andra företag som tar emot avfallet därifrån som är specialiserade på vissa typer av elektronikskrot.*

- Är ni av den åsikten att de solpaneler ni tillhandahåller är designade för att enkelt kunna ta isär och reparera/återvinna?

Svar: *Relativt enkelt att ta isär, det finns inga rörliga delar. Aluminiumramen är bland det enklaste att ta isär vilket är energikrävande att framställa nytt av. Följande är kiselplattan, det är egentligen en stenprodukt, som också bör behandlas på vederbörligt sätt. Jag vet inte egentligen vad som görs med dem i slutskedet av livstiden, men för framtiden är det desto viktigare att vi får till stånd ett fungerande system gällande detta.*

- Vad anser ni som försäljare att man som privat- eller företagskund ska göra med uttjänta solpaneler?

Svar: *I första hand föra det till insamlingspunkter för elektronikskräp. Faller under samma skyldighet som tidigare frågan om vilket ansvar man har som försäljare och installatör, men här som användaransvar.*

- Finns alternativ som leasing av solpaneler?

Svar: Det har i liten mån förekommit bland leasingföretag som försökt sig på att bjuda ut leasingandelar för solpaneler till företagskunder. Hur detta lyckats har jag ingen kännedom om.

- Upplever ni att kundernas intresse är större för finsktillverkade paneler än utländska?

Svar: Ja, så upplevdes det i synnerhet i början. Nu finns det flera tillverkare så konkurrensen är hård, och finsktillverkade paneler är något dyrare men detta är de flesta kunder villiga att betala speciellt med tanke på att servicen av panelerna kan utföras i Finland.

- Omfattas ni som försäljare av WEEE-direktivet?

Svar: Det är nog främst tillverkare som omfattas av detta direktiv.

7.7 Analys av intervjusvaren

Det anses att intervjusvaren från de olika intervjusubjekten har innehållit överensstämmande information och inga motsägelser har uppkommit. Eftersom de aktörer som intervjuats har olika verksamhet kring solpaneler, som försäljning, återvinning och användning så har informationen som erhållits ur svaren blivit mera omfattande.

Gällande återvinningen av solpaneler så ges intrycket av att utvecklingen är igång och nya processer funderas kring hur de ska bli enklare att återvinna. Själva kiselcellerna bör ses som utmanande ännu att återvinna och metoder för denna hantering kommer att behöva utvecklas vidare. Glaset och aluminiumet verkar ha en betydligt högre återvinningsgrad än kiset vilket får ses som positivt eftersom de är energikrävande att framställa. Tills vidare är det vanligt att de sorteras som elektronikskrot vilket bidrar till att panelernas återvinningsgrad än så länge är låg. Men som framkom från intervjuerna är det helt enkelt inte lönsamt att utföra storskalig återvinning på panelerna eftersom det ännu inte börjat komma in stora mängder avfall. En annan försvårande faktor är att det finns många tillverkare och därmed ännu flera modeller som är designade olika. Det blir utmanande för återvinnaren att veta hur var och en av dessa modeller bäst skulle kunna återvinnas. En egen tanke som uppstått hos mig sedan intervjuerna är ifall återvinningen kunde underlättas med införande av nya standarder över hur solpaneler ska var uppbyggda till exempel inom EU-området. Fastsättningsmetoder kunde regleras, som att skruvar bör användas istället för lim eller svets så det blir enklare att

ta isär panelen samtidigt som skruvarna också enkelt kunde återanvändas inom andra applikationer.

Vad jag själv kom att tänka på vid sidan om diskussion om återvinningen, med hänvisning till tidigare kapitel om tillverkningen, är att eftersom majoriteten av energin som används vid tillverkningen av solpanelerna är fossil så kunde man också på detta område sträva till att använda förnybara energikällor. Optimal vore ju ifall solcellerna kunde tillverkas med hjälp av solenergi; detta skulle öka självförsörjningsgraden vid produktionen. Det vore beundransvärt ifall energi kunde komma från samma typ av enheter som produceras i fabriken.

Solpanelernas livslängd verkar man vara ganska överens om, 25 – 30 år åtminstone. Solpanelerna borde ännu fungera efter denna tid men med betydligt försämrade verkningsgrad. Panelerna går alltså att använda till system som inte kräver att panelerna producerar på full effekt så en fråga vi får ta ställning till igen blir när ska man egentligen återvinna solpanelen? När möts linjerna över när verkningsgraden blir så låg att solpaneler inte producerar tillräckligt för att tjäna syftet tills återvinning faktiskt blir det mera vägande alternativet? Detta är också en fråga som vi kan ta ställning till i framtiden.

Angående designen av solpanelerna så verkar de i motsats till vad som antytts inte vara speciellt svåra att plocka isär. Som flera gånger nämndes så är aluminiumramen enkel att separera och detta är ett material som enkelt kan återvinnas, tillika glaset. De ovanligare materialen som koppar och silver har någon återvinningsgrad och som värdemetaller blir det någon form av lönsamhet i att återta de materialen från de stora mängder som är på kommande.

Ifall man som kund är mera intresserad av finsktillverkade solpaneler så finns alternativen men mot ett högre pris i jämförelse med utländsktillverkade, som till exempel kinesiska. Paneler från utlandet har ett större koldioxidavtryck än finländsktillverkade paneler i huvudsak på grund av de sträckor som de bör fraktas innan de når den europeiska marknaden. Ett vägande argument som framkom i en intervju som kunde användas vid marknadsföringen är att det blir betydligt närmare till service av solpanelerna ifall en finländsk tillverkare väljs, samt ifall något pantsystem kunde förverkligas kunde rabatten bli större vid nyinförskaffning ifall mottagaren känner bättre till hur den egna panelen bäst hanteras.

Leasing av solpaneler skulle fungera så att man ”hyr” en eller flera solpaneler och dessa skulle repareras ifall funktionsdugligheten försämras oförväntat av den part som leasar ut

dem, tillika så att de hämtas ifall kontraktet sägs upp eller när brukstiden löper. Den part som leasar ut skulle efteråt sköta om så att uttjänta paneler hanteras korrekt. Leasing av solpaneler har dock inget intresse väckts för, inte varken bland användare, tillverkare eller försäljare. Lite verksamhet har funnits kring detta men framgången är hittills okänd.

Intresse för pantsystem av solpaneler verkar också hittills vara svagt bland försäljare och återvinnare. Som tillverkare har man kanske bättre förutsättningar att utföra detta. Intresse bland användare är mera positivt och ifall system utvecklas för detta i framtiden är det troligt att det kommer att utnyttjas. Det beror på vilka villkor det kommer att verkställas enligt. Detta fenomen kräver mera fördjupning i.

WEEE-direktivet har börjat märkas av bland aktörerna och utgående från informationen så är utgångspunkten att tillverkarna har det största ansvaret för att kraven ska kunna uppnås. Dock kan inte allt ansvar tillägnas tillverkarna, återvinnarna har också ett ansvar samt användarna bör också bidra med att utföra sina egna uttjänta solpaneler till rätt återvinningspunkt.

8 Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan det förtydligas att flitig användning av solpaneler kommit igång under de senaste decennierna och de kommer att ha en betydande roll vid omställningen till förnybar energi. Efterfrågan har varit på kraftig uppgång och i samfunktion med vindkraft, vattenkraft och biobränsleanläggningar kommer vi att minska behovet av fossil energiproduktion.

Solpanelsanläggningar kan sammanfattas så att de är betydligt närmare klimatneutralitet än fossila energiproducerare. Fastän de stora mängderna avfall som orsakas av solpaneler och de material och energimängder som går åt vid tillverkning utgör klimatpåverkan så finns det möjligheter att förbättra metoderna för detta i framtiden. Solpaneler kan återvinnas och forskning och utveckling kring användningsområdena för bland annat kisel är på gång samtidigt som det åtminstone funderas på hos tillverkare och återvinnare hur man kan ta sig an återvinningen eller återbruket av uttjänta solpaneler som kommer in.

Vid val av solpaneler som installeras på hustak kan man se på de två huvudsakliga variationerna: Mono- och polykristallina solpaneler. Monokristallina är dyrare, men med högre verkningsgrad. Fördelen med polykristallina är att de är billigare vid införskaffning. Ingen information som jag sökt fram under skrivandets gång tyder på att någon av dessa

modeller vore mera krävande att tillverka, ej heller svårare att återvinna. Så med denna info vore det logiskt att satsa på de monokristallina panelerna för att få ut mera effekt, och i bästa fall klara sig med ett mindre antal paneler.

Alla aktörer kommer att behöva ta sitt ansvar så att återvinningen går smidigt när de stora mängderna börjar samlas och gällande hanteringen av uttjänta solpaneler kunde användarna informeras bättre om. Detta ansvar om att informera tillfaller tillverkare, återvinnare och försäljare, och detta kunde man börja inkludera redan i marknadsföringen av solpaneler. Vidareutveckling är på gång och bör göras och vartefter teknisk utveckling framskrider kommer nya metoder för återvinning att debutera. Tillika utvecklas solpanelsteknologin kontinuerligt och med dessa två fenomen i samspel ser framtiden ljusare ut med avfallshanteringen av uttjänta solpaneler. Som framkom i intervjuerna så är det fullt möjligt att återvinna solpanelerna med minimalt spill, om än spill inte helt kan elimineras.

Ifall solpaneler kunde designas så att de blir enklare att återvinna kunde också dess resiliens öka. Ifall vi har mera resilienta solpaneler så skulle detta ytterligare bidra till att vi minskar på förbrukningen av resurser och slösar mindre energi på dem. En kombination av mera cirkulärt designade solpaneler i samspel med mera tålig sammansättning kunde vi göra dem mera hållbara.

Gällande marknadsföringen av solpaneler så kan några brister påpekas i dagsläget, som att de framställs som ett helt miljövänligt alternativ för elproduktion. Jag upplever att detta gränsar till missinformation och kunde därmed ändras i framtiden, till exempel som enkla att återvinna eller tas emot som pant när system för storskalig återvinning är igång.

Informationen om solpanelerna bör bli tydligare, de som införskaffar bör bli medvetna om att slit och släng-tänkandet inte är hållbart. Jag vill betona att man studerar solpanelerna och blir medveten om dess beståndsdelar och kollar upp vilka återvinningsmetoder som finns samt följer med under den tid man har dem i användning hur utvecklingen fortskrider, då är man förberedd på hur man kan skicka dem till återvinning på rätt sätt. Tillika, fastän det framhålls att solpanelerna ska klara sig utan, vill jag också rekommendera att skötsel utförs under tiden, det man tar hand om håller längre.

Slutligen får man konstatera att det finns många olika aspekter som bör beaktas vid införskaffning av solpaneler, dessa användningstid och dess hantering efter uttjänt livstid. Sällan inträffar det scenariot att solpaneler helt slutar att fungera utan vid uttjänt livstid är syftningen det att dess verkningsgrad försämrats till den grad att den inte producerar

tillräckligt. Dilemmat med detta blir om ifall den omgäende bör bytas ut, eller klarar man sig ännu ett år eller två? Och med hänvisning till vad en av försäljarna påpekade under intervjun kan man också vid det skedet ställa sig frågan om solpanelen bör kassera eller skickas till återvinning, eller kunde den säljas vidare till en användare vars behov inte kräver en ny panel med högsta verkningsgrad?

8.1 Svårigheter

Att hitta information om återvinning av solpaneler upplevdes som svårt i ett tidigt skede av examensarbetet. Informationen upplevde jag som knapp och det gjorde det svårare att komma igång. Kanske kunde detta ses som ett tecken på de brister som faktiskt existerar med solpaneler.

Att avgränsa upplevdes också som en utmaning, hur brett skulle detta examensarbete göras? Beslutet togs om att inkludera tillverkningsprocesser, materialframställningsprocesser och några hittills kända återvinningsprocesser skulle inkluderas för att ge en övergripande inblick i hur komplex solpanelernas livscykel är samt för att belysa hur stor klimatpåverkan det är frågan om. Beräkningar över detta funderades också på men valdes bort för att istället ge utrymme för skriftliga beskrivningar över de olika processerna.

8.2 Slutord

Detta examensarbete har varit ögonöppnande. Det har varit intressant att forska i en mera okänd sida av ett påstått klimatneutralt system för energiproduktion. Jag har själv funderat på metoder för att i framtiden kunna bli mera självförsörjande men anser att jag nu inte själv kan blunda för de konsekvenser som kan uppstå i på grund av solpanelerna. Detta exkluderar ändå inte möjligheten för införskaffning. Som konstaterats tidigare så är de vid användning ett mycket mera koldioxidneutralt alternativ än andra metoder som kol och olja. Man får ändå följa med hur återvinningen utvecklas och hur det börjar se ut när solpaneler börjar nå de nivåerna på verkningsgraden att de behöver bytas ut, har vi kapacitet och metoderna att åtgärda problemen vid det skedet?

Efter att ha skrivit detta examensarbete kan föregående fråga besvaras med att det är sannolikt att vid den tidpunkten kommer vi att ha de rätta tillvägagångssätten att ta oss an de enorma mängderna uttjänta solpaneler. Det är positivt eftersom solen i sig själv är en gratis energikälla som lyser hela tiden, så det är viktigt att vi kan utnyttja den så långt som möjligt.



Figur 9 - Fotografi över stora solpanelsanläggningen hos Spikas Kvarn i Kronoby. El-Sören monterade 2017, panelerna är tillverkade av Salo Tech Oy.

9 Källförteckning

- Ahrberg, P. (2023). **Återvinning av solceller och solpaneler – hur fungerar det?** Hämtad: 12-08-2023. Solcellsofferter.se. <https://www.solcellsofferter.se/atervinning-av-solpaneler/>
- Alexandersson, K., Axelsson, A., Dävelid, K., Engström, G., Ferm, B., Göransson, L., Hemlin, O., Larsson, J., Larsson, N., Lorenz, K., Sundell, S-O. Svenska Solgruppen. (2002). **Solvärme i vårt hus**. 2 uppl., Larson.
- Ammenberg, J., Hjelm, O. (2023). **Miljöteknik För en hållbar utveckling**. Studentlitteratur.
- Apple, J., Chase, N., Sanger, N. (2010). **LCA of silicon panels**. Appropedia. Hämtad: 30-09-2023. https://www.appropedia.org/LCA_of_silicon_PV_panels
- Bergqvist, P. (2020). **Vad är en växelriktare?**. Mölndal Energi. Hämtad: 09-09-2023. <https://www.molndalenergi.se/kunskap/solceller/vad-ar-en-vaxelriktare>
- Bilbao, J. I., Heath, G., Norgren, A., Lunardi, M. M., Carpenter, A., Corkish, R. (2021). **PV Module Design for Recycling Guidelines**. IEA PVPS. s. 9-10. Hämtad: 04-08-2023. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2021/10/T12_2021_PV-Design-for-Recycling-Guidelines_Report.pdf
- Carroll, D. (2023). **Australian Scientists source silicon from solar waste to build better batteries**. PV Magazine. Hämtad: 11-10-2023. <https://www.pv-magazine.com/2023/01/26/australian-scientists-source-silicon-from-solar-waste-to-build-better-batteries/>
- Design for Disassembly**. (u.å.). King County. Hämtad: 05-08-2023. <https://kingcounty.gov/en/legacy/depts/dnrp/solid-waste/programs/green-building/construction-demolition/disassembly>
- Ejeklint, L. (2023). **Energismart: Spara el och pengar**. Mondial s. 101 – 115.
- En framtid som baseras på förnybar energi**. (2023). European Environmen Agency. (2023) Hämtad: 09-09-2023. <https://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/signaler-2022/artiklar/en-framtid-som-baseras-pa>
- Engeler, U. (2021). **Att tänka på inför installation av solceller**. Solarvolt. Hämtad: 09-09-2023. https://solarvolt.se/att_tanka_pa_infor_installation_av_solceller.html#article_part_2
- Eri Materiaalit, Joita Käytetään Aurinkopaneelien Valmistamiseen**. (2021). DS New Energy. Hämtad: 21-10-2023. <https://fi.dsnsolar.com/info/the-different-materials-used-to-make-solar-pan-54372508.html>
- Extrudering av aluminium**. (u.å.). Alutrade.se. Hämtad: 07-10-2023. <https://www.alutrade.se/hur-tillverkas-aluminium>
- Från malm till metall**. (u.å.). Scandinavian Copper Development Association. Hämtad: 07-10-2023. <https://www.kupari.com/kupariteollisuus/tillverkning/>

Förnybar energi i Finland. (2023). Arbets- och Näringsministeriet. Hämtad: 10-06-2023. <https://tem.fi/sv/fornybar-energi>

Gamla solpaneler – ett växande miljöproblem. (2022). Omvärlden. Hämtad: 08-04-2023. <https://www.omvarlden.se/nyheter/gamla-solpaneler-ett-vaxande-miljoproblem>

Glass Manufacturing Process. (2023). Saint-Gobain. Hämtad: 07-10-2023. <https://in.saint-gobain-glass.com/glass-manufacturing-process>

Hansdotter, Holvaster. (2019). **Design och marknadsföring av solceller för lägenhetshus.** Black Studios. Hämtad: 16-09-2023. <https://www.blackstudios.se/design-och-marknadsforing-av-solceller-for-lagenhetshus/>

Hedström, K. (2022). **Återvinning av solceller – Hur går det till?.** Vattenfall. Hämtad: 23-09-2023. <https://www.vattenfall.se/fokus/solceller/atervinning-solceller/>

Hemming, S. (2023). **Solcellsanläggning: Allt som ingår i ett solcellssystem** (2023). Hämtad: 09-09-2023. Hemsol. <https://hemsol.se/solceller/solcellsanlaggning/>

Hemming, S. (2023). Uppbyggnad av Solceller: Vad för material är solceller gjorda av? Hämtad: 09-09-2023. Hemsol. <https://hemsol.se/solceller/uppbyggnad-material/>

Hemming, S. (2023). **Vad är en solcellsregulator?** Hemsol. Hämtad: 09-09-2023. <https://hemsol.se/solceller/12v/funktion-koppling-mppt-pwm/>

Iaconangelo, D. (2020). 'They Need to be Ready.', Study Warns of growing solar waste. Energy Now. <https://energynow.com/2020/07/they-need-to-be-ready-study-warns-of-growing-solar-waste/>

Implementation of the WEEE-directive. (u.å.). European Commission. Hämtad: 15-07-2023. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee/implementation-weee-directive_en

Laitinen, J. (2010). **Pieni Suuri Energiakirja – opas tehokkaaseen asumiseen.** Into.

Larsson, M., Bratt, L., Sandahl, J. (2021). **Hållbar Utveckling och Ekonomi.** 2 uppl. Studentlitteratur.

Manufacturing Process of Aluminium Solar Panels. (u.å.). Otalum. Hämtad: 07-10-2023. <https://www.otalum.com/manufacturing-process-of-aluminium-solar-panels.html#:~:text=Once%20prepared%2C%20the%20aluminium%20is%20shaped%20using%20a,serve%20as%20the%20framework%20for%20the%20solar%20panel.>

Making the most of waste electrical and electronic equipment. (u.å.). Eur-Lex. Hämtad: 15-07-2023. <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/making-the-most-of-waste-electrical-and-electronic-equipment.html>

Olsson, C. (2013) **Silver är ofta en biprodukt.** Forskning & Framsteg. Hämtad: 07-10-2023. <https://fof.se/artikel/2013/6/silver-ar-ofta-en-biprodukt/>

Our process. (2019). Mississippi Silicon. Hämtad: 07-10-2023. <https://www.missilicon.com/process>

Safariana, J., Tranella, G., Tangstada, M. (2012). Processes for upgrading metallurgical grade silicon to solar grade silicon. Energy Procedia 20, Elsevier Ltd. s. 88 – 97.

Schoder, T. (2020). **Can Solar Panels Be Recycled?. Greentech Renewables.** Hämtad: 12-8-2023. <https://www.greentechrenewables.com/article/can-solar-panels-be-recycled>

Snabb omställning skapar utmaningar. (u.å.) Swedac. Hämtad: 08-04-2023. https://www.swedac.se/swedac_magasin/snabb-omstallning-skapar-utmaningar/

Solar Panel Recycling. (2023). United States Environmental Protection Agency. Hämtad: 12-08-2023. <https://www.epa.gov/hw/solar-panel-recycling>

Solar Panel Recycling: New Methods Look Promising. (2023). Blue Stem Energy Solutions. Hämtad: 19-08-2023. <https://www.bluestemenergysolutions.com/solar-panel-recycling-new-methods-look-promising/>

Solar Photovoltaic Manufacturing Basics. (u.å.). Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Hämtad: 07-10-2023. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-manufacturing-basics>

Solcellers miljöpåverkan. (2021). Energimyndigheten. Hämtad: 10-06-2023. <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/solcellers-miljopaverkan/>

Tahkokorpi, M. (2016). **Aurinkoenergia Suomessa.** Into.

Vanliga frågor och svar om solceller. (u.å.). Svesol. Hämtad: 14-10-2023. <https://www.svesol.se/vanliga-fragor-och-svar-om-solceller/>

Vekony, A. T. (u.å.). **The Opportunities of Solar Panel Recycling.** Greenmatch. Hämtad: 15-08-2023. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling>

Vår enda framtid: 100% fossilfritt. (2023). WWF. Hämtad: 30-09-2023. <https://www.wwf.se/klimat/fornybar-energi/>

Wallner, E. (2021). **Så går återvinning av solpaneler till. Solcellskollen.** Hämtad: 12-08-2023. <https://www.solcellskollen.se/blogg/sa-gar-atervinning-av-solpaneler-till>

Waste From Electrical and Electronic Equipment. (u.å.) European Commission. Hämtad: 15-07-2023. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_sv

WEEE-Responsibilities. (u.å.). Your Europe. Hämtad: 15-07-2023. https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/recycling-waste-management/weee-responsibilities/index_en.htm

5 nackdelar med solceller. 2020. Ekokraft.se. Hämtad: 20-10-2023. <https://www.ekokraft.se/artiklar/5-nackdelar-med-solceller-2020>