

# **Solenergi som tilläggsenergi för en CNC-fabrik**

## **En studie om lönsamheten med solenergi**

Dennis Skuthälla

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2021

## EXAMENSARBETE

Författare: Dennis Skuthälla  
Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa  
Inriktning: Automationsteknik  
Handledare: Roger Mäntylä

Titel: Solenergi som tilläggsenergi för en CNC-fabrik – En studie om lönsamhet med solenergi

---

Datum: 28.4.2021

Sidantal: 27

---

### Abstrakt

Förnybar energi bidrar stort till att skapa en stabil framtid för både människor och miljön. Det har länge varit en lönsamhets- och effektivitetsfråga gällande solkraft i de nordliga länderna men nu växer intresset för varje år. Tidigare var det vanligast att enskilda hushåll använde sig av solenergi men i dagens läge har antalet företag med större mängd energiförbrukning börjat ta nytta av solkraft i större skala.

Syftet med arbetet var att söka en lönsam och energismart lösning för en CNC-fabrik. Jag har frågat efter offerter från företag som specialiserar sig på solpanelssystem och gjort jämförelser av försäljarnas erbjudanden samt beslut om vilket företag som skulle montera anläggningen.

Detta examensarbete har tagit fram valmöjligheterna som finns när det kommer till solenergi och saker som är bra att tänka på. Uträkningar utgör stor del av detta arbete och där har använts både leverantörernas egna uträkningar som tagits från offerterna samt egna uträkningar.

Resultatet visar hur en storskalig anläggning kan vara ett bättre alternativ än en mindre. För detta arbete har uträkningarna visat att lönsamheten blir större och anläggningen återbetalar sig snabbare ju större anläggningen är. Betalningstiden blev inte bara kortare, även inkomsterna efter betalningstiden blev betydligt mer. Arbetet har öppnat vägar för nya idéer och visioner inför framtida förstoringar som möjligtvis kan inkludera batterilagring.

---

Språk: svenska

Nyckelord: solenergi, fabrik, lönsamhet

## BACHELOR'S THESIS

Author: Dennis Skuthälla  
Degree Program: Electrical and Automation Engineering, Vaasa  
Specialization: Automation  
Supervisor(s): Roger Mäntylä

Title: Solar energy as additional energy for a CNC factory – A study about profitability with solar power

---

Date April 28, 2021

Number of pages 27

---

### Abstract

Renewable energy contributes greatly to building a stable future for both people and the environment. It has long been a question of profitability and efficiency regarding solar power in the northern countries, but now the interest is growing every year. Previously, only individual houses used solar energy, but today the number of companies with greater energy consumption has begun to benefit from solar power on a larger scale.

The purpose of the thesis was to find a profitable and energy smart solution for a CNC factory. I have asked for quotations from companies that specialize in solar panel systems and made comparisons of the various vendors offers as well as a decided which company would install the solar power plant.

This thesis has developed the options that exist when it comes to solar energy and things that are good to think about. Calculations are a large part of this thesis and both the supplier's own calculations taken from the quotations and my own calculations have been used.

The results show how a large-scale facility can be a better alternative over a smaller one. For this thesis, the calculations have proven that the profitability becomes greater, and the plant pays itself faster the larger the plant. Not only did the payment period become shorter, the income after the payment period also became tremendously more. The work has helped coming up with new ideas and visions for future enlargements that may possibly include battery storage.

---

Language: Swedish

Key words: solar energy, factory, profitability

# Innehållsförteckning

1	Inledning .....	1
1.1	Uppdragsgivare .....	1
2	Syfte.....	1
3	Teori.....	2
3.1	Solenergi .....	2
3.2	Solenergens upptäckt .....	2
3.3	Solenergi i dag .....	3
3.4	Solcellsteknologi .....	3
3.4.1	Kristallina kiselceller .....	3
3.4.2	Tunnsolceller.....	4
3.5	Solpaneler .....	5
3.5.1	Monokristallin .....	5
3.5.2	Polykristallin .....	6
3.5.3	Tunnsolceller.....	6
3.6	PERC och Half-Cut teknologi.....	7
3.7	Växelriktare .....	9
3.8	Optimerare.....	9
4	Arbetet.....	11
4.1	Arbetsbeskrivning.....	11
4.2	Jämförande .....	12
4.2.1	Innehåll.....	12
4.2.2	Effektivitets samt lönsamhets jämförelse .....	13
4.2.3	För- och nackdelar mellan leverantörernas system .....	14
4.2.4	Elpriset på inköp av el .....	14
4.3	Lösning 1 .....	15
4.3.1	Uträkningar för lösning 1 .....	17
4.4	Lösning 2 .....	17
4.4.1	Uträkningar för lösning 2 .....	19
4.5	Solenergi beräkning .....	19
5	Resultat .....	21
6	Diskussion.....	22
7	Litteraturförteckning.....	23

# 1 Inledning

Förnybar energi bidrar stort till att bygga upp en stabil framtid för både människor och miljön. För att en energikälla ska räknas som förnybar måste den komma från naturresurser som inte tar slut. Dessutom bör energikällan producera minimalt utsläpp, växthusgaser, men prefererande inga alls. Det finns flera olika förnybara energikällor och vanligast är solkraft, vindkraft och vattenkraft.

När det kommer till solenergi finns det många möjligheter. I detta arbete kommer jag gå igenom olika system och förtydliga dessa möjligheter för att ge en bättre förståelse om solenergi och bidra med information som kan hjälpa inför beslutfattande.

## 1.1 Uppdragsgivare

Uppdragsgivaren för detta examensarbete är Ferromek. Företaget grundades år 1981 i Kronoby och utför metallbearbetningsarbeten för ett flertal företag runt om i Kokkola och Pedersöre trakten. Till en början utfördes bearbetning på manuella maskiner och den första CNC-maskinen togs i bruk år 1990. Efter det har maskinparken växt så att fabriken i dag består av mer än 20 olika CNC-maskiner samt utrustning för svetsningsarbeten. Jag har haft lycka att få jobba hos Ferromek över somrarna under min studietid och jag har fått arbeta med många olika uppgifter.

## 2 Syfte

Jag har fått som uppdrag av min arbetsgivare att göra forskning inom solkraft och ta fram olika lösningar. Syftet med arbetet var att hitta den lösning av system som passar bäst för Ferromek. Kim Åkerlund, ägare av Ferromek, har länge funderat på en solpanelsanläggning för företaget men han har inte funnit den tid som behövs för att forska och undersöka ämnet. Fabriken består av två separata byggnader med taksidor liggande mot söder och norr. Planen var att montera solpaneler på den mindre byggnadens takyta som är riktad mot söder till en början och i framtiden fylla på båda byggnadernas takytor som är riktade mot söder.

## 3 Teori

I teoridelen kommer jag ta upp information om solenergi i allmänhet och hur det ser ut i Finland i dagens läge. Här kommer det också fram vilka valmöjligheter det finns när det kommer till solkraft och saker man bör tänka på när man själv ger sig in på att planera en solpanelsanläggning. Det finns många försäljare av solpanelssystem och variationerna på deras produkter kommer i många olika slag och flertal olika lösningar. Teorin är en sammanfattning om vad man behöver för att producera solenergi.

### 3.1 Solenergi

Den största och mest hållbara energikällan i dag är solenergin. Den mängd solenergi som når jordens yta kan täcka hela jordens elförbruknings krav under ett helt år om det bara var möjligt ekonomiskt och praktiskt sett. Producering av solenergin är liten del av problemet, för att alla ska börja använda solkraft, det är möjligheten att lagra energin under tider då solen inte skiner som är problemet i dagens läge. För att solenergin ska bli en förmånlig energikälla för allmänheten måste lagringsmöjligheter förbättras och gå ner i pris.

Tidigare har det varit små hushåll som använt sig utav solenergi med mindre anläggningar för att det inte varit ekonomiskt lönsamt att göra en anläggning för ett företag med stor energiförbrukning. Tack vare tekniska framsteg och politiska krav så har solenergin blivit alltmer lönsamt även för företagare. Mellan 2010 och 2015 har priset på investering i solenergi halverats och det har som resultat öppnat upp ögonen för individer med större energiförbrukning. (Sjunesson, 2012)

### 3.2 Solenergins upptäckt

Möjligheten att fånga upp solljus hände av en slump när Russel Ohl riktade sin ficklampa mot en bit kisel. Kiselbiten var kopplad till en voltmeter som fick utslag i tillfället när lampans sken täckte hela biten och detta öppnade ögonen för forskare.

Den första solcellen konstruerades i USA år 1954 och efter fullt funktionella solceller togs fram började man till en början montera dem på rymdraketer och satelliter. På 1970-talet

började klimatförändringarna och oljekrisen beaktas. Det var under detta årtionde som intresset för denna energikälla började växa och har sen dess utvecklats väldigt snabbt. (Sjunesson, 2012).

### **3.3 Solenergi i dag**

Solcellerna tillverkas fortfarande av kisel som är ett material som leder elektricitet mycket effektivt. Själva solcellen är en tunn skiva med ett metallskikt, som tillverkas i olika mönster, mot ytan som tar emot solstrålens fotoner. Solcellerna är konstruerade så att fotonerna rör sig åt ett håll och då skapas elektronerna som blir ström. En solcell producerar inte mycket ström individuellt och därför kombineras många på en och samma modul så som solpaneler. För att effektivt producera solenergi är det nödvändigt att täcka en stor areal med paneler och ha dem riktade direkt mot solen.

Solenergin har blivit alltmer populär de senaste åren eftersom prisen har gått ner och klimatförändringen blir allvarigare för varje år. I Norden har det tidigare varit en fråga om årstiderna och klimatet tillåter lönsam solenergiproducering. Forskning görs i dag för att förbättra upptagning av solenergin hos paneler och göra systemen mer kostnadseffektiva. Med dagens teknik kunde man täcka 1 % av jordens yta med solceller och försörja hela jordens befolkning med elektricitet. (Sjunesson, 2012).

### **3.4 Solcellsteknologi**

Det finns två olika huvud teknologier som används för tillverkning av solceller för dagens marknad och forskare experimenterar även med nyare lösningar för att minimera kostnaderna och förbättra produktion av solenergi. (Nohrstedt, 2017).

#### **3.4.1 Kristallina kiselceller**

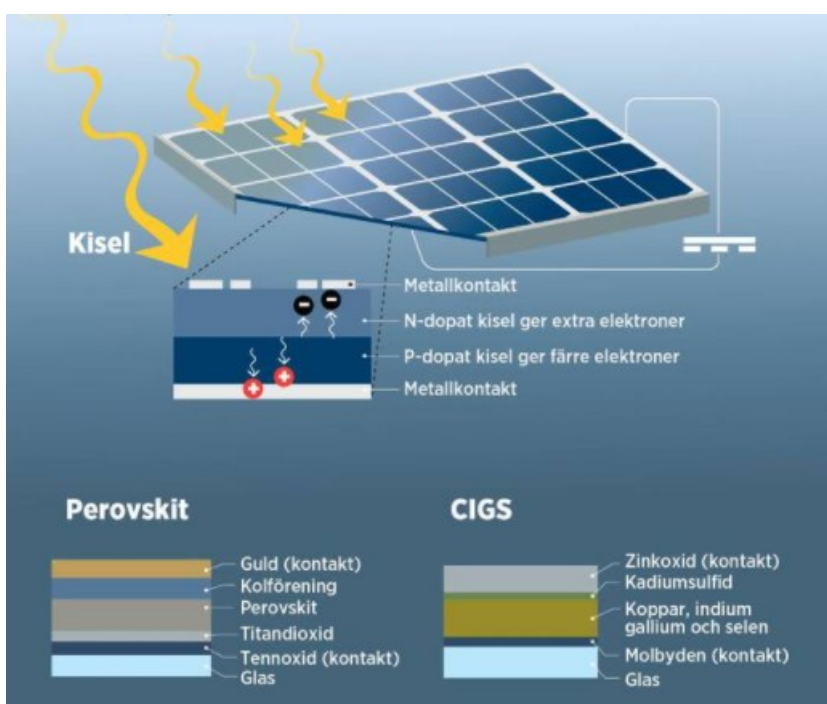
Första generationen av solceller är kristallina kiselceller och är den vanligaste typen för solpaneler. Namnet kommer från strukturen av solcellens kiselatomer som är lik kristaller. Kristallina celler har bäst förmåga att fånga solljus och producerar energi jämfört med andra produkter på marknaden och detta medför att den är dyrare. Priset är inte enda nackdelen med denna typ, den påverkas dessutom negativt av värme och det resulterar i sämre produktion av energi under väldigt varma temperaturförhållanden.

Tillverkning av kiselcellen utförs genom rening kisel som smälts och dopas med bor. Efter formning av solcellen skärs tunna skikt ut och behandlas med kemikalier. Skiktet behandlas under hög värme och dopas med fosfor samt förses med metallsträngar vilka fungerar som strömledare. Till fördel har kiselcellen att ämnet kisel finns massor av på jorden. (Nohrstedt, 2017).

### 3.4.2 Tunnfilmssolceller

Andra generationen av solceller är tunnfilmssolceller. Tunnfilmssolceller har en lägre materialkostnad jämfört med kiselceller och har bättre produktion under varma temperaturförhållanden och under diffust ljus. Namnet kommer från strukturen av solcellerna som bildar en tunn film som absorberar solljuset.

Tillverkning av solcellen genomgår en process där en tunn transparent ledare appliceras på en glasskiva. Följande skiktet är halvledarskiktet vilket absorberar ljuset som panelen tar emot. Denna applicering gör så att ämnena förångas och reagerar med varandra i vakuumkammare mellan skikten och bildar en tunn kristallin film. Slutligen appliceras ett buffertskikt samt en transparent ledare som ska samla strömmen och leda den. (Nohrstedt, 2017).



Figur 1. Solcellers produktionsbeskrivning. (Nohrstedt, 2017).

### 3.5 Solpaneler

Solpanelerna kommer i många olika slag och former. Viktigast att beakta hos solpanelerna är tillverkningstekniken och teknologin för vardera paneltyp. Solpaneler är tillverkade av solceller som omvandlar ljus till elektrisk ström. Strömmen som solpanelerna producerar är likström och då behövs en växelriktare för att omvandla strömmen till växelström. (Solar Panel, 2021).

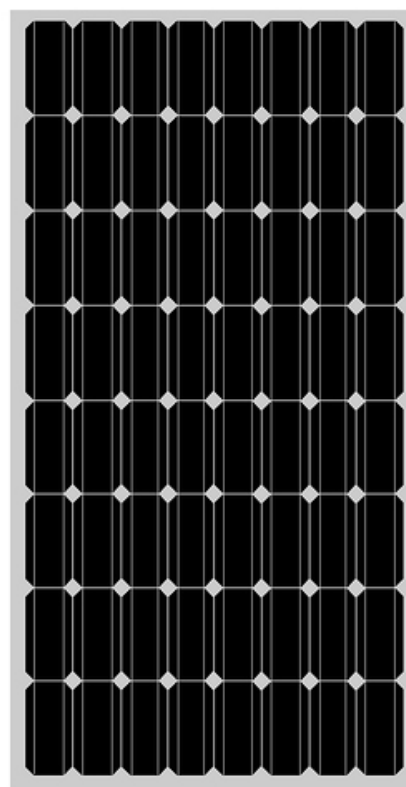


Figur 2. Beskrivning av solenergiprocess. (Svarc, 2021).

#### 3.5.1 Monokristallin

Monokristallpaneler räknas som en premiumpanel bland andra solpanelstyper. Fördelen med Monotekniken är att den producerar energi mer effektivt jämfört med polytekniken med samma fysiska storlek på panel. En annan positiv faktor med denna panel typ är att den har en svart yta, och detta medför möjligheten att få den att anpassad till miljön relativt bra även trots att den har en tjock struktur.

Tekniken för solcellerna i denna panel omfattar formning av "single-crystal" silikon som skärs i skivor och eftersom cellerna endast består av en kristall härleds mer energi från elektronerna. Namnet på denna paneltyp, Mono, kommer från grekiskan och ordet betyder "en" eller "endast en". (Insuretro, 2019)

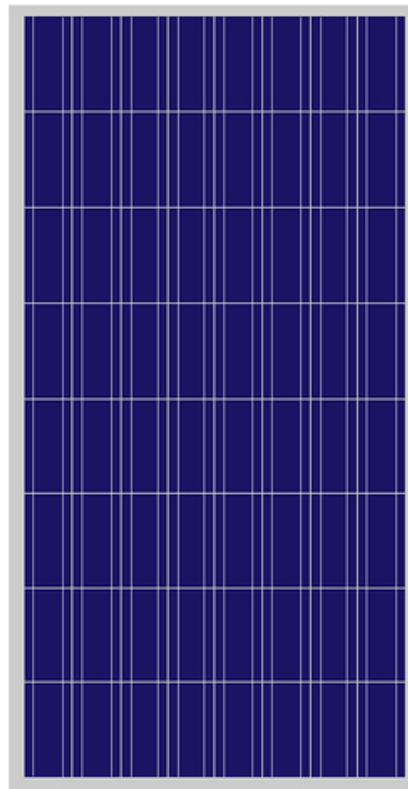


Figur 3. Monokristallin solpanel. (Insuretro, 2019).

### 3.5.2 Polykristallin

Polykristallpaneler, också kallade multikristallpaneler, är ett billigare alternativ när man planerar en anläggning. Polypanelen har en sämre förmåga att producera energi jämfört med monopanelen. Orsaken för detta är tekniken som används.

Tekniken för formningen av denna panel görs med en blandning av olika silikoner vilket medför brister på ytan av solcellerna. Polypanelen är oftast av blå nyans men förekommer också i en mörkare blå färg som kan förknippas med monopanelen. Namnet för panelen, Poly, kommer från grekiskan och betyder "flera" eller "många olika". (Insuretro, 2019).



**Figur 4. Polykristallin solpanel. (Insuretro, 2019).**

### 3.5.3 Tunnfilm

Tunnsfilmpanelen är en ny typ av panel som inte funnits på marknaden så länge. Panelen är inte som andra solpaneler och skillnaden är att panelen saknar ram, är mycket tunnare och har en flexibel struktur.



**Figur 5. Tunnsfilms solpanel. (Insuretro, 2019).**

Fördelen med denna panel är att den är så tunn och flexibel så möjligheterna för ställen där den kan placeras är många fler. Nackdelarna med tunnsfilmpaneler är effekten, för att få lika mycket effekt ur en tunnsfilmpanel jämfört med en monopanel så krävs det dubbelt större areal för panel. (Insuretro, 2019).

	Monokristallina paneler	Polykristallina paneler	Tunnsfilmspaneler
Verkningsgrad	ca 19 %	ca 17 %	ca 12 %
Prisläge	Premium	Budget	Billiga
Livslängd (ca)	80 % effekt efter 25 år	80 % effekt efter 25 år	80 % effekt efter 10 år
Färg	Svarta	Blåskimrande	Svarta
Övrigt	Effektiva vid lite solljus	Bra för stora anläggningar	Form- och böjbara

Figur 6. Jämförelse av solpanelstyper. (Elias, 2021).

### 3.6 PERC och Half-Cut teknologi

När man köper en panel i dag så nämns det ifall panelerna är av PERC och Half-Cut typerna. Teknikerna har funnits med i flera årtionden nu och blir alltmer vanligare. Teknikerna för förbättringen av solcellers effektivitet utvecklas hela tiden för att förbättra upptagningen av solenergi för att erhålla maximal nytta. (Campuswebb, 2018).

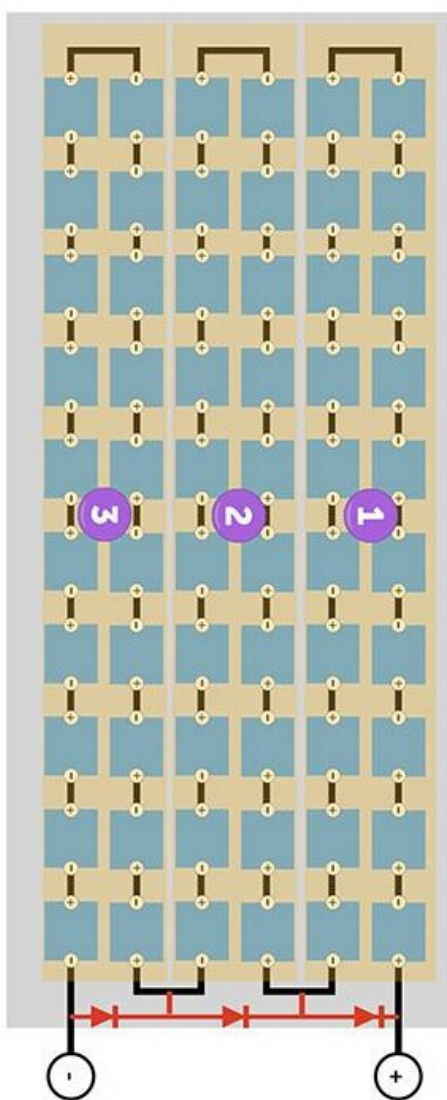
**PERC:** Teknologin hade beräknats bli en allmän implementering i paneler tills år 2020 och detta kan man tydligt se på marknaden i dag.

Tekniken ändrar på solcellernas arkitektur samt uppbyggnad och tillverkare har behövt lägga till ett steg i tillverkningsprocessen för att hänga med i utvecklingen. Målet med PERC-tekniken är att ge solcellerna bättre förmåga att fånga och binda energin som tas upp från solstrålarna.

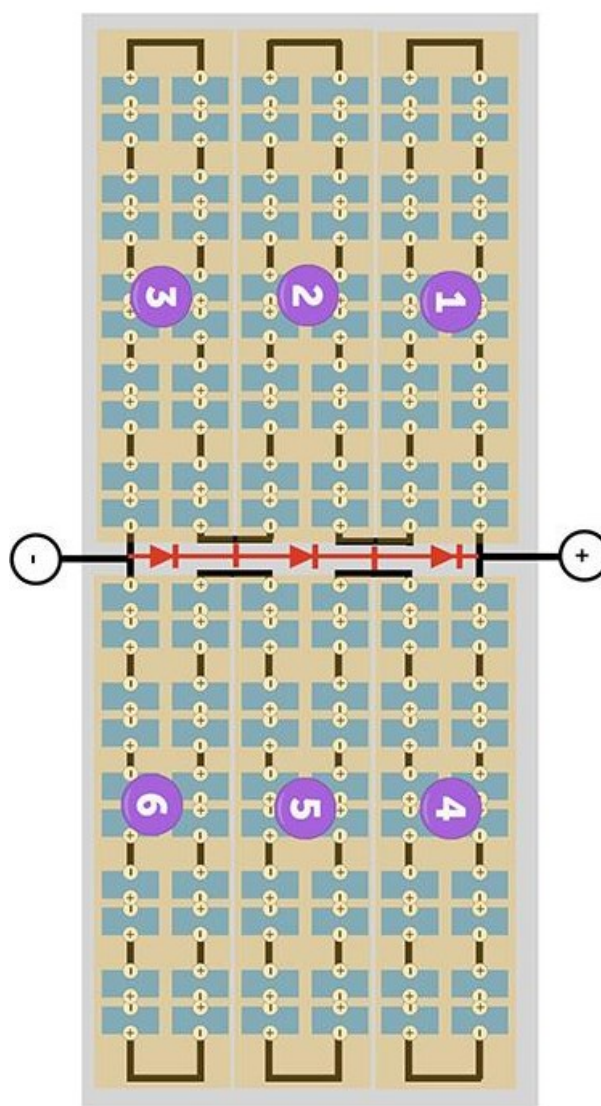
Panelerna med den nya tekniken ger en bättre produkt som kan fånga upp mera ljus och vara mer effektiv under molniga dagar när solen inte lyser så starkt. Det som också är viktigt att nämna är att garantitiden förlängs till 30 år på de paneler som har denna nya solcellsteknik. (Campuswebb, 2018).

**Half-Cut:** Paneler med denna teknologi så har solcellerna kluvna i två delar vilket förbättrar prestanda och uthållighet. När solceller halveras så producerar de mer eftersom strömmen halveras så halveras interna förluster också.

Om en vanlig panel har 60 solceller så har en Half-Cut panel 120 solceller. Mätningar av paneler som har denna teknologi visar sig ha högre output-värden och är pålitligare. Forskningar kring hur intresset växer för den nya teknologin har gjorts och om utveckling fortsätter så kommer 40 % av solpanelsmarknaden bestå av paneler med Half-cut teknologin år 2028. (Peckerel, 2018).



Figur 7. Traditionell solpanel. (Dnsolar, 2019).



Figur 8. Half-Cut solpanel. (Dnsolar, 2019).

### 3.7 Växelriktare

Växelriktare, även kallad inverterare, har som uppgift att omvandla likströmmen som kommer från panelerna till växelström som går till byggnaden och elnätet. Det finns många olika typer och tillverkare av växelriktare som uppfyller olika behov.

Som växelriktare finns det modeller som hanterar felsökning bättre jämfört med andra och så finns det växelriktare som är bättre att kombinera med optimerar moduler.

Storleken av växelriktare beror på anläggnings storlek mätt i effekt, watt, för ett system och beroende av om anläggningen optimeras med moduler eller inte. (Solar Panel, 2021).



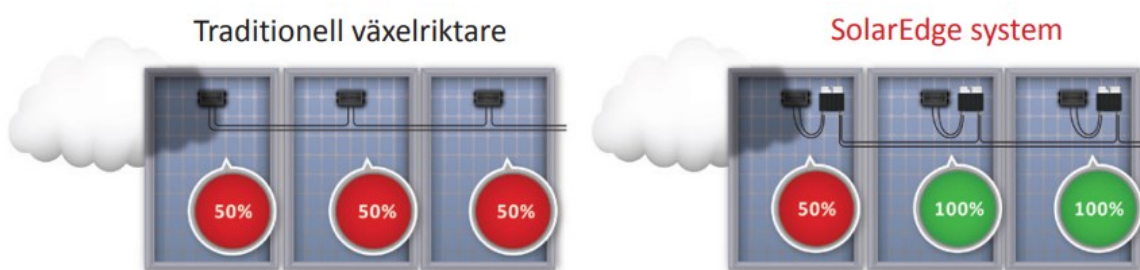
Figur 9. Olika modeller av växelriktare. (Svarc, 2021).

### 3.8 Optimerare

Optimerare är små moduler som monteras på solpanelens baksida och kopplas mellan två paneler. Optimeraren delar upp solpanelerna så att alla paneler fungerar individuellt och detta medför bland annat möjligheten att övervaka solpanelerna var och en för sig själv. Möjligheten att övervaka solpanelerna separat är till stor fördel eftersom solpanelerna påverkas av miljön runt omkring.

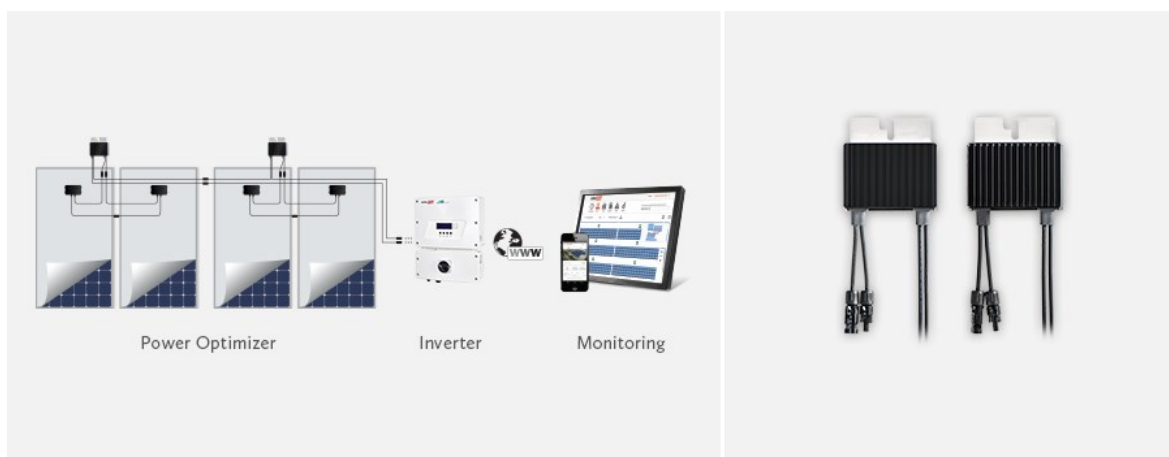
Med optimerare har man möjligheten att enkelt övervaka systemet och snabbt upptäcka brister som uppstår. Solpanelerna kan exempelvis vara täckt av snö, löv, damm eller helt enkelt innehålla produkt fel som att en eller fler celler inte fungerar och detta ser man direkt via monitoreringsplattformen.

Utän optimerare fungerar alla paneler tillsammans för att producera el och detta kan vara ett problem för en del som har mycket skuggning under sommaren. Optimerarna ger alltså individualitet och det betyder att panelers individuella problem inte längre påverkar resten av anläggningens paneler. Det kan uppstå skuggningar, panelerna kan ha produktfel eller smuts på sig som kan dra ner på panelens produktion och just detta förebygger optimerare. (Solarity, 2019).



**Figur 10. Traditionell- och optimerad solpanelsanläggning. (Taylor, 2018).**

Optimerare är inte endast till för att felsöka. Ifall ett hus, med optimerade solpaneler installerade på taket, börjar brinna, så får växelriktaren kännedom om detta med hjälp av anslutningen till modulerna och avaktiverar endast solpanelerna på den areal som ligger inom farozonen för att neutralisera faran. (Solarity, 2019).



**Figur 11. Hur optimerare kopplas till en anläggning. (Casey, 2019).**

Vad optimerare åtgärdar:

- Skuggning – Träd, ledningar, master, antenner eller byggnader.
- Panel missanpassning – felaktiga tillverkarstoleranser.
- Panel skador – vattenskador, heta fläckar eller mikrosprickor.
- Temperaturskillnader – temperaturmissanpassningar.
- Nedsmutsning – snö, löv, damm eller fågelavföring.
- PID – Potential voltage and current leakage issues.

Fördelar med optimerare:

- Kan kombinera olika tillverkares paneler – perfekt för framtida förstoringar.
- Maximal användning av utrymme – vinterskuggning besväras mindre.
- Möjliggör parallella användning av strings med olika längder.
- Övervakning av varje panel, string och växelriktare individuellt.
- Fjärr-felsökning genom övervakningsportalen.

## 4 Arbetet

Först hölls ett möte mellan mig, arbetsgivaren och en försäljare för att få information om produkten och system. Arbetet baserar sig till stor del på den information som försäljarna av solpanels systemen har bifogat i offerterna men själva resultatet och systemet tar också del av lösningar som jag forskat i och kommit fram till. Det finns många faktorer att ta i beaktan för att få maximal verkningsgrad av ett solpanelssystem och därför har jag räknat ut vad som lönar sig just för detta syfte.

### 4.1 Arbetsbeskrivning

Systemet var planerat att endast fylla en del av den totala takytan på den mindre byggnaden eller ta nytta av båda byggnadernas takyta för att få maximal effekt från solpanelerna. Detta resulterade i en areal på 211–528 kvadratmeters utrymme för solpaneler med 18 graders lutning mot Sydost. Uträkningar har gjorts över lönsamheten med solpaneler, strömförbrukningen och förberedelser inför framtida tillskott av solpanels antal har också beaktats.

Eftersom takytan är riktad mot sydost är det en väldigt bra början att placera solpaneler på denna byggnads tak. För maximal effekt från solpanelerna bör de riktas rätt mot solen för att fånga så mycket av solens strålning som möjligt. Det blev två möjligheter till lösningar för placering av solpanelerna och dessa tas fram individuellt. Strömförbrukningen för Ferromek togs från år 2019–2020 och var 255 MWh på ett år, på basis av denna energiförbrukning har uträkningarna gjorts.

## 4.2 Jämförande

Jämförelse gjordes mellan de olika företagen som var intresserade av att skicka offerter. I följande uträkningar har jag utgått från den information som jag fått av leverantörerna.

### 4.2.1 Innehåll

Tabell 1 visar den totala storleken på solpanelsanläggningarna. Företagen har givits namnen A, B, C och D för att inte nämna namn. Prisskillnaderna är inte stora mellan de företag som givit offerter men när man lägger sig in djupare på vad de erbjuder blir det en mer klar bild av vilka som levererar bäst. Utöver priset är det som är störst skillnad på panel effektivitet samt panelantal. Denna tabell ger inte direkt svar på vilket företag som håller bästa erbjudandet men när man börjar räkna med värdena får man en bättre förståelse.

**Tabell 1. Jämförelse av offert erbjudanden.**

Företag	Enligt offert					
	Wp	Wp/Panel	Antal solpaneler	Antal Invertrar	Optimerare	Pris
A	43000,00	450	96	1	48	33 600 €
B	43000,00	360	117	1	59	30 272 €
C	36720,00	360	102	1	0	32 400 €
	C Anläggning + optimerare				51	36 900 €
D	37740,00	370	102	1	0	31 760 €

#### 4.2.2 Effektivitets- och lönsamhetsjämförelse

Uträkningarna av panel mått, areal och  $W/m^2$  visar en bra jämförelse med hur bra anläggningarna är planerade med tanke på utrymme och hur mycket man får av ytorna man placera panelerna på. Priserna, €/W och €/W+OP, kan räknas ut för att se vad man betalar för effekten som anläggningen har.

Tabell 2. Lönsamhets tabell av försäljares erbjudanden.

	Anläggning Effektivitet				
	Panel mått	Areal i $m^2$	$W/m^2$	€/Wp	€/Wp+OP
A	2,2	211	204		0,78 €
B	1,94	227	189		0,70 €
C	1,85	189	195	0,88 €	1,00 €
D	1,82	186	203	0,84 €	

- **Yta** – lägre antal kvadratmeter är bättre men det beror också på hur stor den effektiva ytan blir.
- **Areal** – lägre storlek på areal är bättre eftersom det betyder mindre belastning på taket och mindre takyta som täcks.
- **$W/m^2$**  – högre värde är bättre och här syns vilken anläggning som sparar gällande utrymme. Mindre arealer behöver så mycket effekt per kvadratmeter som möjligt och då borde väljas paneler med högre effektivitet.
- **€/W och €/W+OP** – lägre pris är bättre och detta visar priset för effekten på solpanelsanläggningen. OP står för optimerare så dessa priser inkluderar optimerare i anläggningen.

### 4.2.3 För- och nackdelar mellan leverantörernas system

Här har framförts en tabell om för- och nackdelarna med de olika anläggningarna som har erbjudits. Det som har beaktats i denna jämförelse är automatik, modern utrustning, yta som anläggning tar upp och val av paneler.

Tabell 3. Jämförelse av för- och nackdelar.

Företag A	fördelar:	nackdelar:
	Fjärrövervakning	optimerare fungerar
	förmånligt	endast med samma
	optimerara	tillverkare av inverter
	effektiva ytor	
	stora paneler	
	billigare service	
Företag B	fördelar:	nackdelar:
	optimerare som fungerar med alla inverterar	Kräver stor areal
	förmånligt	ineffektiva ytor
		små paneler
		dyr service
Företag C	fördelar:	nackdelar:
	optimerar möjlighet	dyrt med optimerare
		små paneler
		optimerare fungerar endast med samma tillverkare av inverter
Företag D	fördelar:	nackdelar:
	optimerar möjlighet	dyrt med optimerare
	effektiva ytor	felaktig information
	billigare service	

### 4.2.4 Elpriset på inköp av el

Elpriset är uträknad utgående från fakturan för den nämnda tiden.

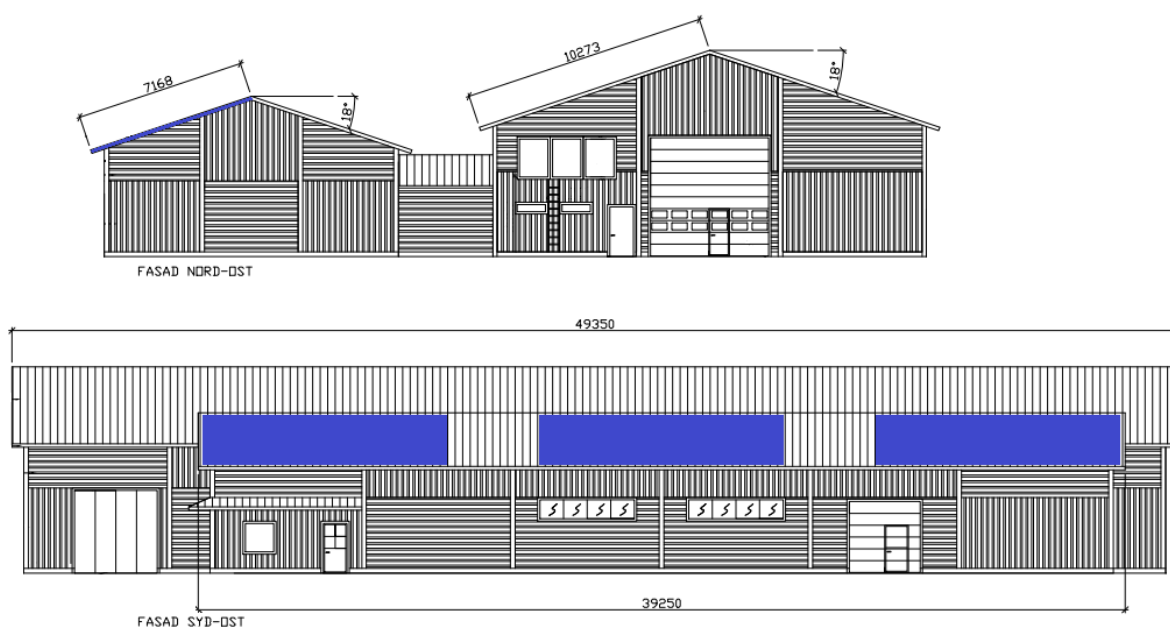
Tabell 4. Elpris uträkning.

		1.2.2021-28.2.2021	
Kostnad/mån	Pris €		2252
Förbrukning	kWh		21439
Pris/kWh	€/kWh	€	0.11

### 4.3 Lösning 1

Den första lösningen är ett mindre dimensionerat solpanelssystem på 211 m<sup>2</sup>. Systemet består av 96 solpaneler som placeras på den mindre byggnadens takyta med arealen 280 m<sup>2</sup>. Flera solpaneler kunde placeras för att maximera effekt men i stället placeras panelerna i tre olika grupper med 32 paneler per grupp. Detta underlättar underhåll av panelerna för både rengöring och reparation. Solpanelerna kopplas parvis med 48 optimerare och därefter kopplas alla optimerare gruppvis till växelriktaren. Växelriktaren installeras i byggnadens elcentral eftersom det finns bra utrymme och för att behålla all elövervakning på samma ställe.

Nackdelen med detta system är att den mellanstora växelriktaren, vilken inte är mycket billigare än den större, skulle vara tillräcklig för detta system men inte för framtida utvidgning. Om den mellanstora växelriktaren valdes så klarar den inte av ytterligare utvidgning i framtiden och en till växelriktare bör installeras för att klara av flera paneler. Därför skulle växelriktaren av modellstörre användas i förebyggande syfte inför framtida förstoringar av solkraftsanläggningen.



**Figur 12. Fasad av byggnad med färgade områden som representerar paneler.**

Med följande givna värden görs uträkningarna för lösning 1:

Total förbrukning: 255.41 MWh

Total egenproduktion av el: 40.38 MWh

Förbrukning av egen produktion: 32.86 MWh

Försäljning av egen produktion: 7.52 MWh

Inköp av el: 222.55 MWh

Total kostnad: 42 000 € - 8 400 € (20% stöd) = 33 600 €

Komponenter för anläggning 1:

- SE82.8K växelriktare
- 96stycken Longi Solar, LR4-72HPH-450M solpaneler
- 48stycken P950 optimerare
- Paneler monteras liggande för optimal arealanvändning med ställningar
- Riktning är sydost, azimut 167° och vinkel 18°

### 4.3.1 Uträkningar för lösning 1

Följande uträkningar utfördes med egna beräkningar av nuvarande elpris och offertgivarens värden för den mindre anläggningen som räknats ut med hjälp av programvara som beräknar solanläggningseffektivitet under ett års tid.

Uträkningar:

$$\text{Allmän beräkning för pris per effektiv kilowattimme: } \frac{33\,600\ \text{€}}{32\,860\ \text{kWh}} = 1.02\ \text{€/kWh}$$

$$\text{Besparing av producerad el: } 32\,860\ \text{kWh} * 0.105 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 3\,450.3\ \text{€}$$

$$\text{Försäljning av producerad el: } 7\,520\ \text{kWh} * 0.03 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 225.6\ \text{€}$$

$$\text{Besparingar per år totalt: } 3\,450.3\ \text{€} + 225.6\ \text{€} = 3\,675.9\ \text{€}$$

$$\text{Besparing per elräkning/månad: } \frac{3675.9}{12} = 306.3\ \text{€}$$

$$\text{Tid tills systemet betalat sig själv: } \frac{33\,600\ \text{€}}{3\,675.9\ \text{€}} = 9.141$$

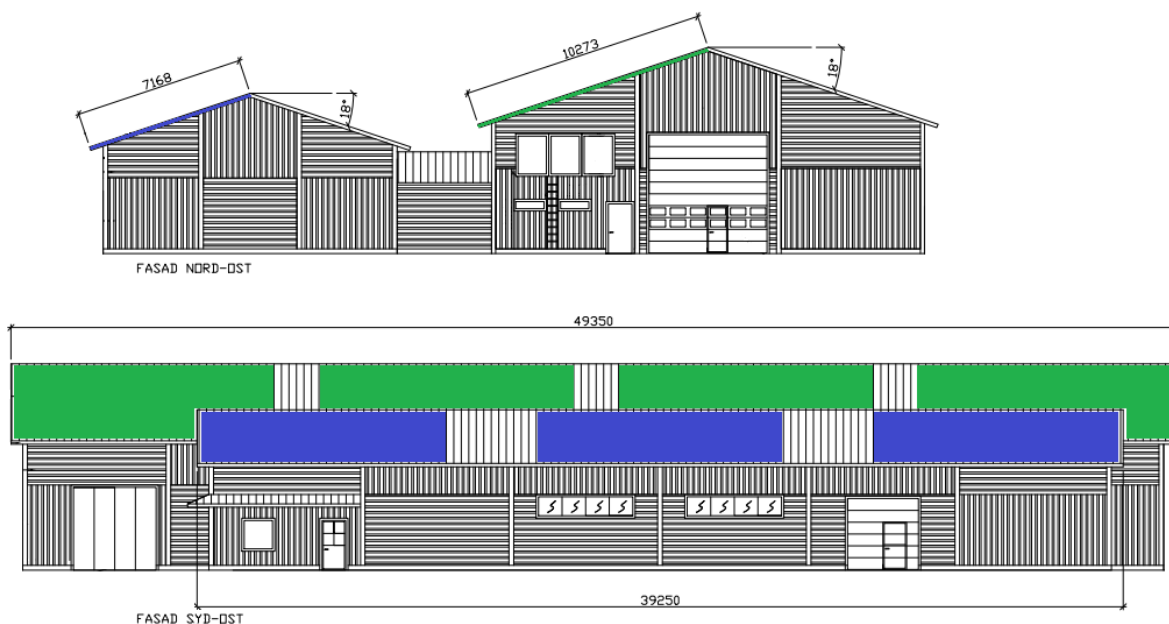
Summa som systemet beräknas bespara under anläggningens garanti:

$$25\ \text{år} - 9.14\ \text{år} = 15,8593\ \text{år} * 3\,675.9\ \text{€} = 58\,297\ \text{€}$$

Återbetalningstiden blir ca 9 år och 2 månader.

### 4.4 Lösning 2

Den andra lösningen är ett större system där båda takytorna, som är riktade mot söder, fylls med paneler. Den mindre byggnaden består av 96 solpaneler och den större byggnaden har ytterligare 144 solpaneler så sammanlagt 240 solpaneler. Den totala takytan som går att använda nu är 788 m<sup>2</sup> men som i Lösning 1 beaktas underhållsutrymme och att endast installera en växelriktare. Därför används bara 528 m<sup>2</sup> för panelerna. Solpanelerna kopplas i par med optimerare som kopplas vidare med gruppvis ledning till växelriktaren.



**Figur 13. Fasad av byggnad med färgade områden som representerar paneler.**

Med följande givna värden görs uträkningarna för lösning 2:

Total förbrukning: 255.41 MWh

Total egenproduktion av el: 100.22 MWh

Förbrukning av egen produktion: 71.89 MWh

Försäljning av egen produktion: 28.34 MWh

Inköp av el: 183.52MWh

Investering: 85 000 € - 19 000 € (20% stöd) = 68 000 €

Komponenter för anläggning 2:

- SE82.8K växelriktare
- 240stycken Longi Solar, LR4-72HPH-450M solpaneler
- 121stycken P950 optimerare
- Paneler monteras liggande för optimal arealanvändning med ställningar
- Riktning är sydost, azimut 167° och vinkel 18°

#### 4.4.1 Uträkningar för lösning 2

Följande uträkningar utfördes med egna uträkningar av elverkets elpris och offertgivarens värden för den större anläggningen.

Uträkningar:

$$\text{Allmän beräkning för pris per effektiv kilowattimme: } \frac{68\,000\ \text{€}}{71\,890\ \text{kWh}} = 0.95\ \text{€/kWh}$$

$$\text{Besparing av producerad el per år: } 71\,890\ \text{kWh} * 0.105 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 7\,548.48\ \text{€}$$

$$\text{Försäljning av producerad el: } 28\,340\ \text{kWh} * 0.03 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 850.2\ \text{€}$$

$$\text{Besparingar per år totalt: } 7\,548.48\ \text{€} + 850.2\ \text{€} = 8\,398.68\ \text{€}$$

$$\text{Besparing per elräkning/månad: } \frac{8\,398.68}{12} = 700\ \text{€}$$

$$\text{Tid tills systemet betalat sig själv: } \frac{68\,000\ \text{€}}{8\,398.68\ \text{€}} = 8.0965\ \text{år}$$

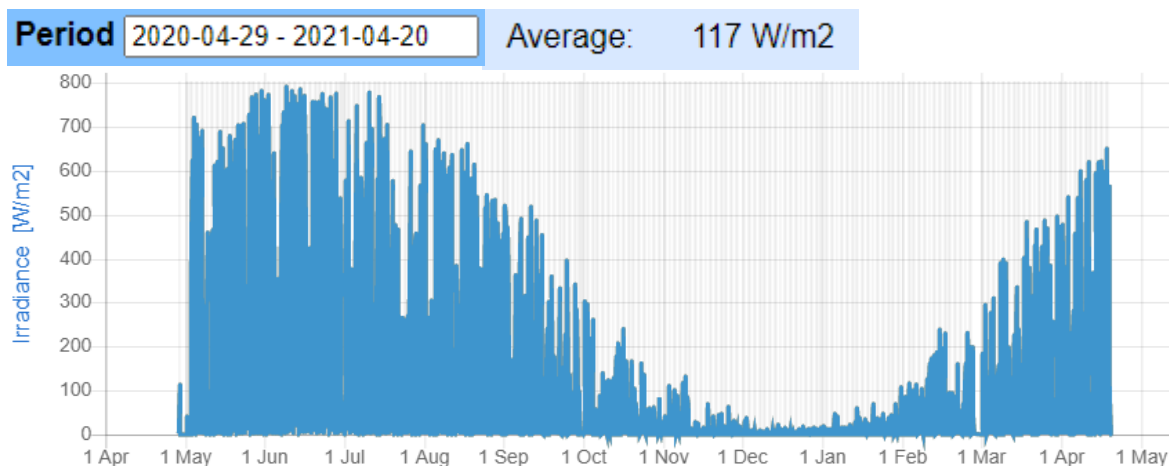
Summa som systemet beräknas bespara under garanterad livstid på anläggning:

$$25\ \text{år} - 8.0965\ \text{år} = 16,9035\ \text{år} * 8\,398.68\ \text{€} = 141\,967\ \text{€}$$

Återbetalningstid blir ca 8 år.

#### 4.5 Solenergi beräkning

Följande information kommer från en stav som fångar upp solens strålning och ger ut den energimängd som är möjlig att ta tillvara. Med dessa uträkningar går det att jämföra försäljarnas uträkningar av deras anläggningar med verkliga värden. Eftersom detta är en stav så är inte värdena direkt jämförbara med en solpanel som endast har en sida som effektivt fångar upp solenergin. I uträkningarna används arealen för lösning 2 vilket är 528 m<sup>2</sup>.



Figur 14. Uträkning av solstrålning över en viss period. (Novia, 2020-2021).

Utförande vid beräkning av årlig solenergisproduktion:

- **Årlig produktion** - produktion \* 24 \* 356
- **Ytan** - anläggningens areal
- **Verkningsgrad** - given av paneltillverkaren
- **Beräkna årsproduktion** – årlig produktion \* yta \* verkningsgrad

Ekvation 1. Uträkning av årsproduktion för anläggning.

<u>Solenergi som når markenytan:</u>	117 W/m <sup>2</sup>
<u>Produktion:</u>	117 Wh/m <sup>2</sup>
<u>Årlig produktion:</u>	1,024,920 Wh/m <sup>2</sup> /år
<u>Yta:</u>	528 m <sup>2</sup>
<u>Verkningsgrad:</u>	0.212 (21,2%)
<u>Beräknad års produktion:</u>	114,725,445 Wh/år

Resultat: ≈ 115 MWh/år

Resultatet ger 115 MWh/år och detta bevisar att försäljarens uträkningar är lite i underkant. Detta kan bero på panelens placering mot solen eller på platsen de tar sin data från. Data som försäljaren använt har tagits från en central 12 km från anläggningens planerade placering jämfört med denna uträkning vars data kommer 143 km från planerad placering.

## 5 Resultat

Det var tidigare frågan om en mindre anläggning med endast hälften så många paneler, men resultatet visar hur stor skillnad det är mellan dessa två lösningar.

Med noggrann genomgång av uträkningarna har följande resultat tagits fram. Den större anläggningen, Lösning 2, kostar mer men lönsamheten är högre jämfört med lösning 1. Totala inkomsten, (Tabell 5), för lösning 1 är 91 897 € och 63 % av inkomst efter betalningstid jämfört med lösning 2 där totala inkomsten är 209 967 € och 67 % efter betalningstiden. Lösning 2 är ett bättre alternativ med tanke på hållbarhet och framtiden eftersom större mängd egenproducerad energi medför mindre inköp av el.

Det är inte bara viktigt att den anläggningen har bättre lönsamhet i sig själv, även den totala inkomsten efter anläggning är betalad har stor betydelse. Eftersom livsgarantin på en anläggning är 25–30 år så bör det beaktas hur mycket man har nytta av anläggningen under denna tid och i detta fall är inkomsten högre för anläggning 2. Detta medför en summa på 141 967 € av anläggning 2 jämfört med 58 927 € av anläggning 1 under garanterad livstid.

**Tabell 5. Lönsamhetsjämförelse av lösning 1 och 2.**

Anläggning 1	År	Avkastning	Anläggning 2	År	Avkastning
Total kostnad € (33,600.00)	1	€ (29,924.10)	Total kostnad € (68,000.00)	1	€ (59,601.32)
Besparing/År € 3,675.90	2	€ (26,248.20)	Besparing/År € 8,398.68	2	€ (51,202.64)
	3	€ (22,572.30)		3	€ (42,803.96)
	4	€ (18,896.40)		4	€ (34,405.28)
	5	€ (15,220.50)		5	€ (26,006.60)
	6	€ (11,544.60)		6	€ (17,607.92)
	7	€ (7,868.70)		7	€ (9,209.24)
	8	€ (4,192.80)		8	€ (810.56)
	9	€ (516.90)		9	€ 7,588.12
Vid denna tidpunkt så har anläggningen betalad sig.	10	€ 3,159.00	Vid denna tidpunkt så har anläggningen betalad sig.	10	€ 15,986.80
	11	€ 6,834.90		11	€ 24,385.48
	12	€ 10,510.80		12	€ 32,784.16
	13	€ 14,186.70		13	€ 41,182.84
	14	€ 17,862.60		14	€ 49,581.52
	15	€ 21,538.50		15	€ 57,980.20
	16	€ 25,214.40		16	€ 66,378.88
	17	€ 28,890.30		17	€ 74,777.56
	18	€ 32,566.20		18	€ 83,176.24
	19	€ 36,242.10		19	€ 91,574.92
	20	€ 39,918.00		20	€ 99,973.60
	21	€ 43,593.90		21	€ 108,372.28
	22	€ 47,269.80		22	€ 116,770.96
	23	€ 50,945.70		23	€ 125,169.64
	24	€ 54,621.60		24	€ 133,568.32
	25	€ 58,297.50		25	€ 141,967.00

## 6 Diskussion

Detta arbete har varit väldigt lärorikt för mig och har gett mig många nya idéer inför framtiden. När jag tog mig an detta arbete hade jag tidigare endast en grundlig förståelse av solkraft och nödvändigheten med denna förnybara energikälla men all den forskning jag har gjort har gett mig en mycket större bild av solkraft och dess möjligheter. Till en början var det lite oklart för vad som skulle forskas i och vad som skulle tas fram i detta arbete men detta blev tydligt när man började läsa genom de olika offerterna som antagits.

De leverantörer som bidraget med informationen till detta arbete har inte nämnts på grunderna av egna kommentarer kring prissättning och erbjudanden.

Uppdragsgivaren är väldigt nöjd med den forskning jag har gjort och de resultat jag kommit fram till med mina uträkningar och jämförelser, det har också gett honom visioner om hur framtiden kan se ut för Ferromek.

## 7 Litteraturförteckning

- Campuswebb. (den 8 april 2018). *Solcellspaneler med starkare effekt*. Hämtat från Paneltaket: <https://paneltaket.se/solcellspaneler-med-starkare-effekt/>
- Casey, B. (den 10 april 2019). *Solaris*. Hämtat från PowerOptimezers: <https://www.solaris-shop.com/blog/power-optimizers-everything-you-need-to-know/>
- Dsnsolar. (den 5 maj 2019). *Half-cut technology for solar panel design and manufacturing*. Hämtat från Dsnsolar: <http://se.dsnsolar.com/info/half-cut-technology-for-solar-panel-design-and-34850446.html>
- Elias. (den 20 april 2021). *Typer av solpaneler*. Hämtat från Hemsol: <https://hemsol.se/blogg/typer-av-solcellspaneler/>
- Energy.gov. (2021). *How does solar work?* Hämtat från Energy.gov: <https://www.energy.gov/eere/solar/how-does-solar-work>
- Insuretro. (2019). *Types of solar panels*. Hämtat från Insuretro: <https://insuretro.com/types-of-solar-panels/>
- Nohrstedt, L. (den 31 oktober 2017). *Solcellernas tre generationer*. Hämtat från Nyteknik: <https://www.nyteknik.se/energi/guide-solcellernas-tre-generationer-6880611>
- NordPoolGroup. (2020). *Market Data*. Hämtat från NordPoolGroup: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/ALL1/Yearly/?view=table>
- Novia. (den 20 april 2020-2021). *Weather Data*. Hämtat från iot.Novia: [http://iot.novia.fi/data/meteoria\\_weather.html](http://iot.novia.fi/data/meteoria_weather.html)
- Peckerel, K. (den 24 oktober 2018). *What is a half cell solar panel*. Hämtat från Solarpowerworldonline: <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/10/what-is-a-half-cell-solar-panel/>
- PVEurope. (den 16 juni 2018). *7 facts about power electronics and solar energy*. Hämtat från PVEurope: <https://www.pveurope.eu/solar-generator/7-facts-power-electronics-solar-energy>
- Sjunesson, H. (den 21 maj 2012). *Solenergi*. Hämtat från Tekniskamuseet: <https://www.tekniskamuseet.se/lar-dig-mer/100-innovationer/solenergi/>
- Solar Panel*. (den 28 april 2021). Hämtat från Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_panel](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel)
- Solarity. (den 25 juli 2019). *SolarEdge vs Tigo optimizers*. Hämtat från Solarity: <https://solarity.cz/blog/solaredge-vs-tigo/>
- Taylor. (2018). *Optimising with SolarEdge technologies*. Hämtat från Tayloenergy: <https://www.tayloenergy.com.au/optimising-your-solar-with-solaredge-technologies/>