



UMEÅ UNIVERSITET

# FÖRUSÄTTNINGAR FÖR EN SOLCELLSANLÄGGNING PÅ ETT RENINGSVERK

## Opportunities for a photovoltaic system on a water treatment facility

Anton Axelsson

Examensarbete, 15 HP

Högskoleingenjörprogrammet i Energiteknik, 180 HP

HT 2019

## SAMMANFATTNING

Den här rapporten undersöker de förutsättningar som finns för en solcellsanläggning på Falu Energi & Vattens reningsverk i Främby, Främbyverket. Rapporten fokuserar på den förväntade lönsamheten och det minskade behovet av att köpa elektricitet. Det presenteras två olika modeller över solcellsanläggningar med variation i storlek och kostnad.

Metoden har genomförts med hjälp av programmen *PVGIS* och *Sunny Web Design* för att simulera fram solinstrålningen, och den dimensionerade effekten som växelriktarna ska ha för att uppnå maximal lönsamhet. Falu Energi & Vatten har takytor med stor area som har varierande möjligheter för solceller. Den största delen av takytorna har en låg lutning och orientering mot öst och väst, vilket medför en mindre minskning i effekt än vid högre lutningar.

Slutsatsen är att om en solcellsanläggning på Främbyverket ska uppnå lönsamhet så krävs det statliga investeringsstödet. Avbetalningstiderna är långa men under den förväntade livslängden (<30 år) för solceller så har solcellsanläggningen återbetalat sig. Investeringar i förnyelsebara energikällor är ett bra sätt att bidra till utvecklingen, minska utsläpp samt medför även goodwill för anläggningsägaren.

## ABSTRACT

This thesis investigates the opportunities for a photovoltaic system on Falu Energi & Vattens water treatment facility, Främbyverket, in Främby, Falun. The objective of the work is to calculate the expected profitability and to see how much the energy costs can be reduced. The thesis will present two different solar installations with variation in size and costs.

The work has been conducted with the online based programs, *PVGIS* and *Sunny Web Design*, these programs are being used to simulate the solar radiation and to dimension the inverters to achieve maximal profitability. Falu Energi & Vatten has four buildings with a large roof area and varying possibilities for solar cells. Most of the roofs has a low tilt angle and an orientation to the east and west, which lowers the expected energy production from the solar cells.

The results show that for a photovoltaic installation to become profitable on Främbyverket it must be granted the governments investment support. The payoff times are long, but the investments will be paid off during the expected lifetime (< 30 years) of the photovoltaic cells. Investments in renewable energy sources is a good way to contribute to the development, decrease the emissions and is also providing goodwill for the plant owner.

## FÖRORD

Det här examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och är det sista momentet i högskoleingenjörsprogrammet inom energiteknik. Examensarbetet är utfört åt Falu Energi & Vatten i Falun under höstterminen 2019.

Jag vill tacka mina handledare på Falu Energi & Vatten, Lars Runevad och Moa Swing Gustafsson, för all hjälp med nya tankar och idéer från en annan synvinkel samt hjälp med rapporten.

Min handledare på Umeå Universitet, Anders Nordin, för feedback och snabb respons.

Jag vill även tacka alla på Falu Energi & Vatten för ett bra bemötande och hjälp med frågor.

## Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.2 Bakgrund.....	1
1.3 Syfte.....	1
1.4 Målsättning.....	1
1.5 Avgränsning.....	2
2. Teori.....	3
2.1 Främbyverket.....	3
2.2 Solcellen.....	5
2.3 Soltimmar och solkarta .....	16
2.4 Ekonomi .....	17
2.5 Lönsamhetsmetoder.....	21
2.6 Simuleringsprogram .....	24
3. Metod.....	25
3.1 Simulering .....	25
3.2 Främbyverkets fastigheter.....	27
3.3 Kostnader och intäkter .....	32
3.4 Lönsamhetsberäkning.....	34
4. Resultat .....	36
4.1 Solcellsanläggningarna.....	36
4.2 Resultatkalkyl .....	48
4.3 Känslighetsanalys.....	54
5. Diskussion.....	57
6. Slutsats.....	58
7. Framtida arbete.....	59
Referenser .....	60
Bilaga 1 - Solar Scorecard 2016-17 från <i>Silicon Valley Toxics Coalition</i> .....	63
Bilaga 2 – Skuggningsobjekt.....	64
Bilaga 3 – Data från <i>Sunny Web Design</i> över växelriktarna och strängarna .....	65
Bilaga 3.1 Modell 1 – Fastighet 1 .....	65
Bilaga 3.2 Modell 1 – Fastighet 2.....	66
Bilaga 3.3 Modell 1 – Fastighet 4.....	67
Bilaga 3.4 Modell 2 – Fastighet 1 .....	68
Bilaga 3.5 Modell 2 – Fastighet 2.....	69
Bilaga 3.6 Modell 2 – Fastighet 3.....	70
Bilaga 3.7 Modell 2 – Fastighet 4.....	71

Bilaga 4 – Resultatkalkyl .....	72
Bilaga 4.1 – <i>Modell 1</i> Resultatkalkyl utan hänsyn till kalkylränta .....	72
Bilaga 4.2 – <i>Modell 2</i> resultatkalkyl utan hänsyn till kalkylränta.....	72
Bilaga 4.3 – <i>Modell 1</i> med hänsyn till kalkylränta.....	73
Bilaga 4.4 – <i>Modell 2</i> med hänsyn till kalkylränta.....	73

## 1. Inledning

I takt med att världens befolkning ökar så följer även elproduktionen med uppåt. Elproduktionen idag domineras av fossila bränslen med över 64,5% av världens produktion från kol, olja och naturgas (The International Energy Agency, 2017). Sverige är idag ett rikt land där möjligheterna för att utöka sina förnyelsebara energikällor är stora och gör att vi kan vara ledande inom området.

### 1.2 Bakgrund

Falu Energi & Vatten AB (FEV) är Falu kommuns lokala energiföretag med produkter och tjänster inom el, elnät, värme & kyla, stadsnät, vatten & avlopp och återvinning.

Bakgrunden till arbetet kommer från att FEV vill täcka delar av sin elförbrukning på sitt största reningsverk, Främbyverket, med hjälp av en solcellsanläggning. Idag förbrukas stora mängder elektricitet dygnet runt med en jämn profil över dygnet, i och med detta vill FEV undersöka möjligheterna till en solcellsanläggning på deras outnyttjade takytor. De vill undersöka förutsättningar till en lönsam solcellsanläggning som samtidigt är en klimatsmart investering för framtiden.

I ett tidigare examensarbete från 2019 gjordes ett utförligt arbete om Främbyverket och dess elförbrukning. Arbetet kom fram till att ett eventuellt framtida arbete skulle vara att undersöka möjligheten för solceller på de takytor som idag står tomma och outnyttjade (Om Falu Energi & Vatten, 2019).

### 1.3 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur förutsättningarna för en större solcellsanläggning ser ut på Främbyverket. I och med den kraftiga omställningen från fossila energikällor som krävs för att nå hållbarhetsmålen, behövs lösningar på problemet där solceller är en lösning på det här problemet. Solceller producerar ren energi med litet underhåll under en lång livslängd (>30 år). Dagens kommersiella solceller har möjligheterna att vara lönsamma under rätt förutsättningar, vilket gör att det inte bara är en förnyelsebar energikälla utan även en lönsam investering.

### 1.4 Målsättning

Målsättningen med arbetet är att redovisa en teoretisk modell av en solcellsanläggning. I arbetet ska två modeller undersökas, med varierande storlekar och kostnader. Jämförelse mellan dessa två kommer att presenteras för att enkelt kunna avgöra vilken som har bäst förutsättning.

Solcellsanläggningarna ska vara dimensionerade efter Främbyverkets förbrukningsprofil för att återanvända all producerad elektricitet.

I arbetet presenteras en lönsamhetskalkyl med diverse olika lönsamhetsmetoder för att ge en översiktlig bild över hur ekonomin för solceller ser ut.

Följande frågeställningar ska arbetet svara på:

- Hur ser möjligheterna ut för en solcellsanläggning på Främbyverket?
- Vilka ekonomiska förutsättningar har en solcellsanläggning i dagens läge?
- Kan solceller bidra till Sveriges miljömål?

### 1.5 Avgränsning

- Inga mätningar, all data finns tillgänglig på timbasis
- Enbart det stora reningsverket
- Data för solinstrålning är hämtad med hjälp av simuleringsprogram
- Ritningar över fastigheterna har varit svårtillgängliga och har framtagits med hjälp av handledare samt kartbilder



## 2. Teori

I det här kapitlet redovisas viktig bakgrundsfakta för att få en större förståelse över tekniken kring solceller och vilka faktorer som har påverkan på den förväntade elproduktionen. Här redovisas även fakta kring Falu Energi & Vatten's reningsverk, Främbyverket, och dess elförbrukning.

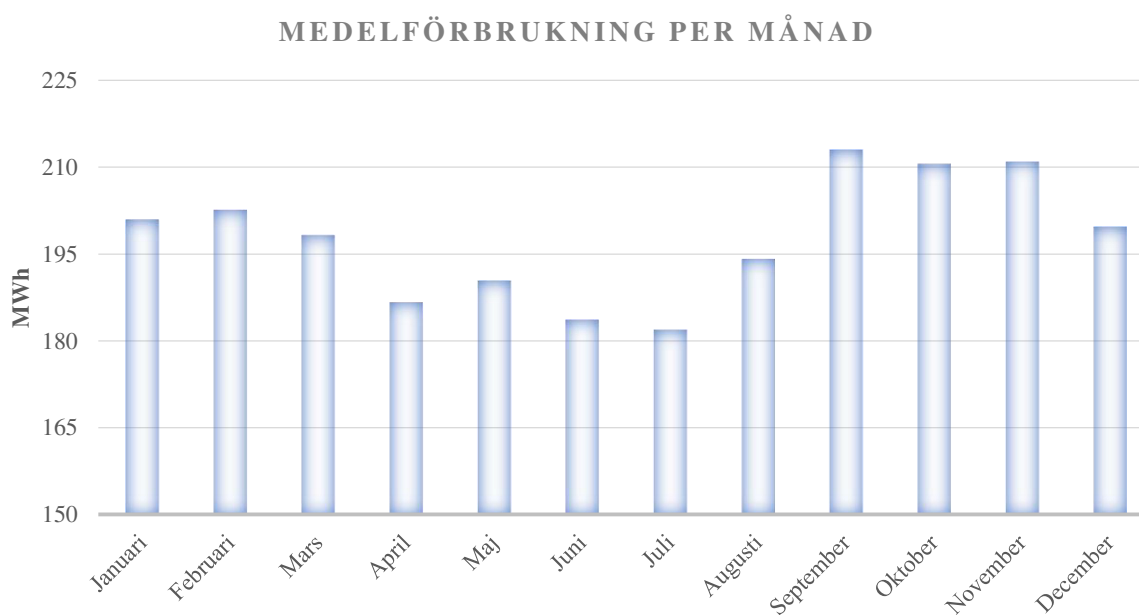
### 2.1 Främbyverket

Falu kommuns största reningsverk ligger i Främby, Falun. Reningsverket renar vattnet från Faluns innerstad och närliggande orter, upp emot 60 000 personer förlitar sig på reningen hos Främbyverket. Över ett helt år renas cirka 6 miljoner m<sup>3</sup> eller nästan 16 000 m<sup>3</sup> per dag. Vattnet renas till upp till 95% och släpps sedan ut i sjön Runn (Om Falu Energi & Vatten, 2019). Figur 1 nedan visar en flygbild över Främbyverket med de olika fastigheterna.



Figur 1. Flygbild över Främbyverket från 2016.

Fastigheterna är bra placerade för att kunna minska på kabellängden och därmed den förlust som uppstår vid för långt dragna kablar (SoIEI). Nedan i Figur 2 visas medelförbrukning hos Främbyverket under årets alla månader. Det går att se en tydlig skillnad i elförbrukning mellan månaderna, där juli står för lägst elförbrukning på cirka 182 MWh och september med den högsta på 213 MWh. Medelförbrukning över det hela året är 198 MWh och medianen är 199 MWh.



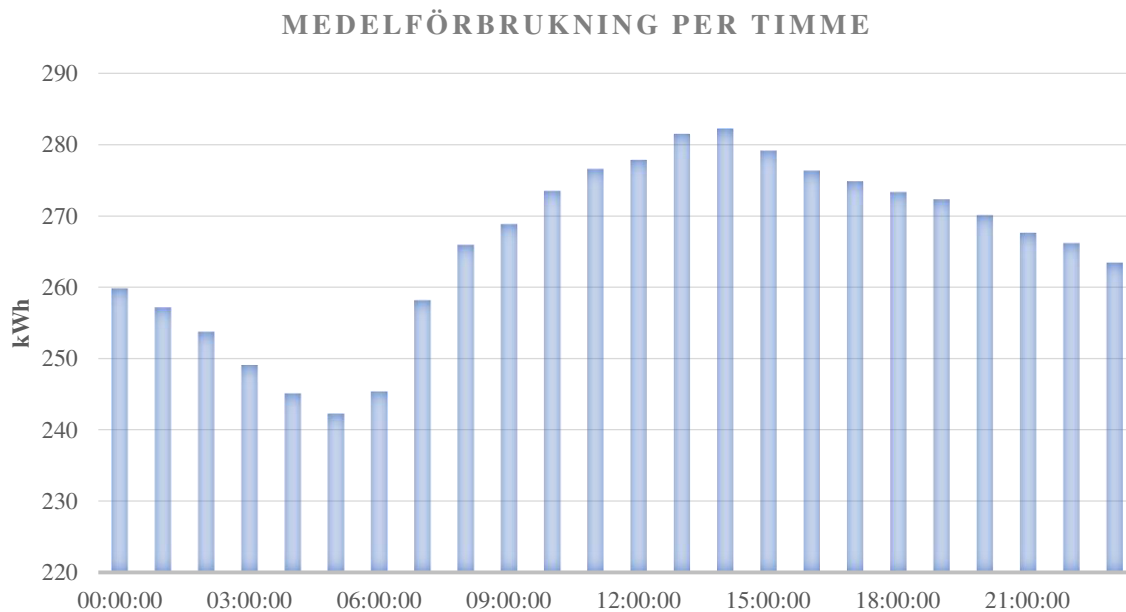
Figur 2. Medelförbrukning hos Främbyverket månadsvis mellan 2016 och 2019.

Vid en närmare koll på förbrukningsprofilen som gäller timvis syns också en tydlig trend. Runt lunchtid är elförbrukningen som högst för att avta runt tvåtiden och sedan öka igen runt 05:00.

Reningsvattnet som kommer till Främbyverket tar ett antal timmar att transportera genom ledningsnätet över Falu kommun, vilket medför en fördröjning i elförbrukningen. Den största mängden av reningsvatten skickas ut på ledningsnätet under morgonen och lunchtid när flest människor använder sig av bland annat toaletter och duschar. På natten är det mindre behov av rening och det syns tydligt i Figur 3 nedan när förbrukningen är som minst.

Elförbrukningen varierar mellan 242 och 282 kWh, och medelförbrukning per timme under en vanlig dag på Främbyverket ligger strax under 270 kWh.

Förbrukningsprofilen följer solens upp- och nedgång, vilket gör Främbyverket passande för solceller.



Figur 3. Medelförbrukning mellan 2016 - 2019 hos Främbyverket timme för timme.

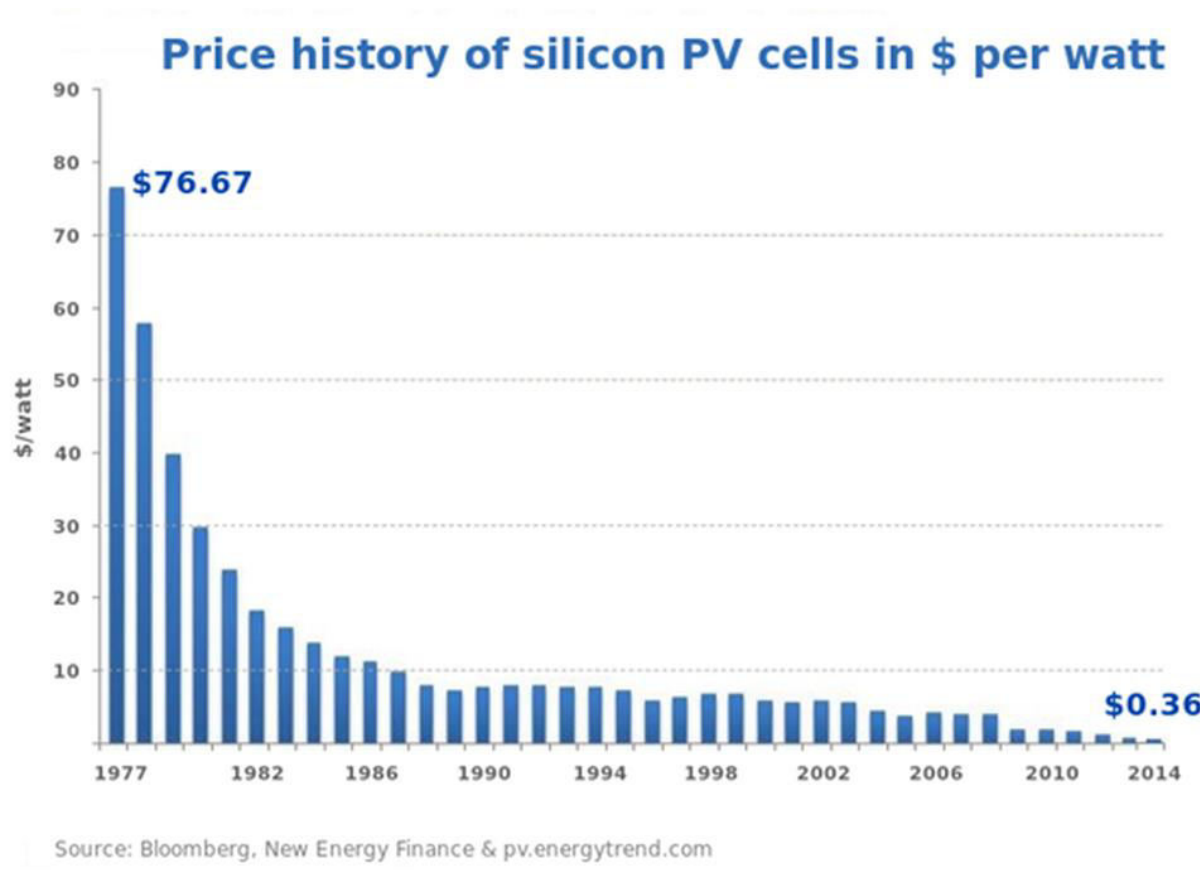
## 2.2 Solcellen

Solcellernas historia sträcker sig tillbaka till 1800-talet då den franske fysikerna Edmond Becquerel upptäckte den fotovoltaiska effekten. Han byggde världens första fotovoltaiska cell när han var endast 19 år i sin pappas laboratorium år 1839. Det skulle dröja nästan 70 år tills den tysk-amerikanska fysikern Albert Einstein publicerade sitt arbete om den fotoelektriska effekten år 1905.

Den 25 april 1954 vid Bell Laboratories demonstrerades den första fungerade solcellen. Det här genombrottet möjliggjorde att år 1958 kunde solceller placeras på utsidan av satelliter och på så vis förlänga tiden i rymden. Tekniken fortsatte att utvecklas inom rymdtekniken men var fortfarande inte tillgängligt för allmänheten (Knier, 2008).

De senaste åren har tekniken utvecklats enormt mycket både tekniskt och prismässigt. Genom detta har flera privata bolag investerat mycket i tekniken och gjort att solceller har fått det genombrott de förtjänar. Idag finns kommersiella solceller med en verkningsgrad upp emot 23% men majoriteten ligger under 20% (Aggarwal, 2019).

Figur 4 nedan visar dramatiska prisutvecklingen för solceller mellan 1977 och 2014. På 37 år har priset på solceller minskat från \$76,67 till \$0,36 per installerad watt, men på de senaste åren har priset inte sjunkit lika mycket som under 70- och 80-talet, även om den minskningen också har varit betydande för kommersialiseringen av solcellstekniken.

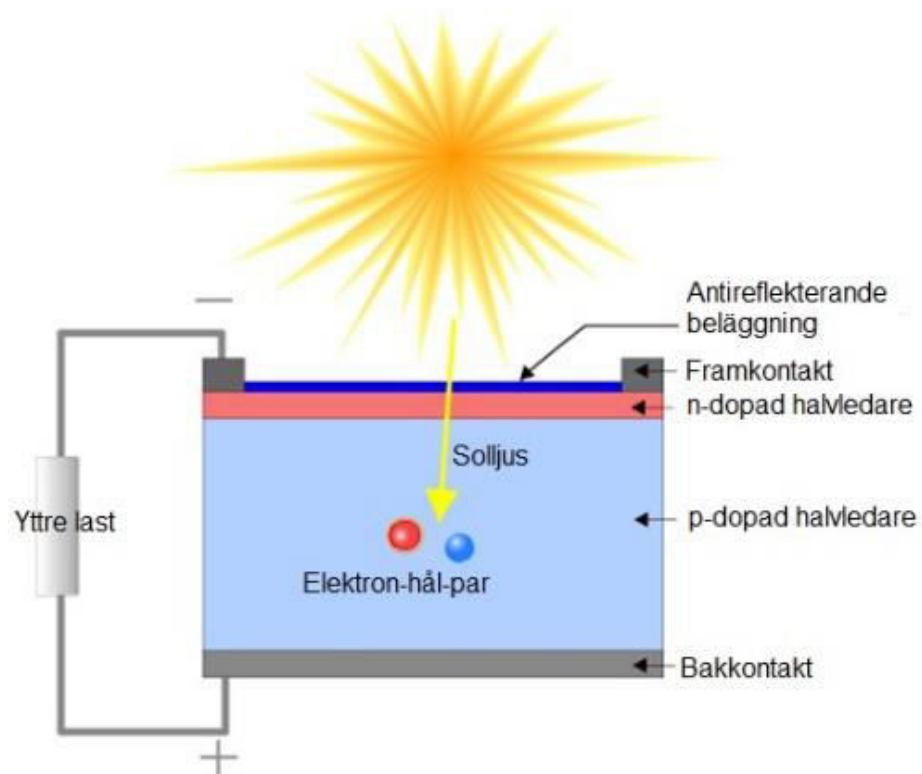


Figur 4. Solcellernas prisutveckling mellan 1977 och 2014 i amerikanska dollar per watt (Diamandis, 2014).

#### Solcellens funktion

Den energi som kommer från solen kan användas för att producera elektrisk energi och värmeenergi. Solenergi har stor potential och genom utveckling av befintlig teknik har solcellerna ökat både sin verkningsgrad och samtidigt sänkt sina kostnader. Energin från solen är säsongsberoende men med en utnyttjad yta på taken runt om i Sverige finns det bra möjligheter till att producera sin egen elektricitet med hjälp av solceller. De vanligaste solcellstyperna använder sig av halvledarmaterialet kisel.

En vanlig solcell är uppbyggd i flera skikt som Figur 5 visar nedanför.



Figur 5. Solcellens uppbyggnad (Honsberg & Bowden, u.d.).

Solcellen består av fem olika skikt, det översta skiktet består av glas som har till uppgift att både skydda solcellerna och förhindra att solljuset reflekteras bort. I och med att solljuset lätt reflekteras bort så används ett material som är anti-reflekerande för att minska på reflektionsförlusterna.

I solcellen finns två kisel-dopade skikt, N-dopat och P-dopat. Dopningen innebär att ledningsförmågan hos kisel ska öka genom att elektroner tillförs.

Det N-dopade skiktet har ett överskott på elektroner genom en dopning av fosfor. Till skillnad från det N-dopade skiktet har det P-dopade skiktet dopats med Bor som ger ett underskott av elektroner. När ett underskott av elektroner inträffar bildas så kallade hål bakom de frigjorda elektronerna, hålen är tomma utrymmen som uppstår vid ett underskott av elektroner (Bengtsson, Holm, Larsson, & Karlsson, 2017).

I solcellen finns det två metallkontakter mellan de två dopade skikten. Metallkontaktorna är de delarna som skapar den elektriska likströmmen genom att de kopplas samman under den så kallade elektronvandringen.

Det ljus som kommer från solen består av elektromagnetisk strålning med en viss energimängd, även kallat foton. När fotonerna träffar det N-dopade och P-dopade skiktet, frigörs elektronerna och börjar vandra mot det N-dopade skiktet där det bildas ett överskott på elektroner, samtidigt frigörs hål i det P-dopade skiktet med ett underskott. När elektronerna vandrar mellan skikten kopplas de två metallkontaktorna samman och likström uppstår (Hallén, u.d.).

### Olika typer av solceller

Det finns många olika varianter av solceller på marknaden idag som skiljer sig åt både prismässigt och estetiskt. Idag läggs lika mycket fokus på att förbättra verkningsgraden som att förändra den formbarhet som solceller har. De varierande marknaderna kräver olika typer av solceller, och idag används inte solceller bara för att få elektricitet till fastigheten eller industrin utan även till saker som telefonladdare, hörlursladdare och billaddare.

Kiselsolceller är de vanligaste solcellerna på marknaden med en marknadsandel på cirka 90%. En livslängd på över 20 år, tillsammans med en hög verkningsgrad, gör kiselsolceller till en stabil solcell. Materialet är ett av världens mest vanliga vilket gör att kostnaderna blir låga (Solar Photovoltaic Cell Basics, 2013). Kiselsolceller kan delas upp i två olika typer, poly- och monokristallina solceller. Namnet kristallina kommer från att solcellens kiselatomer är ordnade likt kristaller.

Polykristallina solceller är den vanligaste kiselsolcellen, där *poly* i namnet betyder att den har flera kristaller. Verkningsgraden ligger mellan 15 – 17%, med en kostnad som är relativt låg, vilket medför att det idag är en vanlig solcellstyp bland privatpersoner (Energimyndigheten, 2018).

Monokristallina solceller har en högre verkningsgrad och kostnad jämfört med polykristallina solceller, där *Mono* i namnet betyder att den har endast en kristall.

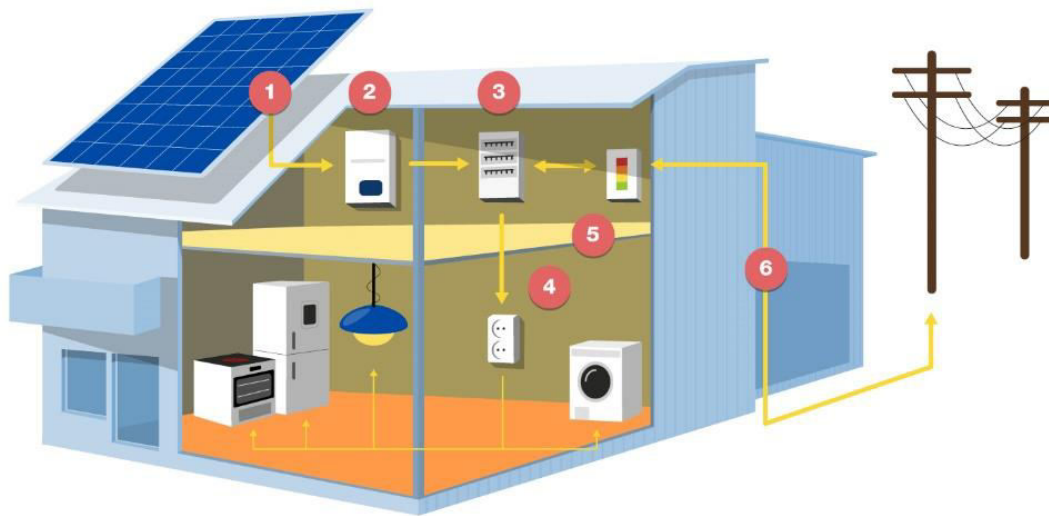
Skillnaden mellan dessa två typer av kiselsolceller är både kostnaden och den effektivitet de har, den visuellt största skillnaden är färgen på solcellerna. Polykristallina solceller har en blå färg och monokristallina en svart färg (Marsh, 2017).

Tunnfilmssolceller är ett samlingsnamn för flera olika typer av solceller beroende på vilket material de är uppbyggda av. Två vanliga typer av tunnfilmssolceller är CdTe (Kadium, Tellurid) och CIGS (Koppar, Indium, Gallium, Selen). En tydlig skillnad mellan kiselsolceller och tunnfilmssolceller är tjockleken på solcellerna. Tunnfilmssolceller kan vara upp till 100 gånger tunnare, ungefär ett par millimeter, vilket medför en lägre produktionskostnad. fördelarna är att böjbarheten medför en större marknad och möjligheten att applicera tunnfilmssolcellerna där kiselsolceller inte är möjliga.

### Solcellens komponenter

En komplett solcellsanläggning finns i Figur 6 nedan och består av solcellsmoduler (1), växelriktare (2), anslutning till fastighetens elcentral (3), elmätare (5) och en uppkoppling mot elnätet (6) samt den elektricitet som används i fastigheten (4). Solcellsmodulerna är placerade på ett monteringsystem som har till uppgift att ge en ökad lutning alternativt endast montera fast solcellsmodulerna. Den elektricitet som är uppkopplad mot elnätet där överskottselen skickas ut kan bortses om allt ska återanvändas i fastigheten.

Dessa komponenter har en specifik uppgift i systemet för att säkerställa den högsta elproduktionen. Själva solcellen är den mest självklara komponenten och den som utgör grunden i solcellsanläggningen, det är solcellen som fångar upp solljuset och omvandlar det till elektricitet.



Figur 6. En typisk solcellsanläggning med alla komponenter uppkopplad mot elnätet. (Det här ingår i en solcellsanläggning, 2019).

Eftersom elektriciteten från solcellen kommer som likström måste den omvandlas till växelström innan den kan användas i fastigheten, den här omvandlingen sker genom en växelriktare.

En växelriktare är en viktig komponent för solcellsanläggningen och brukar kallas för hjärtat i en solcellsanläggning. Växelriktaren har två uppgifter i systemet, att omvandla växelströmmen till likström samt att producera elektricitet av god kvalitet. Växelriktaren belastar också solcellsmodulerna till de mest optimala förhållandena så att systemet producerar till maximala effekten. Under timmarna solen skiner så är det viktigt att solcellsmodulerna arbetar optimalt; med en dålig växelriktare kan produktionen vara sämre än normalt. Storleken och antalet växelriktare bestäms av den storlek det är på systemet. Vid effektoptimering använder sig växelriktarna av en funktion kallad *Maximum Power Point Tracker (MPPT)*. Med hjälp av *MPPT* kan växelriktaren styra växelspanningen och välja den ström som ger den högsta effekten.

Växelriktaren är en dyr komponent med en relativt kort livslängd på cirka 15 år, och behöver bytas ut minst en gång under solcellsmodulernas livslängd. Verkningsgraden skiljer sig mellan tillverkarna och ligger mellan 93 – 97%, i vissa fall upp emot 98%. Vid dimensionering av växelriktarna kan en underdimensionering upp till 30% mot solcellsmodulernas topp effekt genomföras, placeringen av solcellsmodulerna bestämmer storleken på underdimensioneringen (Kovacs, Persson, Svensson, Åström, & Khajehalijani, 2014).

Valet av växelriktare är det viktigaste vid projektering av en solcellsanläggning, en hög verkningsgrad med bra kvalitet är viktigare än det ekonomiska valet.

Placering av solcellsmoduler på tak är det vanligaste sättet, det är en plats som inte stör något eller tar upp plats för annat. Det finns olika sätt att montera solcellsmodulerna på tak och dessa definieras av den lutning som taket har.

Platta tak eller med maximalt en 5 graders lutning kräver ett monteringsystem som kan vinkla upp solcellerna och samtidigt tål starka vindbyar (Malmsten, 2015).

Ett sådant system är ett så kallat ballastsystem, se Figur 7 nedan. Det systemet kräver ingen infästning i taket utan ligger kvar på grund av den höga vikten systemet har.



Figur 7. Monteringsystem med ballast (SolNord, u.d.).

Om taket mot förmodan inte skulle orka den extra vikten ballastsystemet medför finns det infästningssystem som kan användas istället (Malmsten, 2015). Dessa infästningar används främst på tak där lutningen överskrider 5 grader men används i vissa fall även på tak där bärigheten inte tål den höga vikten ballastsystemet tillför.

Figur 8 nedan visar hur en montering med infästning ser ut på ett tegeltak.





Figur 8. Montering med infästning (Weland stål, u.d.).

En solcellsmodul är uppbyggd av flera serie- eller parallellkopplade solceller, det vanligaste i kiselmoduler är att seriekoppla solcellerna i tre serier fördelade med 20 solceller vardera. Varje enskild solcellsmodul har en låg spänning och seriekopplas för att få upp den arbetande spänningen och den önskade effekten, det kallas att solcellsmodulerna kopplas samman i en sträng.

Systemspänningen beräknas genom att multiplicera antal solcellsmoduler med spänningen, och den ström som går genom systemet bestäms av den lägst producerande strömmen i strängen. Effekten på solcellsmodulerna får inte vara för hög, då den spänning som går genom systemet kan riskera att skada växelriktaren.

Vid parallellkoppling av solcellsmodulerna är principen densamma men här bestäms spänningen av den lägst producerande i kopplingen (SolarLab).

Vid skuggning kan en enda solcell i systemet sänka hela produktionen, för att förhindra detta har de flesta solcellerna en eller flera komponenter som kallas bypass-diod, eller förbikopplingsdiod. Det är en komponent som används för att förhindra att skuggor påverkar alla solceller. Det antal som finns i varje solcellsmodul skiljer sig mellan olika typer men funktionen är densamma.

I vanliga kiselmoduler är det oftast 60 solceller, dessa celler är uppdelade i tre serier där de tre serierna är parallellkopplade med en bypass-diod vardera. Skillnaden i tunnfilmsmoduler är

att de är uppbyggda av flera hundra celler som har endast en enda bypass-diod parallellkopplad över alla celler (Bengtsson, Holm, Larsson, & Karlsson, 2017).

I en seriekopplad solcellsmodul under skuggning kommer den solcellen som är utsatt för skuggning att producera mindre ström. De övriga solcellerna kommer att försöka pressa en överström genom solcellen, för att förhindra att en värmeförlust ska uppstå så kommer bypass-dioden att leda överströmmen vidare. Bypass-diodens funktion är att minska de värmeförluster som kan uppstå vid skuggning och inte att maximera produktionen hos solcellerna.

Elcentralen i fastigheten innehåller säkringar och elmätare som mäter elektriciteten till och från fastigheten ut på elnätet. Det installeras säkerhetsbrytare på båda sidorna om växelriktare för att enkelt kunna bryta strömmen vid underhåll och säkerställa att det utförs utan någon risk.

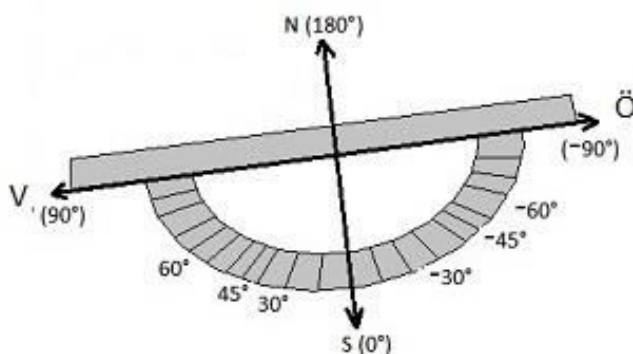
All överskottsel överförs till elnätet och mäts av elmätaren, ett system utan överskottsel återanvänder all elektricitet i fastigheten och är inte uppkopplad mot elnätet.

#### *Orientering och modullutning*

Placeringen av solcellerna avgör vilken framtida produktion solcellsanläggningen får. Det är viktigt att den framtida placeringen genomförs rätt så att den högsta elproduktionen kan uppnås.

Två viktiga begrepp när det kommer till solcellernas placering är azimutvinkel ( $\alpha$ ), kallas även för orienteringsvinkel, och modullutning ( $\beta$ ).

Orienteringsvinkeln är den riktning solcellerna har mot söder, där en vinkel på noll grader representerar en riktning helt mot söder. För högsta produktionen för en solcellsanläggning norr om ekvatorn ska solcellerna vara orienterade mot söder enligt Figur 9.

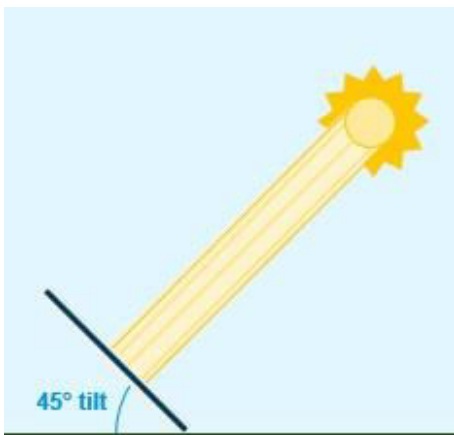


Figur 9. Orienteringsvinkel från söder till öst och väst. (SolarLab, u.d.).

Modullutningen är den lutning solcellsmodulerna har från det horisontella planet. Lutningen som är den mest optimala skiljer sig beroende på var i världen man befinner sig, men för att uppnå maximal produktion ska solcellsmodulen vara riktad vinkelrät mot solen. Det enklaste sättet är att placera solcellsmodulerna längst med takets lutning.

För att uppnå den högsta produktionen ska monteringen ske med en rörlig montering där solcellsmodulerna följer solens riktning och kan få ut den maximala produktionen under de olika förutsättningarna. Det är dock en kostnadsfråga då en rörlig montering kräver en större investering samt högre underhållskostnader.

Figur 10 visar hur modullutningen ser ut vid en 45 graders lutning i det horisontella planet.



Figur 10. Lutningen på en solcellsmodul i det horisontella planet (U.S. Energy Information Administration, 2018).

### Verkningsgrad

Det finns många faktorer som påverkar solcellens totalverkningsgrad. I och med att det är många komponenter som inte har en 100procentig verkningsgrad försvinner stora mängder elektricitet innan den kan användas. Innan solens strålar omvandlas till elektricitet så sker det förluster. Den största och vanligaste förlusten är reflektionsförluster.

Värmeförluster är också en vanlig förlust som uppstår då solcellen blir för varm för att kunna arbeta normalt. Solcellen tappar verkningsgrad då temperaturen hos solcellen går över 25 grader Celcius, men samtidigt går verkningsgraden upp om temperaturen går under 25 grader Celcius. Det gör att solceller i Sverige har bra förutsättningar även om vi har färre soltimmar än andra länder.

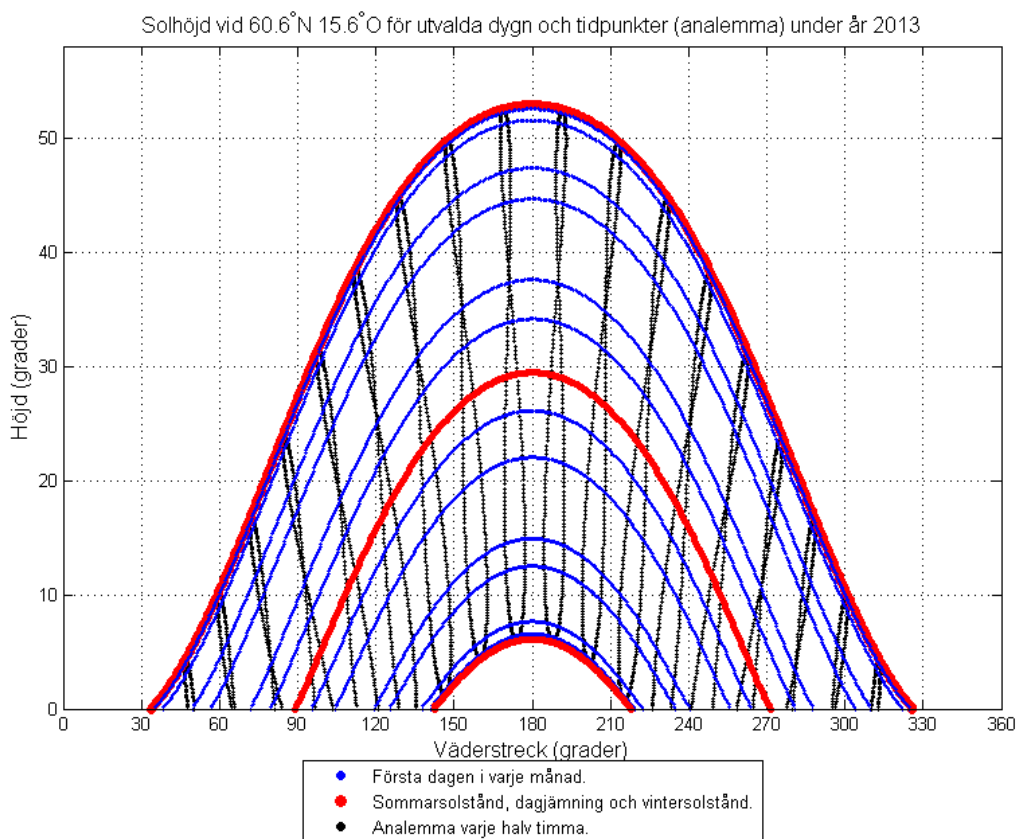
Placeringen av solceller har en viktig betydelse då det gäller temperaturförluster, det man vill åstadkomma är fritt luftflöde under cellen för att kunna hålla en så låg temperatur som möjligt. Solceller som placeras på platta tak utan lutning har högre risk att råka ut för högre temperaturer, vilket leder till en sämre verkningsgrad.

Skuggning är en viktig faktor när det gäller solceller, det sänker inte bara verkningsgraden för en enskild cell utan kan orsaka större skada. Skuggning kan komma från olika källor och det är svårt att analysera, faktorer som är svåra att räkna på är bland annat fåglar, fågelavföring och löv. Dessa faktorer är svåra att analysera och förutse för att minska på förlusterna. Men när det kommer till faktorer som träd, flaggstolpar och ventilationsboxar så är det lättare att förutspå var skugga kommer att hamna med hjälp av ett par givna tumregler.

Dessa tumregler är till för att enkel ge en förståelse om hur solen rör sig vid vissa tidpunkter och samtidigt visa på förlusterna som uppstår av skugga.

En annan typ av förlust som finns i solceller orsakas av smuts och snö. På vinterhalvåret kan det samlas stora mängder snö på solcellen som täcker solljuset från att nå solcellen. I och med detta kan det hända att solcellen inte producerar någon elektricitet tills man tar bort snön eller att snön smälter bort. En brant lutning på solcellerna gör att de kan, med hjälp av värmen från solen, få bort snön själv utan extern hjälp. Därför är solceller med en större lutning bättre om man ser det från underhållsperspektiv.

Figur 11 visar ett solbanediagram över Falun under den första dagen för årets alla månader.



Figur 11. Solbanediagram för Falun under 2013 (SMHI, 2013).

I överföringen mellan kablar i systemet uppstår det förluster, en vanlig siffra kan vara mellan 1 - 3 % beroende på hur långa kablarna är och av vilken typ. Ett längre avstånd mellan kablarna ger en större resistiv förlust på grund av den höga strömmen som kommer från solcellsanläggningen (SolEl). Därför är det viktigt att placera alla komponenter inom ett rimligt avstånd för att inte orsaka kabelförluster som lätt kunnat undvikas.

Solceller har idag en förväntad livslängd på cirka 25 – 30 år beroende på den miljö de är placerade i. En studie från 2006 visar att svenska solceller har en genomsnittlig degradering på 0,38% per år från 1985 (Hedström & Palmblad, 2006).

Idag finns det garantier från de flesta tillverkarna att solcellerna ska hålla minst 80% av sin effekt över 20 år (Aggrawal, 2019). Det är svårt att sätta en siffra på degraderingen idag då många nya solcellsmodeller har kommit till marknaden och inte funnits i över 20 år, en vanlig siffra som används i investeringskalkylering är 0,3% i årlig degradering (Stridh & Larsson, Investeringskalkyl för solceller, 2017).

Degradering hos solceller gäller enligt Formel 1 nedan, där antal år (n) är varierande och energin från år 1 är densamma över samtliga år (Stridh & Larsson, Investeringskalkyl för solceller, 2017).

$$Energ_i = Energi_{\text{År}1} \times (1 - Degradering)^{n-1} \quad (1)$$

#### Val av solcellsmodul

Vid val av solcellsmodul finns det flera olika märken och modeller med sina för-och nackdelar. I det här arbetet väljs en solcellsmodul av typen polykristallina, det är den vanligaste på marknaden och är en pålitlig variant. Den oberoende aktören *The Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC)* genomför årliga solcellstester där solcellstillverkarna rankas efter åtta olika kategorier som sedan summeras ihop från 0 till 100.

I deras senaste publicerade test från 2016 - 17 fick det kinesiska bolaget, JinkoSolar, 90 av 100 möjliga poäng, se Bilaga 1 för den fullständiga rapporten. Bolaget fick också maxpoäng i arbetsmiljö vilket värderas högt. Sammantaget väljs därför JinkoSolar ut som referensmodul i det här arbetet.

JinkoSolar är världens största tillverkare av solcellsmoduler och det finns många återförsäljare av märket i Sverige, vilket gör det till en passande referensmodul.

I det här arbetet valdes solcellsmodellen JK280PP-60-J4 ut från JinkoSolar, se Tabell 1 för databladet.

Tabell 1. Datablad över solcellsmodellen JK280PP-60-J4 från kinesiska JinkoSolar.

JK280PP-60-J4	Värde
Toppeffekt	280 W <sub>p</sub>
Dimensioner	1650 x 992 x 40 mm
Verkningsgrad	17,11%
Typ av solcell	Polykristallin

Vid montering av solceller finns det specifika krav för att förhindra skador på solcellsmodulerna och för att inte påverka den förväntade livslängden. Solcellsmodulerna ska placeras 24 mm ifrån varandra för att förhindra att solcellsmodulerna ska överhettas och ge en ökad degradering. De ska placeras minst 0,2 m från takfot ochnock, och även minst 1 m från taksidorna, det här motverkar att vinden ska slita sönder solcellsmodulerna (Nibe, 2016).

### 2.3 Soltimmar och solkarta

Solkarta är ett bra verktyg för att veta hur mycket solenergi som faktiskt träffar sin yta. Skillnaden mellan solenergin och soltimmarna är att soltimmarna visar enbart på den direkta instrålningen. Det visar inte på hur mycket faktisk energi man får. Solcellerna får sin energi från tre olika instrålningar.

- Direktstrålning
- Diffusstrålning
- Reflekterad strålning

Direkt instrålning är den instrålningen som kommer direkt från solen rakt in i solcellen.

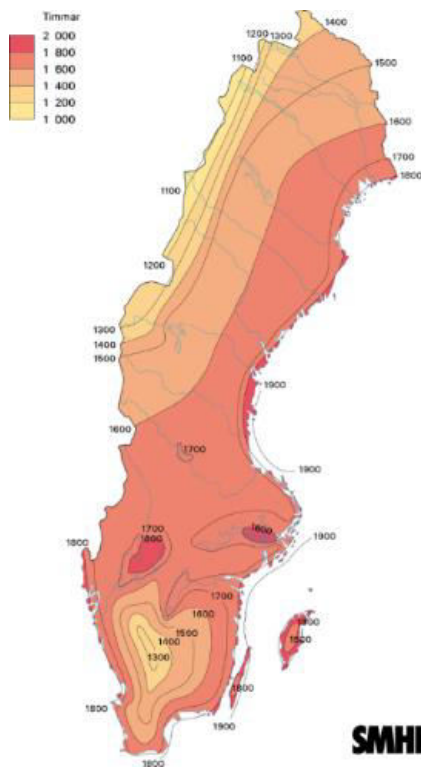
Diffus instrålning är den strålning som sprids i atmosfären, moln, vattenånga och partiklar som luftföroreningar, rök och dimma är några källor där den diffusa strålningen kan komma ifrån. I och med att Sverige är ett land med relativt lite direkt instrålning så står den diffusa strålningen för den största delen av strålningen som solcellerna kan omvandla till elektricitet.

Reflekterad strålning är strålningen som kommer reflekterad från omgivningen. Det är solljus som studsar fram genom exempelvis sjöar, snö och annat liknande. Den delen står för några procent av den globala instrålningen och ger inget stort värde till solcellerna.

Den totala solinstrålningen kallas för den globala instrålningen och är summan av den direkta, diffusa och reflekterande strålningen. Den globala instrålningen visar på den totala mängd energi som solceller kan ta upp. Direkta instrålningen ger ingen rättvis bild över hur mycket energi som solcellen kan ta upp utan visar bara på den energi som fås av den direkta instrålningen.

I Sverige finns det stora skillnader i elproduktionen från solceller beroende på placering. I de norra delarna är det färre timmar än i söder vilket medför en lägre produktion.

Figur 12 visar hur soltimmar förhåller sig över Sverige. Den produktion som solcellerna levererar kallas för systemutbytet och beräknas som den totala elproduktionen i kWh som en kW<sub>p</sub> kan producera, enheten är kWh/kW<sub>p</sub>. Ett normalt värde med en söderriktning och en lutning som är över 10 grader ger mellan 800 – 1100 kWh/kW<sub>p</sub> beroende på vart i Sverige solcellsmodulerna är placerade (Lindahl, Stoltz, & Oller-Westerberg, 2018).



Figur 12. Soltimmar över Sverige (Normal solskenstid för ett år, 2017).

## 2.4 Ekonomi

I Sverige har det införts olika bidrag för att främja investeringar i förnyelsebara energikällor. Dessa bidrag ska leda till att Sverige ska gå till ett fossil-fritt samhälle år 2040. I och med detta har det blivit lönsamt att investera i sina egna solceller. Det här gäller inte bara privatpersoner utan företag kan även ta del av det här och på så vis skynda på processen att bli fossilfria inom 20 år (Regeringen, 2016).

Det finns olika bidrag som man kan ta del av, det viktigaste när det gäller solceller är det statliga investeringsstödet.

Investeringsstödet är ett nysatsat stöd av regeringen för att främja nya investeringar i egenproducerad förnybar energi. Det här stödet ges till alla aktörer så som privatpersoner, företag och organisationer så länge det finns medel till det.

För företag gäller det att ansöka om investeringsstöden innan arbetet med installationen påbörjas, övriga sökanden kan söka det upp till 6 månader efter påbörjat arbete. Beslutet om hur mycket pengar som ges ut tas av regeringen och riksdagen. Det finns ett maximalt tak för hur mycket pengar som delas ut i form av investeringsstödet (Energimyndigheten, 2018).

- *Max 1 200 000 kr*
- *Max 37 000 kr/kW<sub>p</sub>*
- *Max 20% av den totala investeringskostnaden*

I och med populariteten kring solceller har investeringsstödet avsatta medel tagit slut och fyllts på genom åren, i det senaste budgetförslaget har förslag lagts till för att öka investeringsstödet för solceller med 300 miljoner kronor till 2020 (500 miljoner kronor mer till solcellsstödet i höständeringsbudgeten, 2019).

### *Elmarknaden*

Elmarknaden i Sverige är uppbyggd tillsammans med de nordiska länderna Norge, Finland och Danmark. Sedan 1990-talet har länderna använt sig av elbörsen Nord Pool. Elproducenterna är de aktörer som producerat elektriciteten och skickar ut sina producerade samt förväntade volymer på Nord Pool. Det pris som sätts på elen bestäms av elhandlarna genom att utbud och efterfrågan styr priset. I Sverige måste slutkunden välja ett elhandelsföretag inom landet, men valet mellan dessa är fritt (Konsumernternas Energimarknadsbyrå, 2019).

Den kostnad som slutkunden betalar består av följande.

- *Elcertifikat*
- *Spotpriset*
- *Energiskatt*
- *Överföringsavgift för elen*

### *Elcertifikat*

Elcertifikatsystemet är ett samarbete mellan Sverige och Norge där principen är att man ska få ett visst antal certifikat per producerad energi. Det här systemet har funnits i Sverige från 2003 men ska avvecklas år 2045.

Producenter av energi ska betala en summa för varje MWh energi som produceras med hjälp fossila bränslen, och producenter av förnyelsebar energi erhåller ett certifikat per producerad MWh av staten under maximalt 15 år. Dessa kan säljas på öppna marknaden för elcertifikat för ett visst pris, där utbud och efterfrågan styr priset.

Elleverantörer samt vissa elanvändare är enligt lag är skyldiga att köpa ett visst antal elcertifikat motsvarande en viss andel av sin elförsäljning eller användning. Genom detta har regeringarna i samarbetsländerna skapat en ny marknad som gör att regeringarna inte behöver betala ut stöd utan det sköts av producenterna och användarna själva.

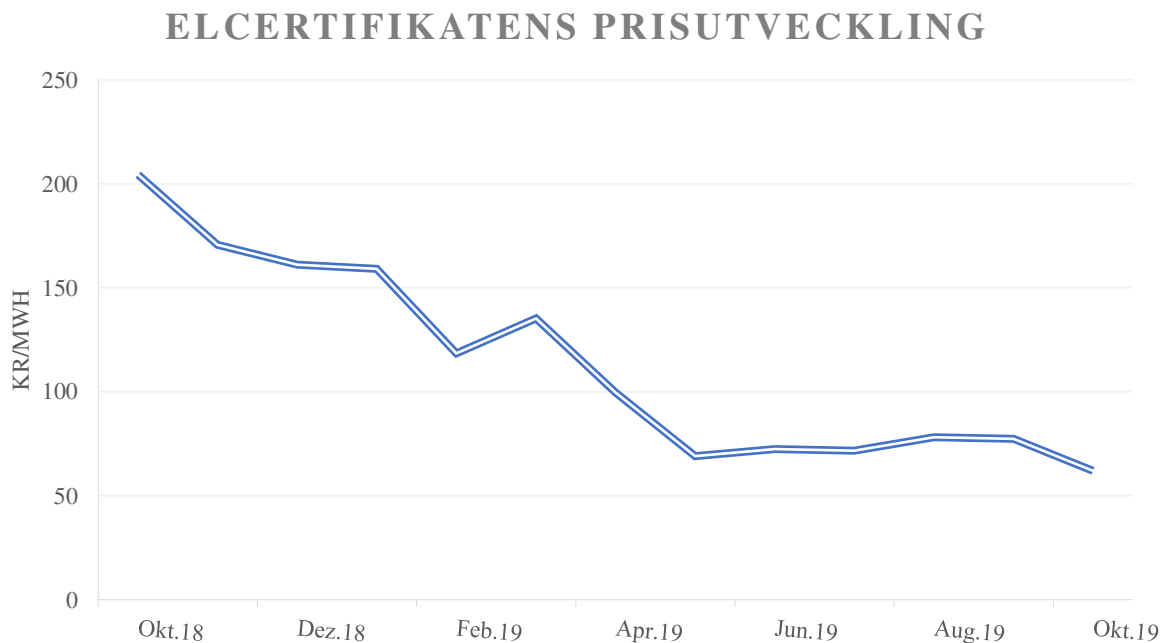
Alla producenter har inte rätt till elcertifikat utan det är endast producenter inom följande energikällor (Energimyndigheten, 2017).

- *Solenergi*
- *Vindkraft*
- *Vågkraft*
- *Geotermisk energi*
- *Vissa biobränslen*
- *Torv i kraftvärmeverk*



I elräkningarna finns kostnaden för elcertifikat medräknad. Priset beror på den elförbrukning och årstid det är, där vintrarna ger en högre kostnad än på sommaren. Det beror främst på att energianvändningen för uppvärmning ökar under vinterhalvåret. Priset på dessa varierar i och med utbud och efterfrågan men har de senaste tolv månaderna minskat i värde med över 70%. Priset på elcertifikat för oktober 2019 låg på 61,91 kr/MWh.

Elcertifikatpriserna är svåra att värdera och som Figur 13 visar har elcertifikatpriserna minskat kraftigt de senaste tolv månaderna, till stor del på grund av den kraftiga utbyggnaden av vindkraftverk i Sverige och Norge. Det har bidragit med en stor andel nya elcertifikat till marknaden som har ökat utbudet och sänkt priserna (Energimyndigheten, 2018).



Figur 13. Elcertifikatens prisutveckling det senaste året. Data mellan oktober 2018 och oktober 2019.

#### Spotpriset

Det elpris som Nord Pool sätter på sin elbörs kallas för spotpris. Det är ett rörligt pris som uppdateras timvis och bygger på den efterfrågan som finns. Spotpriset varierar dagligen och har det högsta priset under dagen när det är som flest elanvändare.

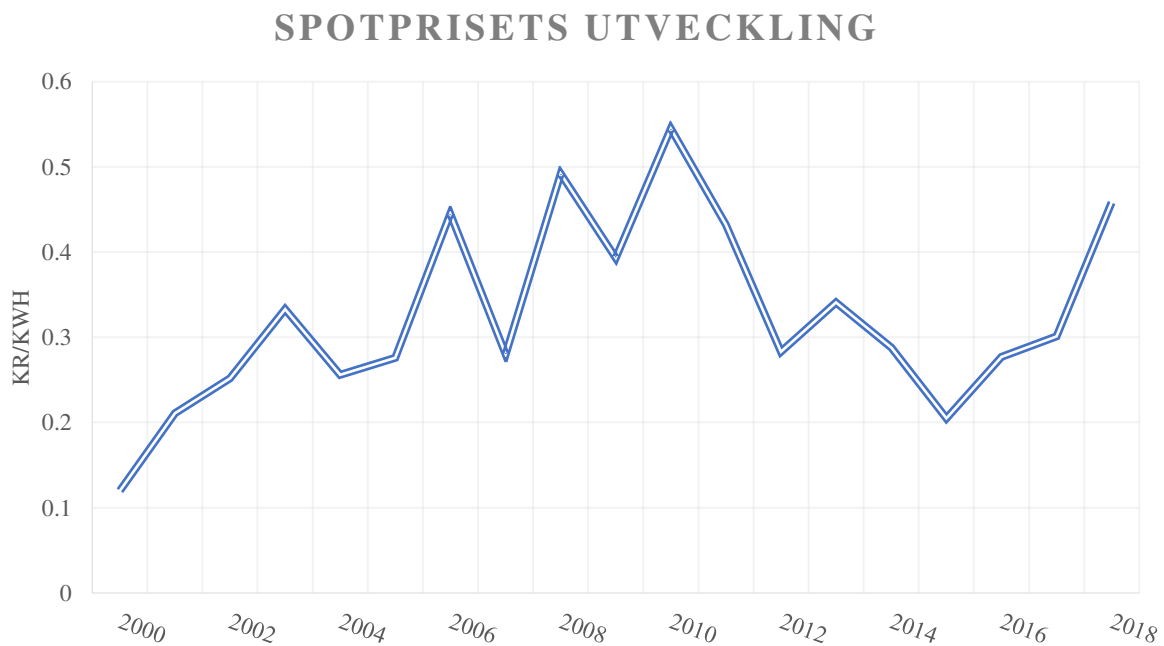
Spotpriset är normalt sett lägre på sommaren än på vintern, i och med att utbudet är som störst under sommarhalvåret. Vid klimatförändringar sker större rörelser i spotpriset på grund av den osäkerhet som uppstår, där ett torrare och varmare klimat ger en lägre energiproduktion.

I den svenska riksdagen genomfördes den så kallade Energiöverenskommelsen 2016 (Regeringen, 2016). Målen var att 2040 ska Sverige uppnå 100% förnyelsebar energiproduktion. Kärnkraften har fortfarande möjligheten att fortsätta drivas vidare genom sin hela förväntade livslängd (Regeringen, 2016). Nya kärnkraftverk har idag inte möjligheten att utvecklas på grund av den låga lönsamheten. Idag är det ett av Sveriges mest pålitliga

energikälla tillskillnad, då elproduktionen är reglerbar tillskillnad från andra energikällor som är mer påverkade av klimatet.

Ökad efterfrågan och den eventuella osäkerheten kring kärnkraftens framtid gör att spotpriserna skulle kunna öka kraftigt i framtiden. Vart fjärde år genomförs en uppföljning av elmarknaden och de målen som är uppsatta, i den första kontrollen gjordes bedömningen att förutsättningar att nå 100% förnyelsebar energiproduktion i Sverige 2040 (Regeringskansliet, 2019).

Spotprisets utveckling under de senaste 18 åren visas i Figur 14 nedan.



Figur 14. Spotprisutveckling mellan 2000 - 2018.

Spotpriserna styrs av vädret (och även politiskt), mycket vind ger hög produktion för vindkraftverken, vilket i sin tur leder till en lägre elpriskostnad. När utbudet blir högre än efterfrågan kommer priser att sjunka. Eftersom solcellsanläggningen kommer att producera majoriteten av sin elektricitet under sommarhalvåret så baseras spotpriset på priser mellan april – augusti.

Spotpriser för följande månader är (Månadspriser på elbörsen, 2019):

- April: 41,6 öre/kWh
- Maj: 37,4 öre/kWh
- Juni: 26 öre/kWh
- Juli: 37 öre/kWh
- Augusti: 39,7 öre/kWh

## Energiskatt

I det svenska elpriset är energiskatten nästan 50% av den totala kostnaden. Skatten på energi har kraftigt ökat de senaste 30 åren till stor del på grund av att regeringen vill minska elförbrukningen och främja energieffektivisering. Från den första januari 2019 ökades energiskatten med 2 öre/kWh från föregående år och är i dagsläget på 34,7 öre/kWh exklusive moms (Falu Energi & Vatten, 2019).

Det ska ske årliga höjningar av energiskatten från och med år 2020 för att minska påverkan av inflationen. Den nya skattesatsen ska fastställas i november 2019 men har i dagsläget inte bestämts (Konsumenternas Energimarknadsbyrå, 2019).

## Överföringsavgift på el

Elnätsföretagen är de företag som äger Sveriges elledningar och tar ut en avgift för överföringen av el till fastigheten. Kostnaden ska täcka både drift och underhåll av ledningarna för att kunna ge en säker och pålitlig överföring. Priset på överföringen är reglerad av Energimarknadsinspektionen (Ei) för att förhindra ohållbara priser (Nätavgifter, 2019).

Överföringsavgiften på el är i dagsläget 3,4 öre/kWh för effektabonnemang på 10 - 20 kV i Falu kommun (Falu Energi & Vatten, 2019).

## Moms

I Sverige betalas ingen skatt på den elektricitet som produceras i solcellsanläggningen för egen användning. Men det finns regler på hur stor anläggningen får vara innan det ska betalas skatt på den elektricitet som produceras. Kravet är att solcellsanläggningen maximalt har en topp effekt på 255 kW<sub>p</sub>, därför är det vanligt att flera företag väljer att maximera sin anläggning upp till 255 kW<sub>p</sub> (Energimyndigheten, 2019).

## 2.5 Lönsamhetsmetoder

Lönsamheten är en viktig aspekt vad gäller solceller och dess framtid. Det finns olika metoder för att mäta lönsamheten i en investering beroende på olika faktorer.

### Paybackmetoden

Den kanske vanligaste och lättaste metoden är paybackmetoden eller payoffmetoden, kallas även för återbetalningsmetoden på svenska. Principen är enkel för metoden och beskriver hur lång tid det tar innan grundinvesteringen har återbetalat sig. Genom att ta det årliga inbetalningsöverskottet (a) och dividera det med grundinvesteringskostnaden (G) fås den återbetalningstid investeringen har och ges av Formel 2 (Bäckström, Eklund, & Soleimani-Mohseni, 2014).

$$T = \frac{a}{G} \quad (2)$$

Nackdelen med paybackmetoden är att den inte tar hänsyn till några räntor. I Formel 2 används konstanta inbetalningsöverskott men om det skulle vara varierande från år till år används Formel 3.

$$T = G - a_1 - a_2 - a_3 \dots a_n \quad (3)$$

Vid omskrivning ger det Formel 4 nedan.

$$T = G - a_n \quad (4)$$

Där  $a_n$  är inbetalningsöverskottet för ett visst år, det skiljer sig från år till år beroende på den solinstrålning som sker, om det är smuts på solcellsmodulerna och till vilken grad solcellsmodulen har minskat i verkningsgrad.

### Nettonuvärdesmetoden

Nuvärdesmetoden är en metod som jämför investeringens avkastning mot alternativa investeringar, och kan enkelt avgöra vilken som är den mest lönsamma. Inflationen ökar i snitt med 1,5 – 2% årligen och gör att penningvärdet minskar för varje år, det medför ett investeringskrav från företaget för att kunna skydda sin investering. Större investeringar kräver externt kapital i form av banklån till en viss ränta och riskpremie. Vid bedömning av värdet i en krona i framtiden sätts en viss typ av kalkylränta ( $r$ ), valet av kalkylräntan ska täcka både banklånet och det avkastningskrav som krävs.

Nuvärdet (NV) ges av Formel 5 med intäkterna minus kostnaderna ( $C_n$ ) för ett givet år ( $n$ ) (Bäckström, Eklund, & Soleimani-Mohseni, 2014).

$$NV = \frac{C_n}{(1+r)^n} \quad (5)$$

Beräkning av nuvärdet kan ske för olika saker, intäkter och kostnader eller energin som producerats, och dessa värden diskonteras till dagens värde. Investeringen är lönsam så länge det sammanlagda nuvärdet är större än investeringskostnaden. Investeringen anses vara lönsam så länge nettonuvärdet (NNV) är över noll och är differensen mellan det summerade nuvärdet och grundinvesteringen ( $G$ ) enligt Formel 6.

$$NNV = \sum_n^t \frac{C_n}{(1+r)^n} - G \quad (6)$$

### Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden har likheter med nuvärdesmetoden där nettonuvärdet används för att beräkna annuiteten. Metoden används för att räkna om alla kostnader och intäkter till en årlig vinst, en lönsam investering har ett positivt värde på annuiteten.

För att beräkna annuiteten krävs annuitetsfaktorn ( $f_A$ ), den beräknas enligt Formel 7 nedan (Bäckström, Eklund, & Soleimani-Mohseni, 2014).

$$f_A = \frac{r}{1-(1+r)^{-n}} \quad (7)$$

Annuitetsfaktorn multiplicerat med nettonuvärdet från Formel 6 ger annuiteten ( $A$ ) med Formel 8.

$$A = f_A \times NNV \quad (8)$$

Investeringsens avkastning ROI (*Return on investment*) eller annuitetskvoten är ett mått på den lönsamhet som investeringen har. Annuitetskvoten mäter investerings avkastning utöver kalkylräntan, det är även ett mått på räntabiliteten. Genom att dividera annuiteten med grundinvesteringen kan annuitetskvoten beräknas med Formel 9.

$$ROI = \frac{A}{G} \quad (9)$$

### Internräntemetoden

Internräntemetoden är en metod för att räkna fram vid vilken kalkylränta investeringen går jämt ut.

Så länge kalkylräntan är mindre än internräntan är investeringen lönsam, blir dessa två räntor lika så är investeringen varken lönsam eller förlustgivande. Internräntemetoden kan vara svår att applicera då flera olika faktorer spelar roll, som grundinvesteringen och det årliga inbetalningsöverskottet. Vid variabelt inbetalningsöverskott kan det vara svårt att räkna ut internräntan för hand men med hjälp av kalkyleringsprogram som exempelvis Microsoft Excel löser programmet ut det med hjälp av funktionen *IR*.

### Levelized Cost of Electricity

Levelized Cost of Electricity (LCOE) är en lönsamhetsmetod som beskriver den totala kostnaden för solcellerna i ett pris om kr/kWh. Solcellernas kostnad baseras på den livslängd de har och den totala energin de kan producera. LCOE ger en rättvis bild av den totala kostnaden då det är många parametrar som användas, det är en avancerad metod och till skillnad från paybackmetoden är den mer noggrann.

LCOE är en internationell standard som gör det möjligt att jämföra olika projekt, utomlands och även i Sverige. De kostnader som finns före och under investeringens livstid, kallas även totala livscykelkostnader, divideras med den totala energiproduktionen och ger värdet på LCOE enligt Formel 10 (Stridh & Larsson, Investeringskalkyl för solceller, 2017).

$$LCOE = \frac{\text{Totala livscykelkostnader}}{\text{Totala energiproduktionen}} \quad (10)$$

De totala livscykelkostnaderna kan skrivas om som differensen mellan nuvärdet för de årliga kostnaderna och det eventuella restvärdet, adderat med investeringskostnaden. Det här divideras sedan med summan av nuvärdet för den energin som producerats av anläggningen. Formel 11 visar sambandet över de ingående parametrarna i LCOE.

$$LCOE = \frac{\text{Investeringskostnad} + \sum_{n=0}^t \left( \frac{\text{ÅrligKostnad}_n}{(1+r)^n} \right) - \frac{\text{Restvärde}}{(1+r)^t}}{\sum_{n=0}^t \left( \frac{\text{Energi}_n}{(1+r)^n} \right)} \quad (11)$$

I investeringskostnaderna tillkommer en fast kostnad för växelriktarna år 15.

## 2.6 Simuleringsprogram

Den data som krävs för arbetet har blivit framställt med hjälp av två olika simuleringsprogram. Vid simulering av solinstrålning och den förväntade elproduktionen från

solcellsanläggningarna används det öppna programmet *PVGIS* och för att dimensionera växelriktarna används *Sunny Web Design*.

### *PVGIS*

Simuleringar över det teoretiska utbytet beräknas med hjälp av det webbaserade simuleringsprogrammet *Photovoltaic Geographical Information System*, *PVGIS*. Det är skapat av The Joint Research Center från den Europeiska kommissionen med målet att tillhandahålla data och beräkningar över solinstrålning. I över tio år har programmet utvecklats och genomgått stora förändringar sedan sin start. *PVGIS* kan beräkna den optimala lutningen för de givna koordinaterna tillsammans med den optimala lutningen alternativt takets lutning.

*PVGIS* är öppet för alla att använda via webben och det finns i dagsläget tre olika databaser att använda sig av (Data sources and calculation methods, u.d.).

- *ERA5*
- *SARAH*
- *COSMO*

Databaserna är uppbyggda på olika sätt och metoderna skiljer sig mellan dessa.

*ERA5* innehåller en uppdaterad datamängd som gjorts tillgänglig av European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF). I dagsläget finns endast data mellan åren 2010 och 2016.

*SARAH* är uppbyggt av en algoritm utvecklad av CM SAF. Den här metoden täckte enbart Asien men har utökat sin databas med Europa, Afrika och delar av Sydamerika. Data finns från år 2005 till och med 2016.

*COSMO* använder data från COSMO-REA's regionala reanalys som täcker Europa och delar av Afrika. Den tidsperiod som databasen täcker är mellan åren 2005 och 2016.

### *Sunny Design Web*

Vid dimensionering av växelriktarna är det viktigt att placera lika många solcellsmoduler per sträng (se sidan 7). Ett av världens största företag inom växelriktare, det tyska företaget SMA Solar Technology, har ett webbaserat simuleringsprogram som heter *Sunny Design Web*. Programmet låter användaren med hjälp av givna indata få en växelriktare dimensionerad till rätt storlek.

*Sunny Design Web* bygger upp en virtuell solcellsanläggning efter användarens indata. I programmet kan användaren välja solcellsmodell och typ från olika företag som sedan används i den virtuella solcellsanläggningen. Efter simuleringen av anläggningen kommer det upp en automatiskt vald växelriktare från SMA, eller manuellt vald, beroende på vilka preferenser användaren har.

Vid automatiskt vald växelriktare har programmet dimensionerat solcellsmodulerna efter växelriktaren i de olika strängarna med rätt mängd på varje. En underdimensionering sker men kan ändras efteråt, *Sunny Design Web* räknar även ut vilka kablar som kan tänkas användas och de förluster som uppstår i kablarna.

När simuleringen är klar kan användaren välja att ladda ner datablad över systemet för framtida arbeten.

### 3. Metod

Det här kapitlet beskriver de tillvägagångssätt som använts för att kunna bedöma storleken på solcellsanläggningen för Främbyverket och den förväntade lönsamheten.

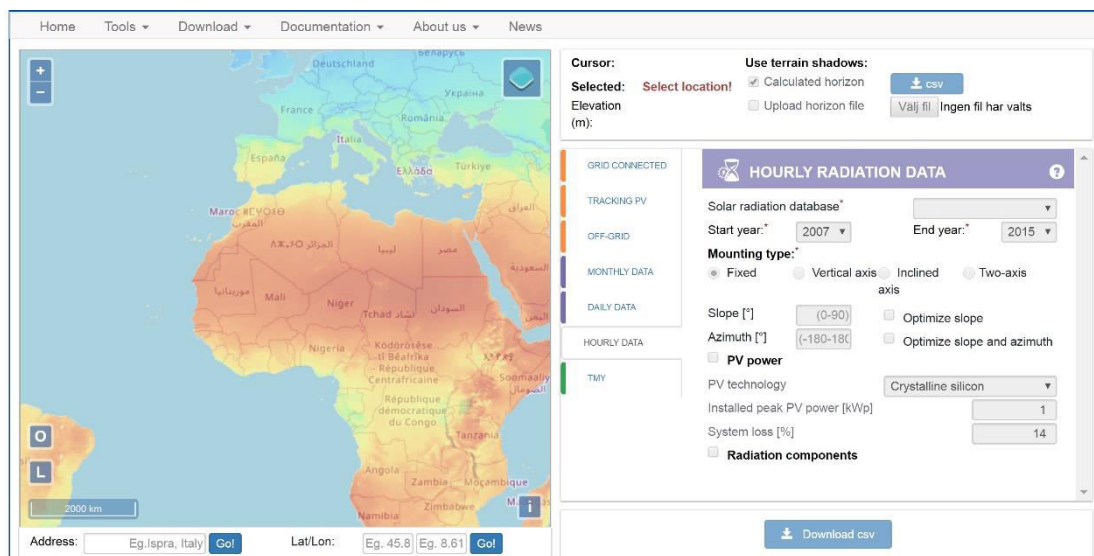
#### 3.1 Simulering

Utförandet och simuleringar i det här arbetet har genomförts med hjälp av PVGIS (se sidan 23).

För varje takyta görs det en simulering med alla tre databaser för att kunna få fram ett verkligt värde över solinstrålningen. Sedan dras ett medelvärde ut för varje timme över de tre senaste åren. I simuleringarna finns det ett antal indata som krävs för att genomföra varje simulering.

Det första som måste göras i PVGIS är att orientera sig på karta till den valda plats där simuleringen ska ske, det kan genomföras genom att scrolla över karta eller ange koordinaterna, longitude och latitude.

Se Figur 15 för en fullständig bild över PVGIS.



Figur 15. Start sida över PVGIS med de olika indata som krävs för att få ut den potentiella elproduktionen.

Indata som krävs av programmet är följande:

- *Installed peak PV power [kWp]*
- *Azimuth [°]*

- *Slope* [°]
- *Mounting type*
- *PV technology*
- *System loss* [%]

*System loss* (systemförluster) är förinställda till 14% av PVGIS men kan ändras av användare, systemförlusterna täcker alla förluster förknippade med solcellsanläggningen.

Ett genomgående arbete med verkliga och värden från PVGIS har kommit fram till att 6% systemförluster ger det mest realistiska värdet. Det här värdet är baserat på olika tester samt system och visar på att det skiljer sig 0,89% från det verkliga värdet (Stridh, o.a., 2017).

*Installed peak PV power* (toppeffekt), är den effekt som är den teoretiskt högsta effekten en solcell kan ha. Det värdet kommer från tillverkaren och sker under så kallad Standard Test Conditions (STC).

*Slope* (lutning) är den lutning som solcellsmodulerna kommer att placera med. Det varierar om man använder sig av ett monteringsystem eller placerar solcellsmodulerna längst med takets lutning. I det här arbetet ska placeringen ske längs med taket. En mer komplicerad monteringsstyp ger en högre investeringskostnad.

Orienteringen eller *Azimuth* ska för att uppnå maximal produktion från solcellmodulerna vara placerad rakt åt söder. Den varierar för varje takyta och kommer inte förbli densamma för varje fastighet.

*Mounting type* för Främbyverket väljs till fast då det ska monteras fast på plats. En rörlig montering leder till högre omkostnader och är komplicerad metod som ger en högre underhållskostnad. Det skulle dock ge en högre effekt, men då det ska vara ett underhållsfritt system så räknas det inte med.

*PV technology* sätts till *Crystalline* (Kristallin) då det är den vanligaste på marknaden och den typen av solcellsmodul som valts till systemet (*se sidan 14*). De andra typerna har en högre kostnad och erbjuds inte av de flesta återförsäljarna på den svenska marknaden och väljs därför inte.

När all indata är klar påbörjas simuleringarna genom att ändra *Azimuth* och *Installed peak PV power* för varje fastighet och dess olika orienteringar. Totalt genomförs tre simuleringar med varje databas, SARAH, ERA5 och COSMO.

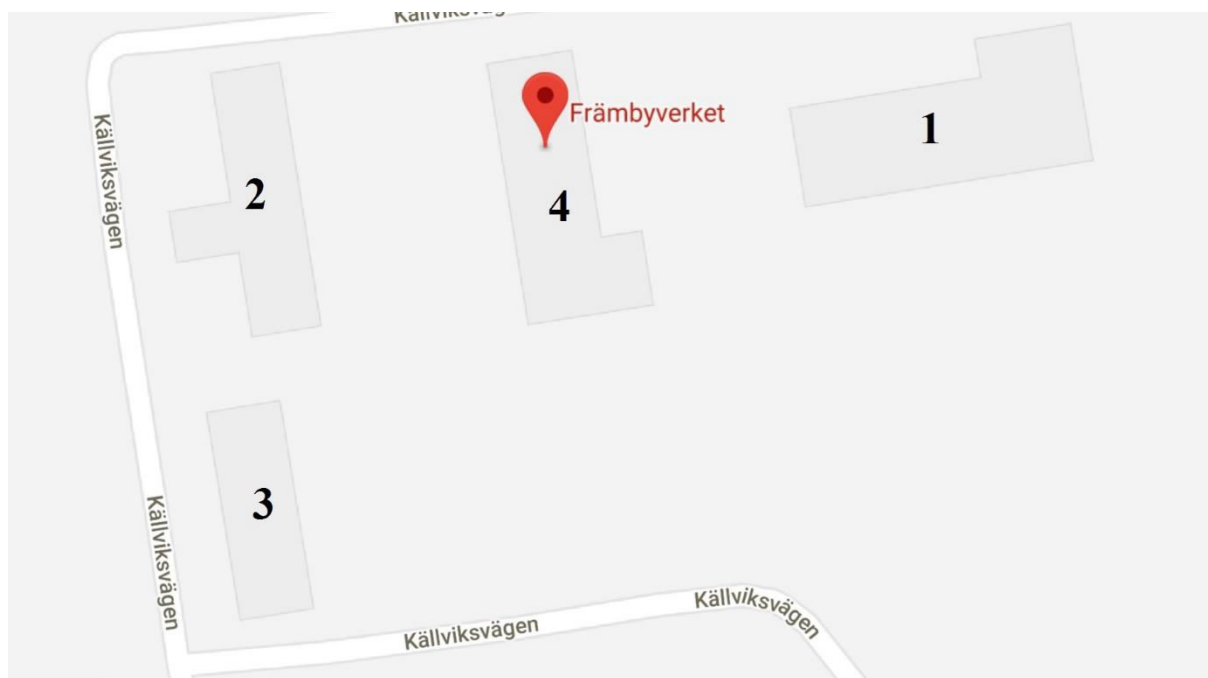
Simuleringarna sker från 2013 – 2016 för SARAH och ERA5 men endast från 2013 - 2015 för COSMO då databasen inte innehåller 2016. Efter varje enskild simulering sammanställs allt i en pivottabell för att sedan ta medelvärde över årets alla månader, totalt sker 24 simuleringar.

### 3.2 Främbyverkets fastigheter

Främbyverket har totalt fyra fastigheter med olika förutsättningar. Storlek och orientering har beräknats med kartbilder och lutningen på fastigheternas har antagits med hjälp av personal på FEV.



Figur 16 nedan visar en kartbild över de olika fastigheterna numrerade från 1 – 4. Anledningen till att fokus ligger på takytorna är att dessa är outnyttjade och inte kräver att markytor används. Dessa ytor kan användas till annat som är av större betydelse. En del av *Fastighet 1* är någorlunda riktad mot söder, övriga är mer orienterade mot väst och öst. Det gör att en framtida solcellsanläggning inte kommer ha möjlighet att uppnå maximal produktion.



Figur 16. Kartbild över Främbyverkets fastigheter, utmarkerade från 1 - 4.

Genom att använda sig av flygfoton och analys på plats fås en tydligare bild över hur olika skuggningsobjekt ligger. Nedan visar Figur 17 ett flygfoto över Främbyverket från 2016, där syns de olika objekten som skymmer solen. Det finns inga träd eller liknande som orsakar någon skuggning, vilket gör att reningsverket är placerat bra med avseende på solceller.



Figur 17. Flygbild över Främbyverket med de olika fastigheterna markerade.

Storlek och orientering för varje fastighet har tagits fram med hjälp av kartor, varje fastighet har två olika taktytor med en numrering för varje yta. Dessa skiljer sig åt i både orientering och area.

Totalarean för fastigheterna är stor och gör det möjligt för en större solcellsanläggning på varje takyta. Som Tabell 2 visar är endast *Fastighet 1.1* riktad mot söder och *Fastighet 1.2* riktad mot nordväst. Övriga har en orientering mot väst eller öst.

Tabell 2. Data över de olika takytornas orientering, totalarea och lutning.

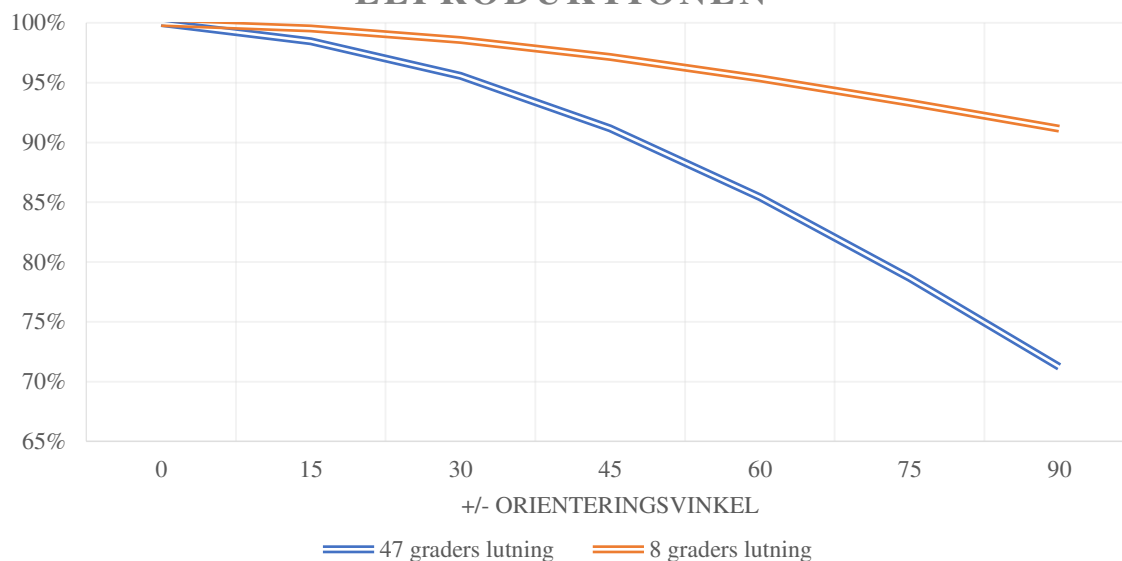
Plats	Orientering [°]	Totalarea [m <sup>2</sup> ]	Lutning [°]
Fastighet 1,1	-11,4	378,7	8
Fastighet 1,2	170,4	476,9	8
Fastighet 2,1	80	321,3	8
Fastighet 2,2	-98	250,9	8
Fastighet 3,1	80	116,0	8
Fastighet 3,2	80	318,7	8
Fastighet 4,1	80	301,0	8
Fastighet 4,2	-98	327,3	8

Alla fastigheter kommer att tappa en del av produktionen som försvinner i förlust på grund av att orienteringen inte är rakt riktad mot söder.

Med hjälp av PVIGS kan solinstrålningen för fastigheterna jämföras mot den optimala.

Som Figur 18 visar tappar den optimala lutningen nästan 30% av sin produktion i en orientering på +/- 90 grader och takets lutning på 8 grader förlorar enbart 10%.

## ORIENTERINGSVINKELNS PÅVERKAN PÅ ELPRODUKTIONEN



Figur 18. Produktionsminskning för 47 och 8 graders modullutning vid varierande orientering. Beräknad med PVGIS för Främbyverket.

Den optimala lutningen ska endast användas när det går att få en söderriktning, annars blir kostnaderna för stora för att göra det lönsamt. Med solcellsmodulerna placerade längs med takets lutning försvinner en del av produktionen men inte i lika stor grad som för en högre lutning.

I det här arbetet placeras solcellsmodulerna längs med takets lutning för att minska på kostnaderna och istället maximera takytorna.

### Skuggningsobjekt och antal solcellsmoduler

Tabell 3 nedan visar solhöjden i Falun mätt från det horisontella planet under månadernas första dag.

Tabell 3. Solhöjden för Falun under den första dagen i varje månad.

Månad	Instrålning [°]
Januari	7
Februari	12
Mars	21,5
April	34,5
Maj	45
Juni	52,5
Juli	53
Augusti	47
September	37,5
Oktober	26
November	14
December	8

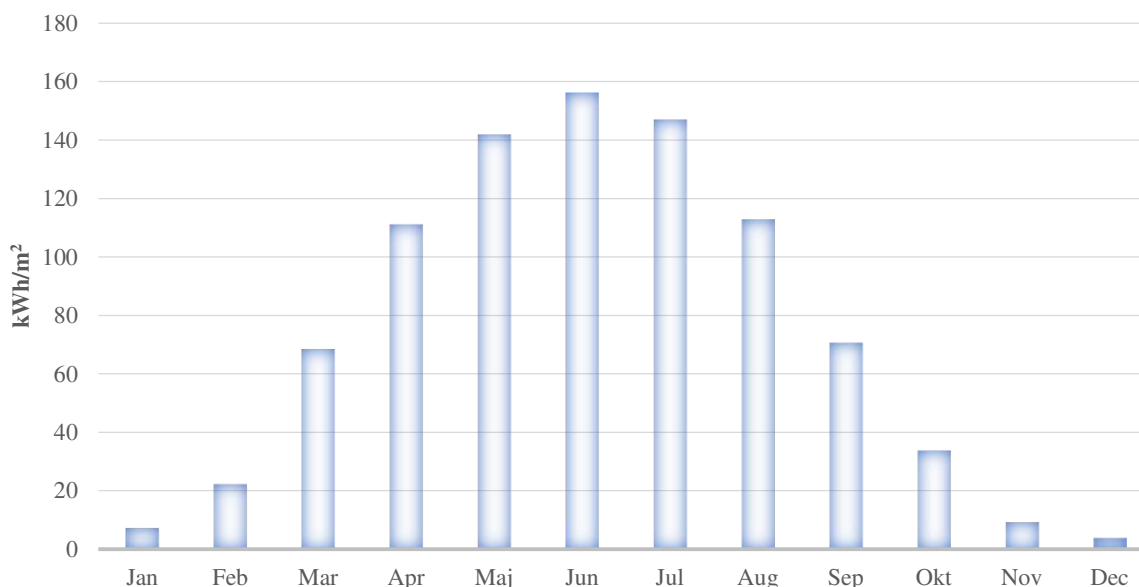
Med hjälp av solhöjden kan beräkningar för skuggningar från olika objekt räknas ut. Solhöjden representerar den höjd solen når som högst under den första dagen för varje månad. Vid placering av solcellsmoduler som följer takets lutning uppstår inte skuggningar från andra solcellsmoduler. Det finns givna tumregler som anger hur långt ifrån ett objekt solcellsmodulerna ska vara placerade för att undvika skuggning vid angiven solhöjd (Bengtsson, Holm, Larsson, & Karlsson, 2017).

- Placerad minst två gånger höjden i vinkel om +/- 30 grader vid en solhöjd om 27 grader.
- Placerad minst tre gånger höjden i vinkel om +/- 30 grader vid en solhöjd om 18 grader.
- Placerad minst fyra gånger höjden i vinkel om +/- 30 grader vid en solhöjd om 14 grader.

Valet av solhöjd beror på den skuggning som kan tolereras. Genom att kolla på hur mycket solinstrålning som sker för varje månad kan en solhöjd väljas.

Figur 19 nedan visar hur den större delen av instrålningen sker från mars till oktober. Solhöjden väljs därför till 18 grader, då den täcker hela mars och oktober. Resterande månader har inte tillräckligt hög solinstrålning för att det ska vara lönsamt. Om valet var att förhindra skuggning året om skulle en stor del av den potentiella solcellsarean och elproduktionen försvinna.

## HORISONTELLA SOLINSTRÅLNINGEN



Figur 19. Solinstrålningen för Främbyverket i ett horisontellt plan. Simulering via PVGIS med ett medelvärde över de tre olika modellerna, ERA5, SARAH och COSMO.

Solcellsmodulerna ska vara placerade minst tre gånger höjden ifrån objektet som kan orsaka skugga.

De flesta skuggningsobjekten som ger skugga och tar upp en del av arean kommer från ventilationsboxar, dessa har olika areor och höjd. I Bilaga 2 finns fullständig tabell över de skuggningsobjekt som förekommer på takytorna.

Den totala ytan för solcellsmoduler har minskat efter beräkningar av skuggningsobjekt och den area som försvinner på grund av skuggning. I Tabell 4 anges skillnaden i totalarea för fastigheterna och arean som avsedd för solcellsmodulerna.

Tabell 4. Takytornas totalarea och den totala arean för solcellsmoduler.

Plats	Totalarea [m <sup>2</sup> ]	Totalarea för solcellsmoduler [m <sup>2</sup> ]
Fastighet 1,1	476,9	280,4
Fastighet 1,2	378,7	285,3
Fastighet 2,1	321,3	241,8
Fastighet 2,2	250,9	207,3
Fastighet 3,1	116,0	116,0
Fastighet 3,2	318,7	86,2
Fastighet 4,1	301,0	221,4
Fastighet 4,2	367,5	221,4

Totalarean för samtliga fastigheter är 2530 m<sup>2</sup>, efter beräkning av platser som är lämpade för solcellsmoduler försvinner nästan 35% av totalarean och kvar är 1660 m<sup>2</sup> som kan användas till en solcellsanläggning.

### Dimensionering av växelriktare

Dimensioneringen av växelriktaren genomförs med det webbaserade programmet *Sunny Design Web* (se sidan 23). Totalt genomförs en simulering per fastighet och modell. 20

I programmet väljs den solcellsmodell ut som ska användas och det antal som finns på varje takyta. Med hjälp av följande indata kan programmet simulera fram en dimensionerad växelriktare automatiskt eller manuellt. Solcellsmodulerna blir dimensionerade till liknande storlek på varje sträng och en underdimensionering sker för att undvika höga kostnader.

### 3.3 Kostnader och intäkter

Lönsamheten hos en solcellsanläggning är till största del beroende på elpriset och dess utveckling. I det här delkapitlet beräknas den förväntade lönsamheten för solcellsanläggningen.

#### Elpriser

Det insparade kapitalet är direkt beroende av vad elpriset är och kommer vara i framtiden. Det elpriset är uppbyggt av spotpriset, överföringsavgiften på elen och elskatten. Dessa tre faktorer ändras hela tiden, framförallt spotpriset då det sätts nytt pris timvis. Priset som används i lönsamhetsberäkningarna är medelpriset över april – augusti 2019 (se sidan 20). Medelpriset för följande månader är 36,34 öre/kWh.

I kalkylen används följande värden för att beräkna lönsamheten (se Ekonomi).

*Spotpris:* 36,34 öre/kWh

*Energiskatt på el:* 34,7 öre/kWh

*Överföringsavgift på el:* 3,4 öre/kWh

*Totalt:* 74,44 öre/kWh

#### Investeringskostnader

Investeringskostnaden för en komplett solcellsanläggning är olika beroende leverantörer och storlek på systemet. När det gäller solcellsanläggningar anges investeringskostnaden vanligtvis i kr/kW<sub>p</sub>, där större system får ett lägre pris i kr/kW<sub>p</sub>.

Falu Energi & Vatten har nyligen genomfört en större upphandling på en solcellsanläggning över 200 kW<sub>p</sub>. Priserna i det här arbetet utgår ifrån dessa priser i alla beräkningar.

Investeringskostnaden för de olika modellerna inklusive allt arbete och material:

- *Modell 1:* 9 500 kr/kW<sub>p</sub>
- *Modell 2:* 10 000 kr/kW<sub>p</sub>

Skillnaden i priser beror på att *Modell 2* kräver fler växelriktare och täcker fler takytor. Det gör att arbetskostnaderna kommer öka tillsammans med en högre investering för växelriktarna.

Som det står beskrivet (se Solcellens komponenter) så har växelriktarna en förväntad livslängd på 15 år och kräver ett byte under solcellsmodulernas livslängd. Det här kommer

öka investeringskostnaden ytterligare med en fast kostnad efter 15 år. Exempelpriser för växelriktarna (Nordh Energy Solar AB, u.d.):

- *SMA Sunny Tripower Core1 (50kW) – 55 600 kr*
- *STP 20000TL-30 (20kW) – 28 800 kr*
- *STP10.0-3AV-40 (10kW) – 22 000 kr*
- *STP8.0-3AV-40 (8kW) – 19 600 kr*

En tydlig bild av priset är att priset per kilowatt är lägre för en större växelriktare, mer än dubbelt så låg kostnad mot 8 kW växelriktaren. Installationskostnaden för växelriktaren varierar men bestäms av den tid det tar för en behörig elektriker att installera den.

Schablonpriser för elektriker ligger på cirka 500 kr/h (Offerta, u.d.).

I det här arbetet sätts installationskostnaden till 10 000kr för *Modell 1* och 15 000kr för *Modell 2*, cirka 20h och 30h för installationen av växelriktarna.

Genom att räkna ihop kostnaden per kilowatt plus installationskostnaden så kan det totala priset per kilowatt bestämmas för båda modellerna genom att dividera investeringskostnaden med effekten.

Totalkostnaden för installation och växelriktarna för varje modell:

- *Modell 1:  $10000 + (3 \times 55600) = 176\,800$  kr*
- *Modell 2:  $15000 + (3 \times 55600) + (1 \times 28800) + (1 \times 22000) + (1 \times 19600) = 252\,200$  kr*
  
- *Modell 1:  $176800 / 175,56 = 1000$  kr/kW<sub>p</sub>*
- *Modell 2:  $252200 / 209,7 = 1200$  kr/kW<sub>p</sub>*

Skillnaden i priset per kilowatt är 200 kr men totalpriset skiljer sig med över 75 000kr.

*Investeringskostnad Modell 1: 9 500 kr/kW<sub>p</sub>*

*Investeringskostnad Modell 2: 10 000 kr/kW<sub>p</sub>*

*Ny växelriktare Modell 1: 1 000 kr/kW<sub>p</sub>*

*Ny växelriktare Modell 2: 1 200 kr/kW<sub>p</sub>*

### *Intäkter och årliga kostnader*

Solcellsanläggningar är vanligtvis underhållsfria om inga större problem skulle inträffa. För att kunna erhålla elcertifikat tillkommer det en årlig kostnad om 500 kr/år. Denna kostnad tillkommer endast om all elektricitet skulle användas av reningsverket och inte gå ut på elnätet. Kostnaden är för ett speciellt EESC-konto som behövs för hantering av elcertifikat (Energimyndigheten - Cesar, u.d.).

Den intäkt som sker från solcellsanläggningen är endast från eventuella elcertifikat. Det pris på elcertifikat som används i det här arbetet är 6,2 öre/kWh från den senaste tidpunkten oktober 2019 (*se sidan 17*).

Sammanställning av dem olika kostnaderna och intäkterna för det här arbetet.

*Elcertifikat: 6,2 öre/kWh*

*Årlig kostnad: 500 kr/år*

### 3.4 Lönsamhetsberäkning

I det här arbetet används fem olika lönsamhetsmetoder för att beräkna den eventuella lönsamheten hos solcellsanläggningen. Beräkningarna med de olika metoderna beskrivs i delkapitlet nedan.

#### Återbetalningstid med paybackmetoden

Solcellsanläggning får olika intäkter från år till år, det beror på den elproduktion som sker det året. I och med antagandet om en degradering på 0,3% per år för solcellsanläggningen, så kommer alla intäkter att minska årligen. Med hjälp av Formel 1 kan degraderingen beräknas för *Modell 1* och *Modell 2*.

Elcertifikaten gäller endast 15 år och den intäkten försvinner sedan. Genom sammansättning av Formel 1 fås Formel 12 för besparingen som sker till användningen av egenanvänd elektricitet och Formel 13 för elcertifikaten.

$$\text{EgenanvändEl}_{m,n} = \text{Elpris} \times \text{Energi}_{m,n} \quad (12)$$

$$\text{Elcertifikat}_{m,n} = \text{ElcertifikatVärde}_{m,n} \times \text{Energi}_{m,n} \quad (13)$$

Summerat över hela livslängden för solcellsanläggningen fås två nya formler, Formel 14 och Formel 15.

$$\text{EgenanvändEl}_m = \sum_{n=0}^{30} \text{Elpris} \times \text{Energi}_{m,n} \quad (14)$$

$$\text{Elcertifikat}_m = \sum_{n=1}^{15} \text{ElcertifikatVärde}_{m,n} \times \text{Energi}_{m,n} \quad (15)$$

I paybackmetoden blir det totalt fyra olika grundinvesteringskostnader, *Modell 1* och *Modell 2* har skilda priser med eller utan investeringsstöd, där investeringsstödet representeras av (s). Formel 16 nedan används vid uträkning av grundinvesteringen (G).

$$G_{s,m} = \text{Investeringskostnad}_{s,m} + \text{NyVäxelrikare}_m \quad (16)$$

Inbetalningsöverskottet enligt Formel 4 och sammansättning med Formel 16, ger Formel 17.

$$a_{m,n} = (\text{EgenanvändEl}_{m,n} + \text{Elcertifikat}_{m,n}) - \text{ÅrligKostnad} \quad (17)$$

Payback-tiden beräknas enligt Formel 2 och Formel 17 för dem två olika modellerna enligt Formel 18 nedan.

$$T_{s,m} = \frac{a_{m,n}}{G_{s,m}} \quad (18)$$

#### Nuvärdesmetoden

I det här arbetet sätts kalkylräntan (r) till 5%, vilket är vad FEV normalt använder som krav vid investeringar.

Vid beräkning av nuvärdet (NV) krävs det att alla ingående faktorer räknas om till dagens värde med den givna kalkylräntan. Investeringskostnaden skiljer sig mellan de två olika modellerna och betecknas (m), med eller utan investeringsstöd betecknas (s) och det år som beräknas (n).



Med användning av Formel 5 och summerat över 15 år kan nuvärdet för elcertifikaten beräknas för *Modell 1* och *Modell 2* med Formel 19 nedan.

$$NV_{elcertifikat,m} = \sum_{n=1}^{15} \frac{Elcertifikat_{m,n}}{(1+r)^n} \quad (19)$$

Den årliga kostnaden är densamma för bägge modellerna och beräkning av nuvärdet för den årliga kostnaden genomförs med Formel 5 summerat över 30 år. Nuvärdet för den årliga kostnaden ges av Formel 20.

$$NV_{\text{årligkostnad}} = \sum_{n=1}^{30} \frac{\text{ÅrligKostnad}_n}{(1+r)^n} \quad (20)$$

Nuvärdet för besparingen av egenanvänd elektricitet ges av sammansättning med Formel 5 och Formel 12, Formel 21 nedan beskriver sambandet.

$$NV_{egenanvändel,m} = \sum_{n=1}^{30} \frac{EgenanvändEl_{m,n}}{(1+r)^n} \quad (21)$$

Den investeringskostnad som tillkommer efter 15 år för en ny växelriktare diskonteras till dagens penningvärde enligt Formel 22.

$$NV_{nyväxelriktare,m} = \frac{NyVäxelriktare_m}{(1+r)^{15}} \quad (22)$$

Sammansättning av nuvärdet för de ingående parametrarna summeras ihop med investeringskostnaden till Formel 23.

$$NV_{s,m} = (NV_{elcertifikat,m} + NV_{egenanvändel,m}) - (Investeringskostnad_{s,m} + NV_{\text{årligkostnad},m} + NV_{nyväxelriktare,m}) \quad (23)$$

Nettonuvärdet beräknas med Formel 6 tillsammans med Formel 23 och Formel 16, nettonuvärdet för de ingående parametrarna ges av Formel 24.

$$NNV_{s,m} = NV_{s,m} - G_{s,m} \quad (24)$$

### Annuitetsmetoden

Innan beräkning av annuiteten behövs annuitetsfaktorn, med hjälp av Formel 7 kan annuitetsfaktorn med en kalkylränta på 5% beräknas.

Annuiteten kommer att beräknas för både *Modell 1* och *Modell 2* med samt utan investeringsstödet. Formel 8 används vid beräkandet av annuiteten sammansatt med Formel 24 för nettonuvärdet. Omskrivet ger det Formel 25 för annuiteten, med (s) som betecknar om det är investeringsstöd eller inte och (m) den modell som beräknats.

$$A_{s,m} = f_A \times NNV_{s,m} \quad (25)$$

Den avkastning som investeringen ger (ROI) räknas ut med Formel 9 och med de nya formlerna ger det Formel 26.

$$ROI_{s,m} = \frac{A_{s,m}}{G_{s,m}} \quad (26)$$

### Internräntemetoden

Internräntemetoden räknas ut via den färdiga resultatkalkylen genom att testa sig fram med kalkylräntor alternativt med hjälp av Excels inbyggda funktion *IR*. Den kalkylränta som ger nettonuvärdet noll är den internränta som investeringen har.

### Levelized Cost of Electricity

Vid beräkning av LCOE används Formel 11 omskrivet för solcellsanläggningarna till *Modell 1* och *Modell 2*. Båda solcellsanläggningarna har inget förväntat restvärde, men det tillkommer en extra kostnad år 15 för en ny växelriktare. Vid beräkning av de ingående parametrarna används Formel 27 nedan.

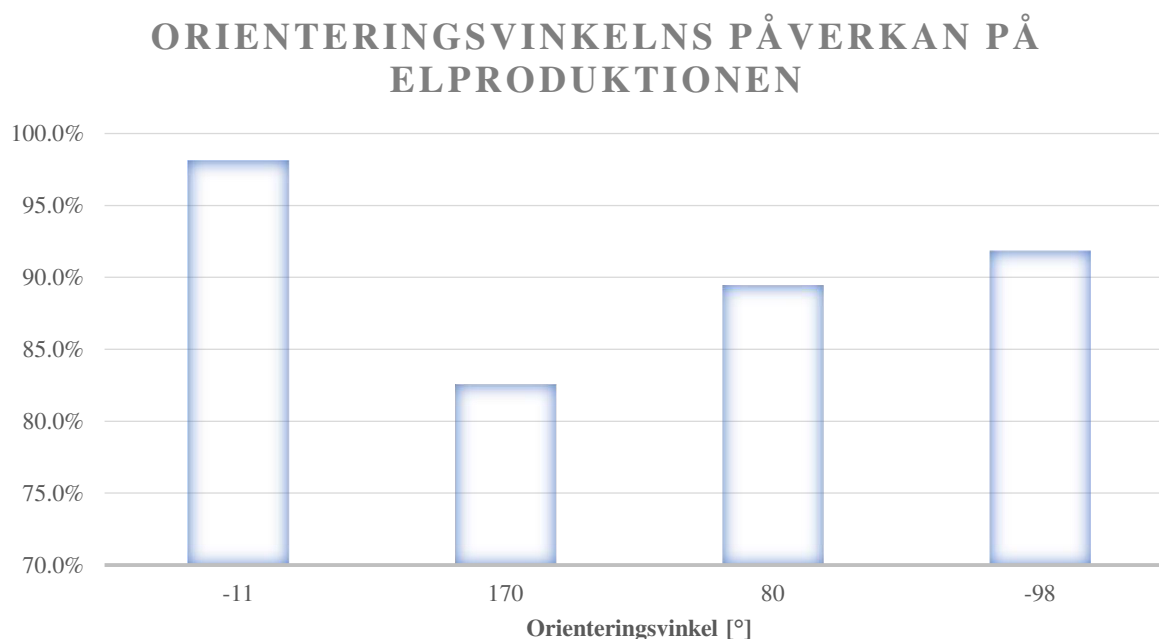
$$LCOE_{s,m} = \frac{(Investeringskostnad_{s,m} + NV_{nyväxelriktare,m}) + \sum_{i=0}^{30} (NV_{årligkostnad,n})}{\sum_{i=0}^{30} NV_{energi,m,n}} \quad (27)$$

## 4. Resultat

Kapitel 4 beskriver de resultat som arbetet kommit fram till. Här beskrivs de två modellernas solcellsanläggningar med antal solcellsmoduler och växelriktare för varje fastighet och takyta.

### 4.1 Solcellsanläggningarna

Fastigheterna förlorar en del av solinstrålningen på grund av att orienteringen inte är riktad mot söder. I Figur 20 nedan visas en tydlig bild över fastigheternas procentuella förlust på grund av orienteringen.



Figur 20. Den procentuella skillnaden mellan takytornas olika orienteringar mot en söderriktning. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

*Fastighet 1,2* förlorar nästan 20% av elproduktionen till skillnad mot *Fastighet 1,1* som endast förlorar 1,9%. En orienteringsvinkel på 80 respektive -98 grader ger en förlust motsvarande 10,5% samt 8,1%.

### Modell 1

Den första modellen har dimensionerats efter samma storlek på växelriktaren för varje fastighet, valet föll på en installerad topp effekt på 55 – 60 kW<sub>p</sub> per fastighet.

Vid dimensioneringen blev slutresultatet att endast tre av de fyra tillgängliga fastigheterna användes i modellen: *Fastighet 1*, *Fastighet 2* samt *Fastighet 4*. Den fjärde fastigheten uppnådde inte samma storlek på solcellsanläggning som de övriga fastigheterna och har därför exkluderats.

Takytorna har ytor som upptas av skuggningsobjekt och platser som solceller inte varit lämpade att placeras på.

Det medför en minskad area och antal solcellsmoduler, i Tabell 5 finns den totala mängden solcellsmoduler för varje fastighet och takyta. Den totala topp effekten skiljer sig mellan fastigheterna med 50 – 60 kW<sub>p</sub>. Underdimensioneringen för fastigheterna kan läsas av nedan.

*Fastighet 1* – 1st växelriktare av modellen Sunny Tripower Core1 från SMA.  
Underdimensionerad med 13,7%.

*Fastighet 2* - 1st växelriktare av modellen Sunny Tripower Core1 från SMA.  
Underdimensionerad med 15%.

*Fastighet 4* - 1st växelriktare av modellen Sunny Tripower Core1 från SMA.  
Underdimensionerad med 15%.

Data för dimensioneringen av växelriktarna finns i Bilaga 3.

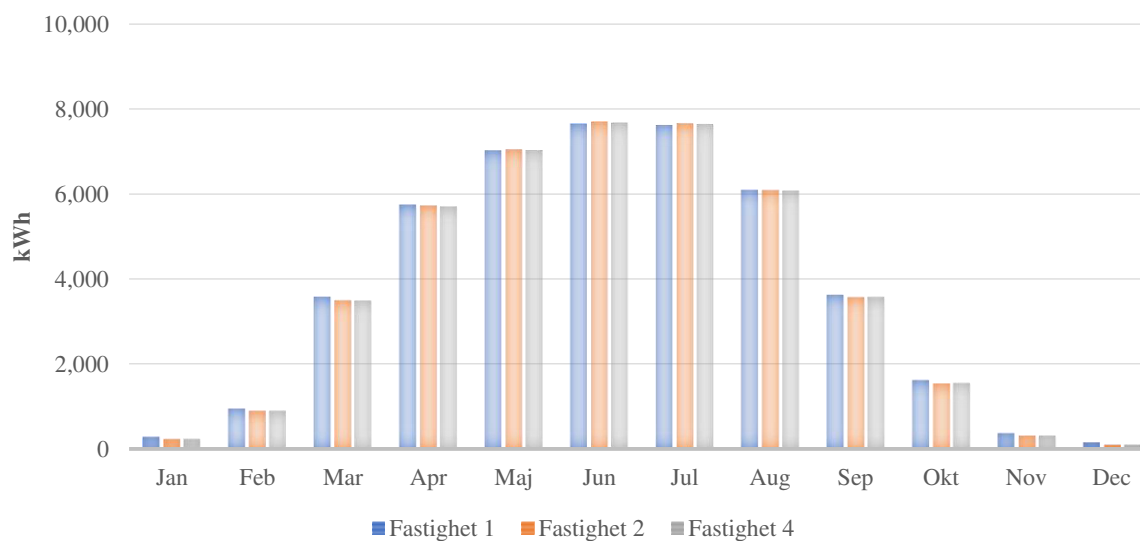
Det är totalt 627 solcellsmoduler med en sammanlagd effekt på 175,6 kW<sub>p</sub> och dessa täcker en area om 1035 m<sup>2</sup>. Fastigheternas antal solcellsmoduler är optimerade efter orientering. Ytor som har minst avvikelse från en söderriktning har maximerat sin takyta och övriga placeringar har fyllts på för att kunna ge samma storlek på växelriktarna. I och med att vissa takytor har objekt som tar upp större delen av den optimala takytan så avspeglar det sig också i Tabell 5 nedan.

Tabell 5. Antal solcellsmoduler, solcellsarea och den effekt varje takyta har.

Modell 1	Antal solcellsmoduler	Effekt [kW <sub>p</sub> ]	Solcellsarea [m <sup>2</sup> ]
Fastighet 1,1	75	21	123,8
Fastighet 1,2	132	37,0	217,8
Fastighet 2,1	114	31,9	188,1
Fastighet 2,2	96	26,9	158,4
Fastighet 4,1	90	25,2	148,5
Fastighet 4,2	120	33,6	198

Fastigheternas effekt skiljer sig inte men orientering har en påverkan på elproduktionen. I Figur 21 nedan visar elproduktionen från varje fastighet över årets alla månader.

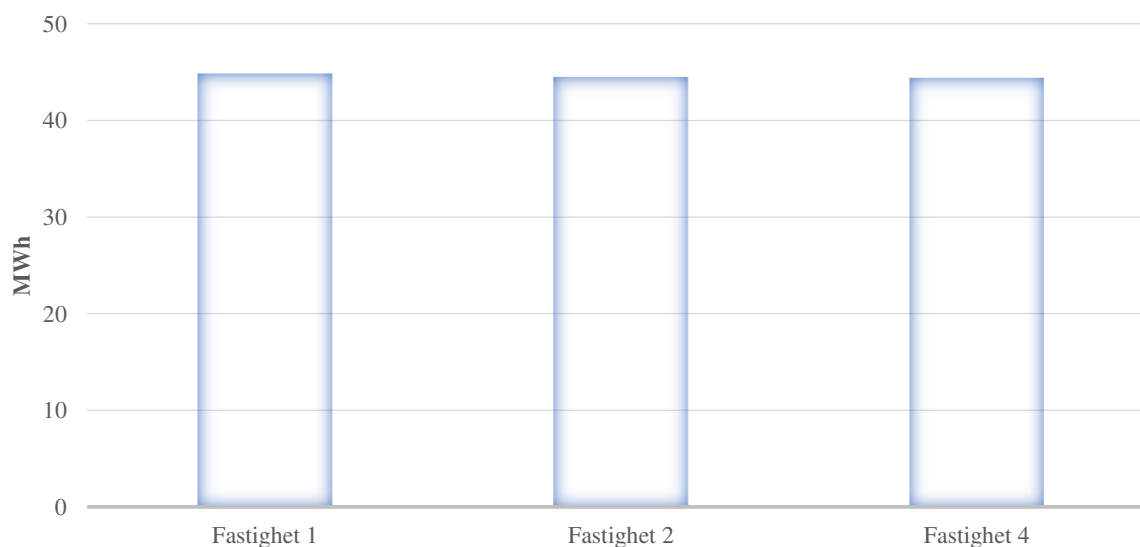
## ESTIMERAD ELPRODUKTION FRÅN FASTIGHETERNA



Figur 21. Elproduktion månadsvis för fastigheterna i kWh. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Elproduktionen mellan fastigheterna har små skillnader där den största produktionen kommer från *Fastighet 1* med 44,87 MWh per år och *Fastighet 4* med den minsta på 44,42 MWh per år, Figur 22 visar den årliga elproduktionen från varje fastighet.

## ESTIMERAD ÅRLIG ELPRODUKTION FRÅN FASTIGHETERNA



Figur 22. Den årliga produktionen från varje fastighet i MWh. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

En jämförelse mellan de olika fastigheterna och deras produktion samt systemutbytet ger en tydlig bild över hur takytornas produktion förhåller sig.

*Fastighet 1,2* står för det största systemutbytet på 827 kWh/kW<sub>p</sub> och baksidan av fastigheten har den lägsta på 681 kWh/kW<sub>p</sub>. *Fastighet 1,1* bidrar ändå med 0,6% i energibesparing men till skillnad från framsidan av fastigheten så är det mindre än hälften så stor produktion.

Tabell 6 nedan visar den årliga produktionen från de olika takytorna och vilken andel av den totala elförbrukningen för Främbyverket de representerar.

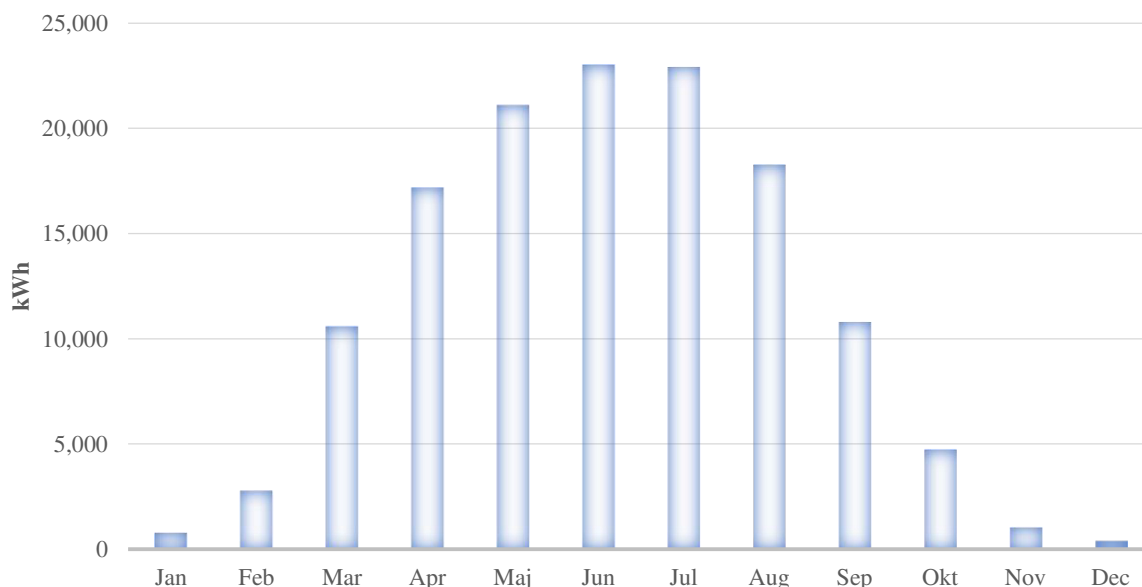
Tabell 6. Takyornas årliga produktion år 1 och den andelen de representerar av den totala förbrukningen hos Främbyverket samt systemutbytet för Modell 1. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Modell 1	Årlig produktion [kWh]	Systemutbyte [kWh/kW <sub>p</sub> ]	Andel av total förbrukning
Fastighet 1,1	14 305	681	0,6%
Fastighet 1,2	30 565	827	1,3%
Fastighet 2,1	24 412	766	1,0%
Fastighet 2,2	20 106	747	0,9%
Fastighet 4,1	19 255	764	0,8%
Fastighet 4,2	25 170	749	1,1%
<b>Summa</b>			<b>5,7%</b>

Totalt minskar *Modell 1* behovet att köpa elektricitet motsvarande 5,7% över ett helt år. Systemutbytet över samtliga fastigheter ger ett värde på 762 kWh/kW<sub>p</sub>.

Den sammanlagda elproduktionen från *Modell 1* uppgår till 133,8 MWh per år och kommer främst från sommarhalvåret, där maj till och med juli producerar över 20 MWh vardera. Totalt står de tre månaderna för över 50% av den totala elproduktionen, se Figur 23 för den totala elproduktionen.

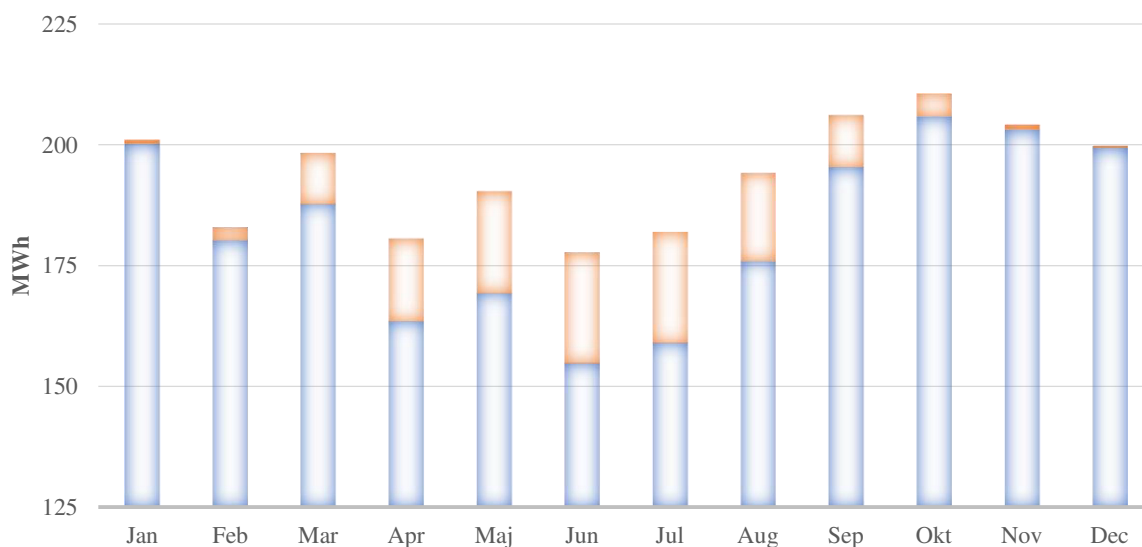
## ESTIMERAD ELPRODUKTION PER MÅNAD



Figur 23. Fastigheternas sammanlagda elproduktion varje månad i kWh. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Samtliga solcellsanläggningar bidrar med en minskning i effektopparna för Främbyverket, Figur 24 nedan visar hur den sammanlagda elproduktionen från solcellsanläggningarna motsvarar Främbyverkets elförbrukning per månad. Den orangea färgen visar den del som solcellerna representerar varje månad i MWh.

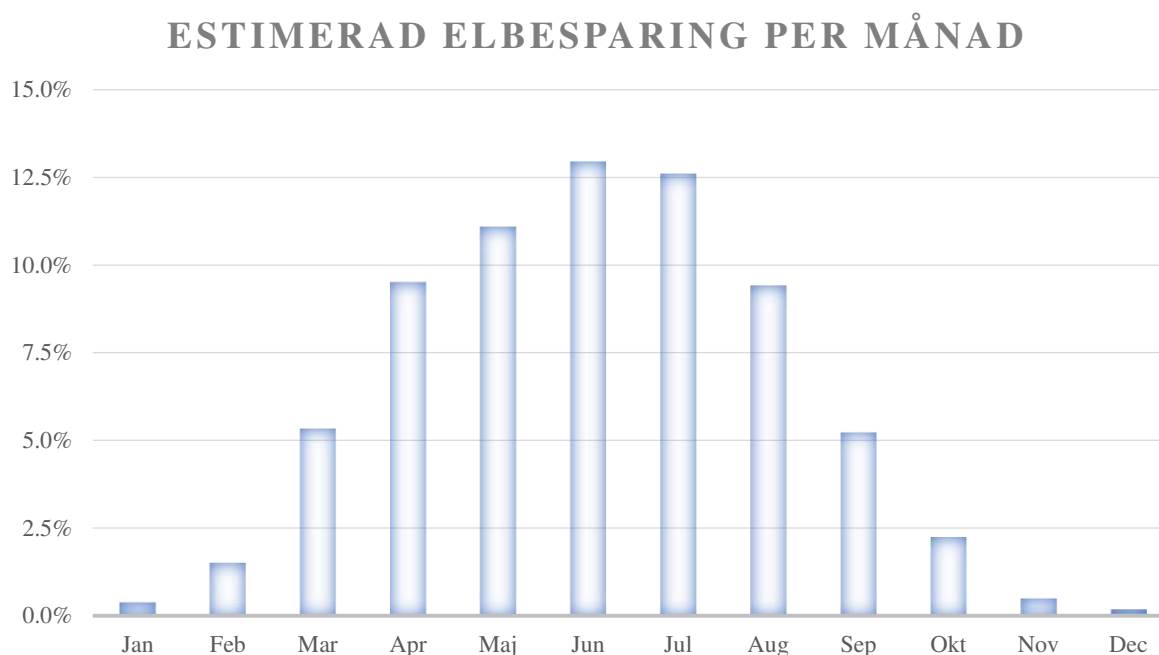
## ESTIMERAD ELPRODUKTION I FÖRHÅLLANDE TILL ELFÖRBRUKNING



Figur 24. Minskningen av Främbyverkets effektoppar, den orangea färgen representerar solcellernas elproduktion. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Den minskade mängden köpt energi från solcellsanläggningen skiljer sig från månad till månad, från maj till och med juli står samtliga månader för en minskning på över 10%. Under juli månad står solcellerna för en elproduktion motsvarande 13% av elförbrukningen. Vintermånaderna januari, november och december har en låg produktion, under 1% av Främbyverkets elförbrukning.

Figur 25 nedan visar hur energibesparingen skiljer sig över året.



Figur 25. Den totala elbesparingen från solcellsanläggningarna över årets alla månader. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Den totala mängden elektricitet som produceras under solcellsanläggningens livstid med den årliga degraderingen uppgår till 3,84 GWh. Efter 30 år producerar solcellsanläggningarna 122,6 MWh mot det första årets 133,8 MWh.

#### Modell 2

Modell 2 har till skillnad från Modell 1 solceller på alla fastigheter och maximerar takytorna. Det resulterar i fler solceller och ger totalt en installerad effekt på 209,8 kW<sub>p</sub>. Med en större solcellsanläggning och fler fastigheter krävs fler växelriktare; genom *Sunny Web Design* dimensionerar programmet växelriktarna.

De växelriktare som krävs har olika effekt för fastigheterna på grund av den skiftande effekten hos varje fastighet. Underdimensioneringen skiljer sig från 1% upp till 15%, alla växelriktare är från tyska SMA med fyra olika modeller. Följande växelriktare har varje fastighet.

*Fastighet 1* – 1st 50 kW växelriktare av modellen Sunny Tripower Core1 från SMA och 1st 8 kW växelriktare av modellen STP8.0-3AV-40. Växelriktarna är underdimensionerade mellan 5% och 10%, den högre procenten gäller för 50 kW växelriktaren.

*Fastighet 2* – 1st 50 kW växelriktare av modellen Sunny Tripower Core1 från SMA. Växelriktaren är underdimensionerad med 15%.

*Fastighet 3* – 1st 20 kW växelriktare av modellen STP20000TL-30 från SMA. Växelriktaren är underdimensionerad på knappt 1%.

*Fastighet 4* – 1st 50 kW växelriktare av modellen Sunny Tripower Core1 och 1st 10 kW växelriktare av modellen STP10.0-3AV-40, båda modellerna är från SMA. Växelriktarna är underdimensionerade med 11% vardera.

I Bilaga 3 finns datablad över hur strängarna är konstruerade för varje fastighet.

*Modell 2* har 749 solcellsmoduler med en total solcellsarea på 1236 m<sup>2</sup>. *Fastighet 4* har den största effekten på 67,2 kW<sub>p</sub> följt av *Fastighet 1* med 63,6 kW<sub>p</sub>. Tabell 7 nedan visar data över varje fastighet och effekten som är maximerad för varje takyta.

Tabell 7. Data över fastigheternas olika taktyper med antal solcellsmoduler, installerade effekten och solcellsarean. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Modell 2	Antal solcellsmoduler	Effekt [kW <sub>p</sub> ]	Solcellsarea [m <sup>2</sup> ]
Fastighet 1,1	95	26,6	156,8
Fastighet 1,2	132	37,0	217,8
Fastighet 2,1	114	31,9	188,1
Fastighet 2,2	96	26,9	158,4
Fastighet 3,1	42	11,8	69,3
Fastighet 3,2	30	8,4	49,5
Fastighet 4,1	120	33,6	198,0
Fastighet 4,2	120	33,6	198,0

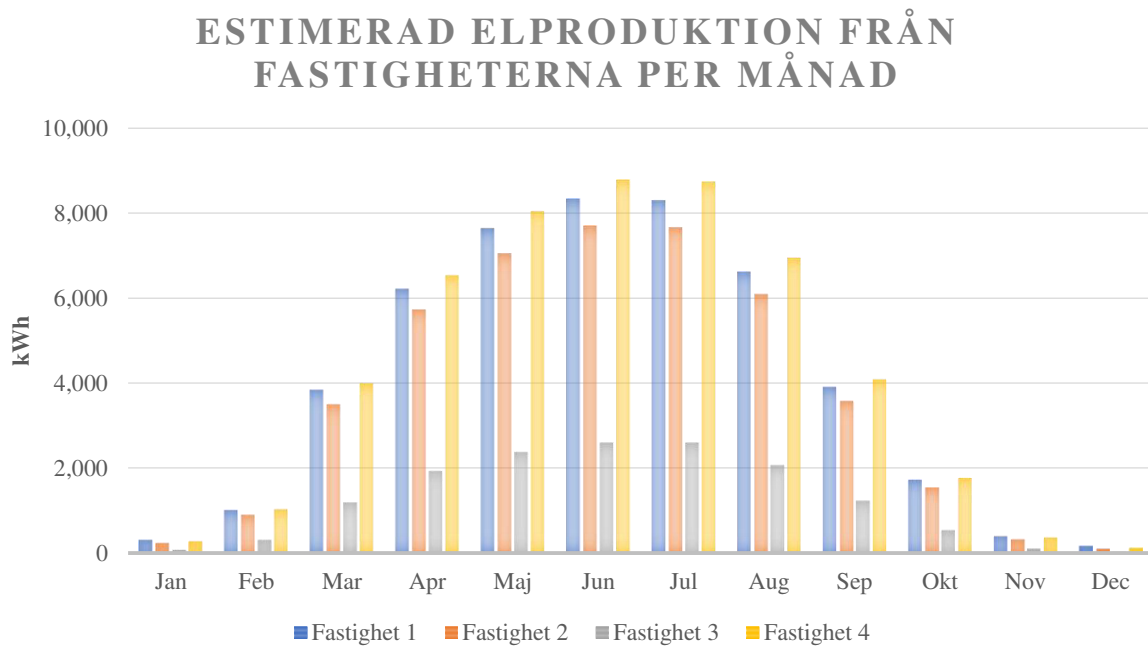
Endast *Fastighet 1* och *Fastighet 4* producerar över 8 MWh under en enskild månad. Under månaderna januari, februari, oktober, november och december producerar ingen fastighet över



4 MWh. Elproduktionen är som sämst under december där *Fastighet 1* producerar mest med endast 190 kWh.

Maj, juni och juli är de månaderna som har högst elproduktion, där tre fastigheter producerar över 7 MWh på samtliga månader. *Fastighet 4* levererar mest av alla fastigheter, med strax under 8,8 MWh i juli.

Figur 26 visar fastigheternas elproduktion över årets månader.

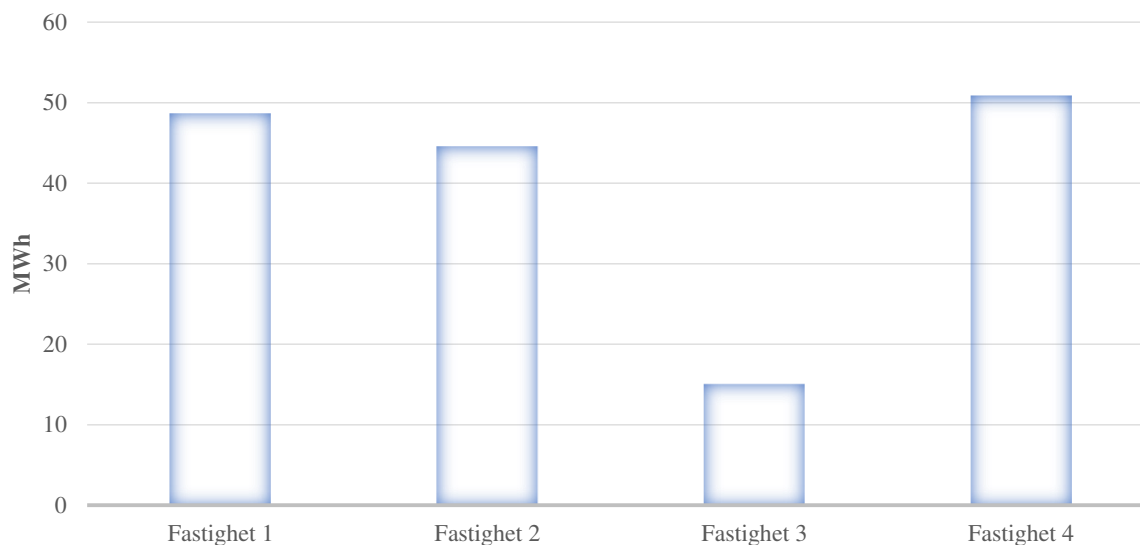


Figur 26. Elproduktionen månadsvis från de olika fastigheterna i kWh. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Av de fyra fastigheterna står tre för en årlig produktion som överstiger 40 MWh. *Fastighet 3* har en produktion som uppgår till endast 15,1 MWh per år och *Fastighet 4* har en årlig produktion på över 50 MWh, mer än tredubblad elproduktion.

Figur 27 nedan visar den totala elproduktionen för varje fastighet.

## ESTIMERAD ÅRLIG ELPRODUKTION FRÅN FASTIGHETERNA

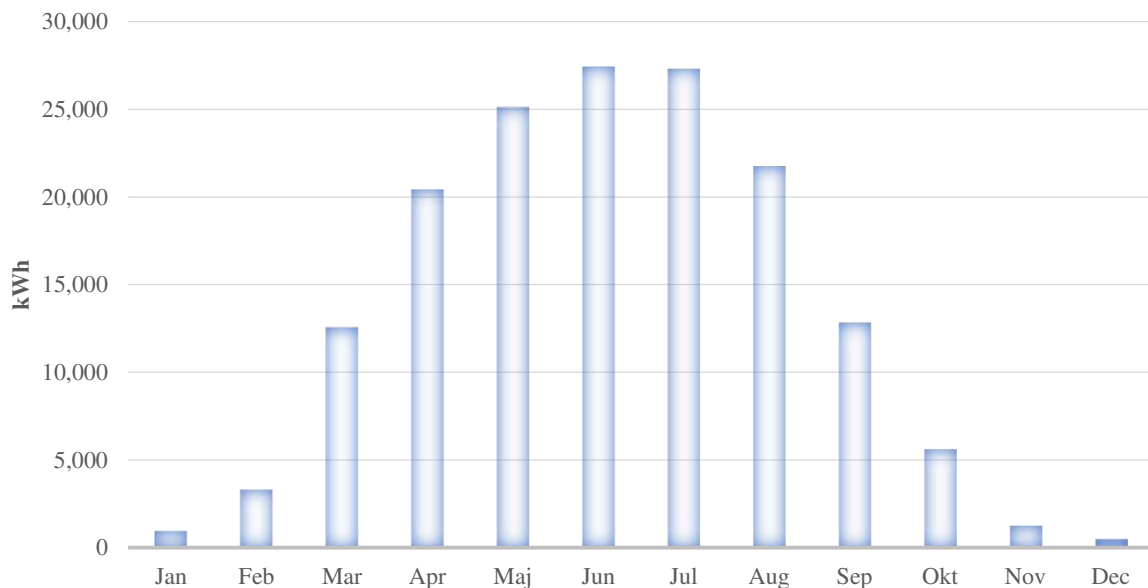


Figur 27. Den årliga elproduktionen från varje fastighet i MWh. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Summerat över alla fastigheter månad för månad visar att maj, juni och juli producerar mer än 25 MWh. Juni står för den största elproduktionen 27,4 MWh följt av juli med 27,3 MWh. Totalt står de två månaderna för över 34% av den totala elproduktionen.

Figur 28 visar hur mycket elektricitet de sammanlagda solcellsanläggningarna från *Modell 2* producerar månadsvis.

## ESTIMERAD ELPRODUKTION PER MÅNAD



Figur 28. Den sammanlagda elproduktionen från fastigheterna över årets alla månader. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Solcellsanläggningarna har ett sammanlagt systemutbyte på 766 kWh/kW<sub>p</sub> och minskar behovet att köpa elektricitet med 6,8% årligen. Elproduktionen från *Modell 2* har en stor variation mellan fastigheterna med *Fastighet 4* som står för den största elproduktionen med över 34%. Den minsta fastigheten, *Fastighet 3*, producerar elektricitet motsvarande 9% av den totala elproduktionen.

Se Tabell 8 nedan.

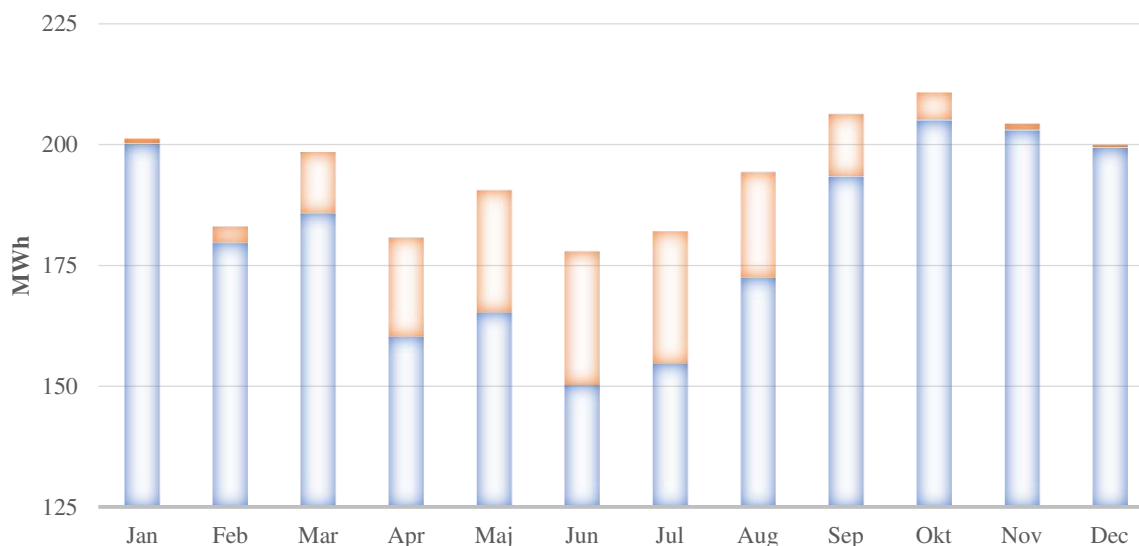
Tabell 8. Årliga produktionen, systemutbytet och andelen av den totala förbrukningen varje takyta från fastigheterna. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Modell 2	Årlig produktion [kWh]	Systemutbyte [kWh/kW <sub>p</sub> ]	Andel av total förbrukning
Fastighet 1,1	18 058	678,9	0,8%
Fastighet 1,2	30 565	827,0	1,3%
Fastighet 2,1	20 106	747,4	0,9%
Fastighet 2,2	24 421	765,5	1,0%
Fastighet 3,1	8 809	749,0	0,4%
Fastighet 3,2	6 292	749,0	0,3%
Fastighet 4,1	25 170	749,1	1,1%
Fastighet 4,2	25 661	763,7	1,1%
<b>Summa</b>			<b>6,8%</b>

Solcellsanläggningarna sänker Främbyverkets effekttoppar under april, maj, juni, juli och augusti med över 20 MWh vardera. Figur 29 visar hur mycket solcellerna producerar i

förhållande till Främbyverkets elförbrukning per månad, med den orangea färgen som motsvarar produktionen från solcellsanläggningen.

## ESTIMERAD ELPRODUKTION I FÖRHÅLLANDE TILL ELFÖRBRUKNING



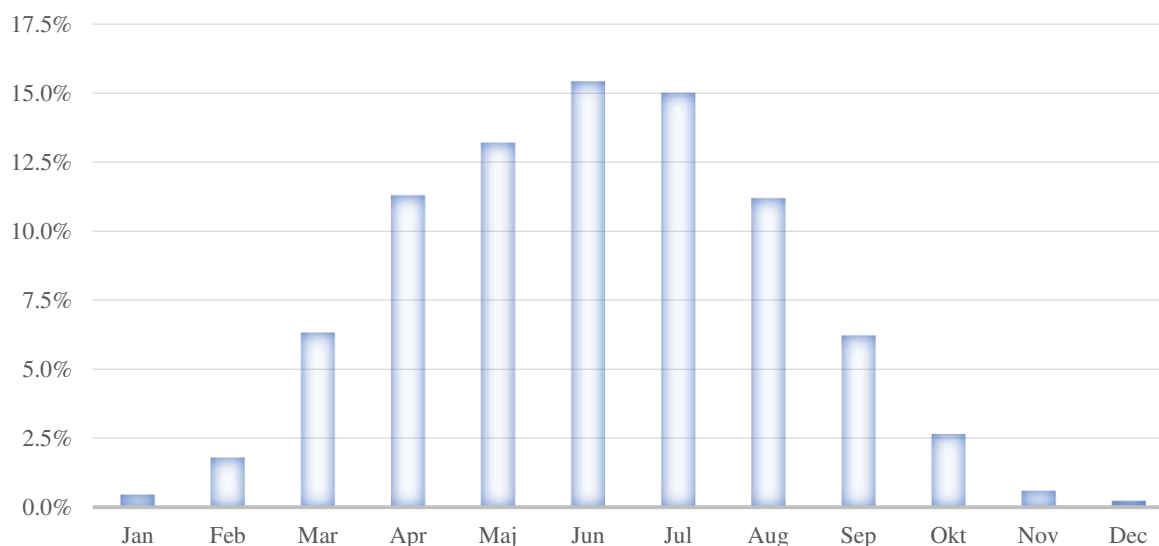
Figur 29. Den estimerade elproduktion i förhållande till Främbyverkets elförbrukning. Den orangea färgen representerar solcellsanläggningens produktion. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Störst sänkning sker under sommarhalvåret, april till och med augusti minskar sitt behov att köpa elektricitet inom intervallet 160,3 – 172,5 MWh. Idag ligger elförbrukningen inom intervallet 177,9 – 194,2 MWh.

Den besparing som solcellsanläggningarna tillsammans står för månadsvis har en stor variation, där juni och juli sänker andelen köpt energi med över 15% vardera. Totalt står fem månader för en energibesparing som överstiger 10% under en enskild månad.

Figur 30 visar hur den procentuella besparingen ser ut över året.

## PROCENTUELLA ELBESPARINGEN PER MÅNAD



Figur 30. Den procentuella besparingen av elektricitet per månad från den sammanlagda produktionen. Värdena är simulerade med PVGIS (SARAH – ERA5 – COSMO) från 2013 – 2016.

Solcellsanläggningarna från *Modell 2* producerar totalt 4,57 GWh under sin förväntade livslängd med den årliga degraderingen inräknad. År 30 produceras 145,8 MWh mot det första årets 159 MWh.

### 4.2 Resultatkalkyl

I det här arbetet har resultatkalkylerna för de båda modellerna sammanställts i Microsoft Excel för att beräkna lönsamheten.

#### *Modell 1*

Solcellsanläggningarna har en kostnad på 9 500 kr/kW<sub>p</sub> utan investeringsstödet och 7 600 kr/kW<sub>p</sub> med investeringsstödet. I Tabell 9 nedan ges investeringskostnader för varje takyta med och utan investeringsstödet.

Tabell 9. Investeringskostnader med och utan investeringsstödet för samtliga taktytor och den sammanlagda investeringskostnaden.

Modell 1	Investeringskostnad utan stöd [kr]	Investeringskostnad med stöd [kr]
Fastighet 1,1	199 500	159 600
Fastighet 1,2	351 120	280 896
Fastighet 2,1	303 240	242 592
Fastighet 2,2	255 360	204 288
Fastighet 4,1	239 400	191 520
Fastighet 4,2	319 200	255 360
<b>Summa</b>	<b>1 667 820</b>	<b>1 334 256</b>

Efter 15 år krävs det ett byte av växelriktarna och det tillkommer ytterligare en kostnad på 176 800 kronor.

I Tabell 10 visas resultatet; utan hänsyn tagen till kalkylräntan med payback-tiden, totalavkastningen som solcellsanläggningen levererar samt avkastningen per år.

Tabell 10. Resultat från lönsamhetsberäkningen utan hänsyn till kalkylräntan utan och med investeringsstödet.

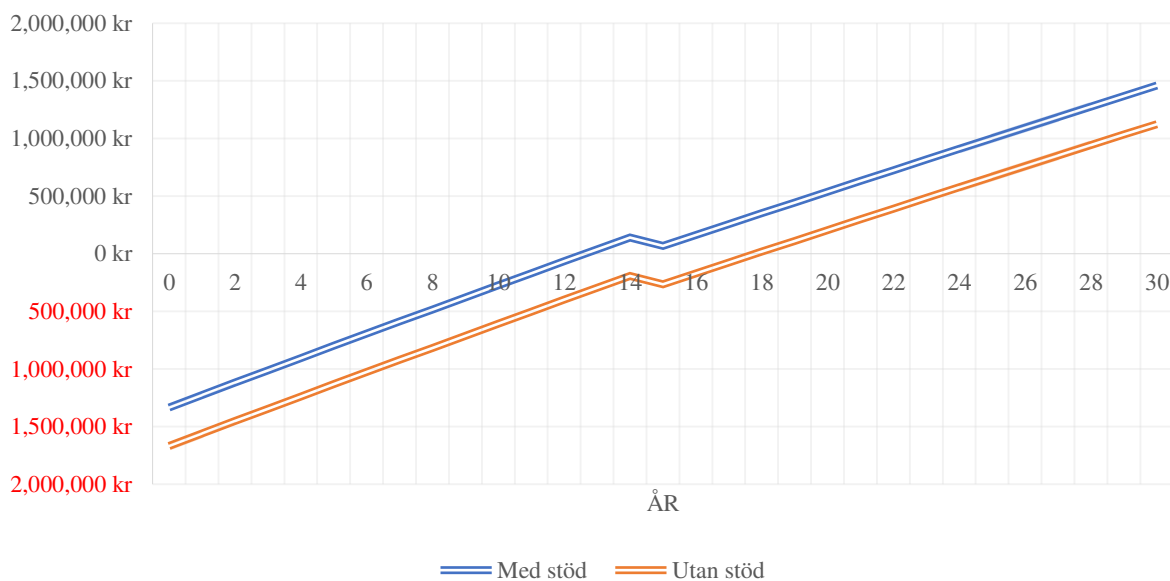
Modell 1	Utan investeringsstöd	Med investeringsstöd
Payback-tid	18 år	13 år
Totalavkastning	167%	209%
Avkastning per år	3,33%	3,84%

Den totala energikostnaden som besparats med hjälp av solcellsanläggningen uppgår till strax under 2,8 miljoner kronor. Det första året står för 99 600 kr och efter 30 år har det sjunkit till 91 300 kr på grund av degraderingen. De intäkter som genereras från elcertifikaten är 121 800 kr under de 15 år som elcertifikaten är tillgängliga. Elcertifikaten ger en intäkt på 8 300 kr första året och sista året 7 950 kr.

Återbetalningstiden är 18 år respektive 13 år samt ger en avkastning på 3,33% samt 3,84% i snitt per år, med den totala avkastningen på 167% och 209% utan respektive med investeringsstödet.

Kassaflödet från solcellsanläggningarna uppgår till 1 458 000 kr med investeringsstödet och 1 124 000 kr utan investeringsstödet. I Figur 31 kan kassaflödet för solcellsanläggningen över 30 år läsas av, den undre linjen representerar utan ett investeringsstöd och den övre med investeringsstödet.

## KASSAFLÖDET ÖVER 30 ÅR



Figur 31. Det ackumulerande kassaflödet från solcellsanläggningen med samt utan investeringsstödet.

Slutresultatet från lönsamhetskalkyl med hänsyn till kalkylräntan på 5% ges av Tabell 11. Här kan nettonuvärdet, den diskonterade återbetalningstiden, LCOE samt internräntan läsas av och skillnaden mellan erhållandet av investeringsstödet eller utan. Den totala investeringskostnaden för investeringen är beräknad tillsammans med nuvärdet för växelriktarna och grundinvesteringen.

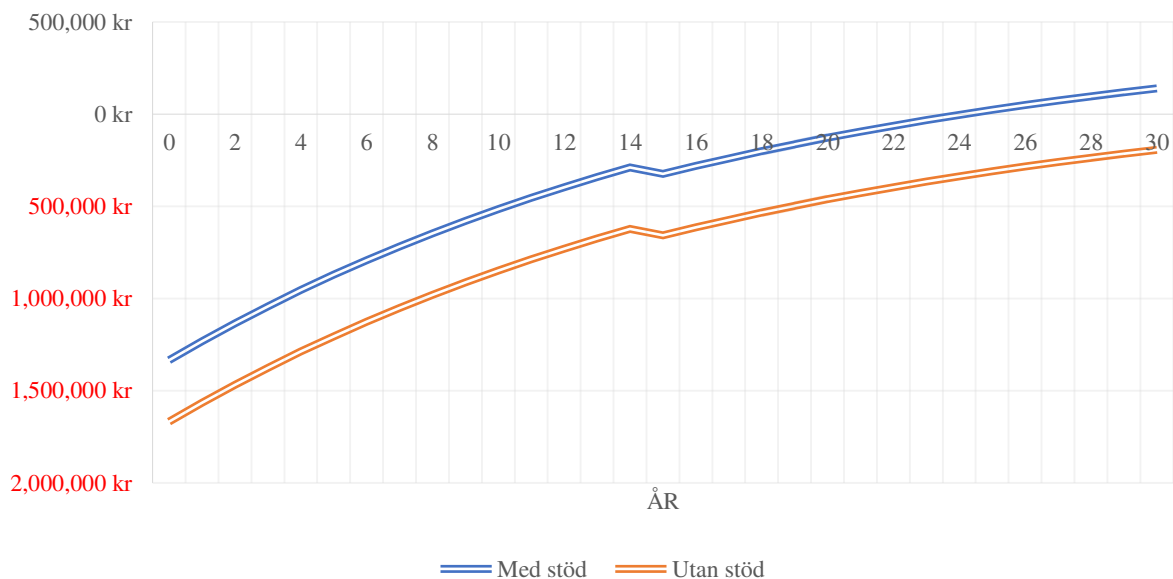
Tabell 11. Resultatet från lönsamhetsberäkningarna med hänsyn till kalkylräntan, utan och med investeringsstödet.

Modell 1	Utan investeringsstöd	Med investeringsstöd
Totala investeringskostnader	9 985 kr/kW <sub>p</sub>	8 085 kr/kW <sub>p</sub>
Nettonuvärde	-193 800 kr	139 740 kr
Återbetalningstid	43 år	25 år
LCOE	0,88 kr/kWh	0,71 kr/kWh
Internräntan	3,89%	5,95%
Annuiteten	-12 600 kr	9 090 kr
ROI	-0,76%	0,68%

Nettonuvärdet blir ett negativt värde för investeringen utan investeringsstödet. Den diskonterade återbetalningstiden blir 43 år, över 10 år längre än solcellsanläggningens förväntade livslängd. Kostnaden per kWh i form av LCOE uppgår till 0,88 kr/kWh, mer än 0,1 kr/kWh än kostnaden för elektriciteten på 0,74 kr/kWh.

Med investeringsstödet blir investeringen lönsam med ett nettonuvärde på 139 740 kr och en återbetalningstid på 25 år. Jämfört med utan investeringsstödet är det en skillnad på 19 år. Det ackumulerande nuvärdet från solcellsanläggningen visas i Figur 32 nedan.

## NUVÄRDET ÖVER 30 ÅR



Figur 32. Det ackumulerande nuvärde över solcellanläggningens livslängd med och utan investeringsstödet.

### Modell 2

Investeringskostnaden är högre för *Modell 2* med en grundinvestering utan investeringsstöd på 10 000 kr/kW<sub>p</sub> och 8 000 kr/kW<sub>p</sub> med investeringsstödet. Tabell 12 nedan visar kostnaden för varje takyta med och utan investeringsstödet samt den totala kostnaden för båda.

Tabell 12. Investeringskostnader för takytorna med och utan investeringsstödet, samt den totala investeringskostnaden.

Modell 2	Investeringskostnad utan stöd [kr]	Investeringskostnad med stöd [kr]
Fastighet 1,1	266 000	212 800
Fastighet 1,2	369 600	295 680
Fastighet 2,1	319 200	255 360
Fastighet 2,2	268 800	215 040
Fastighet 3,1	117 600	94 080
Fastighet 3,2	84 000	67 200
Fastighet 4,1	336 000	268 800
Fastighet 4,2	336 000	268 800
<b>Summa</b>	<b>2 097 200</b>	<b>1 677 760</b>

Den totala kostnaden för *Modell 2* är 2 097 200 kr utan investeringsstödet och 1 677 760 kr med investeringsstödet. Bytet av växelriktaren sker år 15 till en extra kostnad på 252 200 kr. Det första året står solcellsanläggningen för en besparing av elektricitet till ett värde över 118 420 kr och år 30 har besparingen sjunkit till 108 540 kr på grund av degraderingen av solcellsmodulerna.



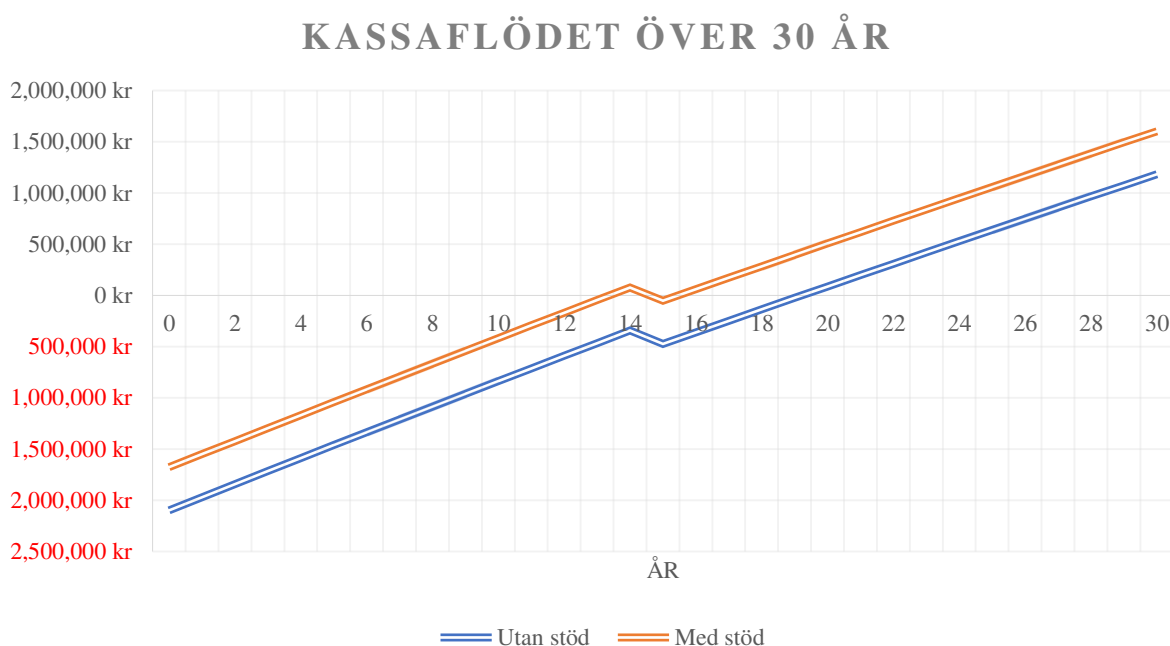
Intäkterna från elcertifikaten är det första året på 9 770 kr och sjunker sedan till 9 370 kr år 15, och den totala intäkten från försäljning av elcertifikat är 144 870 kr.

Den tid det tar för att solcellsanläggningen ska återbetala sig är 20 år utan investeringsstöd och 16 år med investeringsstöd. Avkastningen för solcellsanläggningarna kan läsas av i Tabell 13 nedan.

Tabell 13. Resultatet för Modell 2 från lönsamhetsberäkningen utan hänsyn till kalkylräntan

Modell 2	Utan investeringsstöd	Med investeringsstöd
Payback-tid	20 år	16 år
Totalavkastning	156%	195%
Avkastning per år	3,19%	3,68%

Kassaflödet över solcellsanläggningarnas livslängd ges av Figur 33 nedan. Bytet av växelriktarna märks tydligt av i form av en ökad investeringskostnad år 15. Det sammanlagda kassaflödet från investeringarna över 30 år är strax över 1 600 000 kr med investeringsstöd och 1 180 000 kr utan investeringsstöd. Den besparing som sker från minskat behov att köpa elektricitet är 3 400 000 kr för solcellsanläggningen under hela livslängden.



Figur 33. Det ackumulerande kassaflödet över solcellsanläggningarnas livslängd.

Solcellsanläggningen för Modell 2 får ett negativt nettonuvärde på -364 000 kr och en återbetalningstid på 59 år utan investeringsstödet, återbetalningstiden blir 28 år och

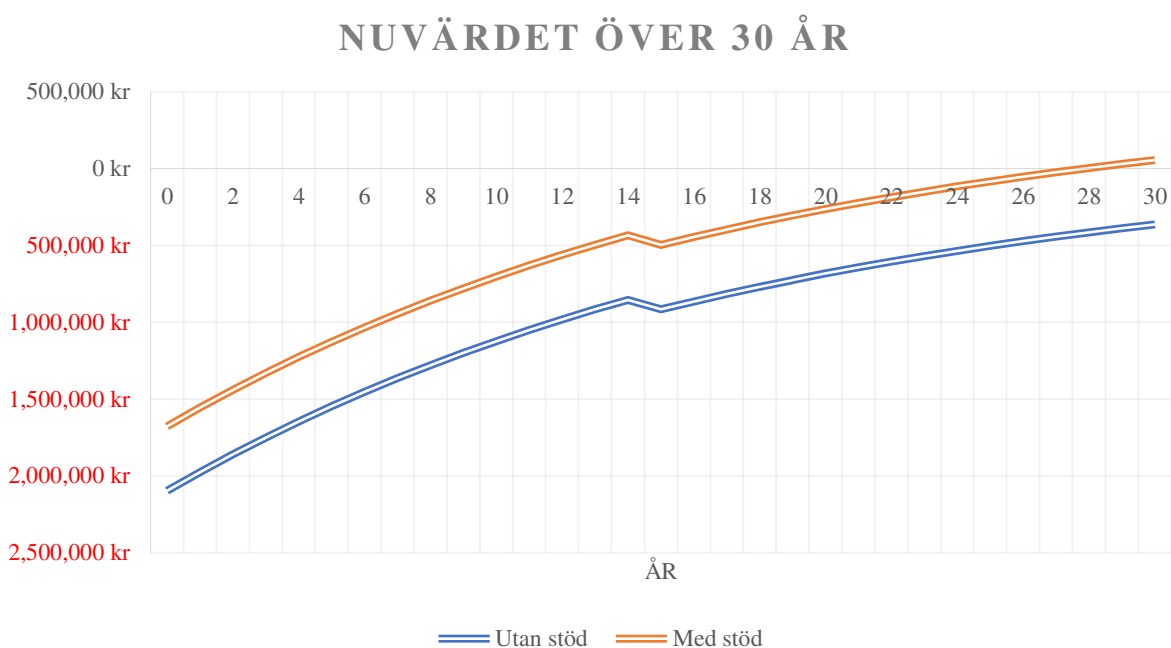
nettonuvärdet 55 000 kr vid erhållande av investeringsstödet. Slutresultatet från kalkylen kan läsas av i Tabell 14.

Tabell 14. Resultatet för Modell 2 från lönsamhetsberäkningen med hänsyn till kalkylräntan.

Modell 2	Utan investeringsstöd	Med investeringsstöd
Totala investeringskostnader	10 578 kr/kW <sub>p</sub>	8 578 kr/kW <sub>p</sub>
Nettonuvärde	-364 600 kr	55 000 kr
Återbetalningstid	59 år	28 år
LCOE	0,93 kr/kWh	0,76 kr/kWh
Internräntan	3,3%	5,3%
Annuiteten	-23 717 kr	3 578 kr
ROI	-1,13%	0,213%

De totala investeringskostnaderna under livslängden uppgår till 10 578 kr/kW<sub>p</sub> och 8 578 kr/kW<sub>p</sub> tillsammans med de nya växelriktarna år 15.

Nuvärdet över solcellsanläggningens livslängd kan läsas av i Figur 34 nedan.



Figur 34. Det ackumulerande nuvärdet för investeringen med och utan investeringsstödet.

### 4.3 Känslighetsanalys

Solcellsanläggningar är känsliga för vissa parametrar och dessa har stor påverkan på slutresultatet. Genom små ändringar kan slutresultatet analyseras och se vilken förändring det ger. Indata som har störst betydelse i resultat kalkylen är följande.

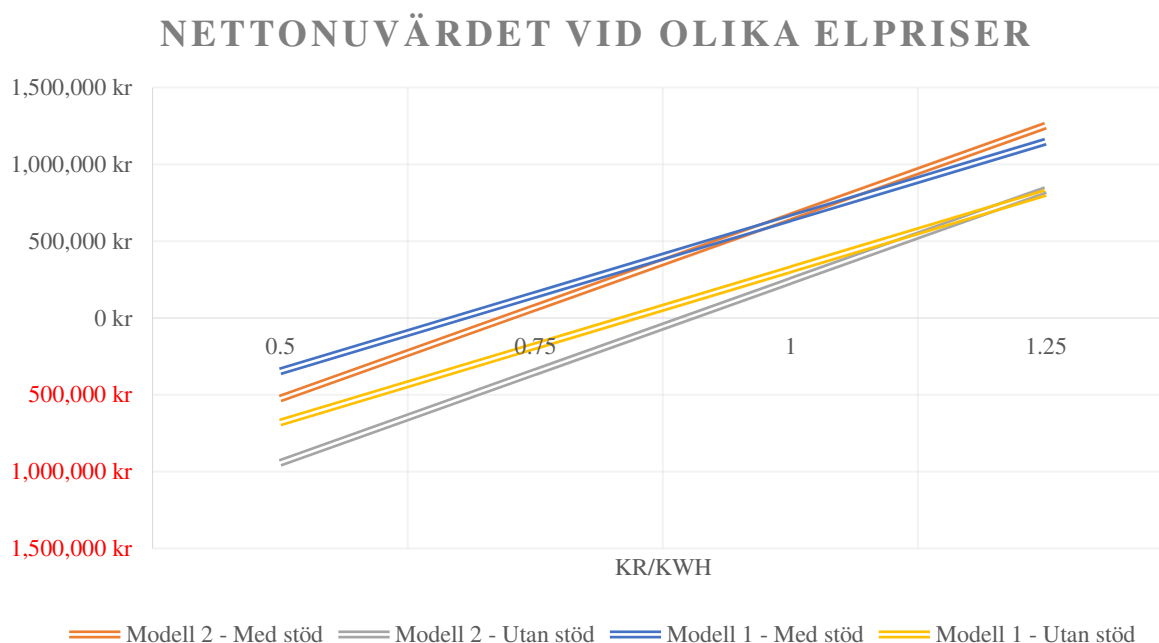
- Elpriset
- Kalkylränta

Elpriset har en stor påverkan på nettonuvärdet och återbetalningstiden för investeringen med och utan investeringsstödet inom intervallet 0,5 till 1,25 kr/kWh.

Nettonuvärdet kan läsas av för *Modell 1* och *Modell 2* i Figur 35 nedan.

Solcellsanläggningen utan investeringsstödet för *Modell 2* når en lönsamhet vid ett elpris strax över 0,9 kr/kWh och *Modell 1* har en brytpunkt strax innan 0,85 kr/kWh för att uppnå lönsamhet.

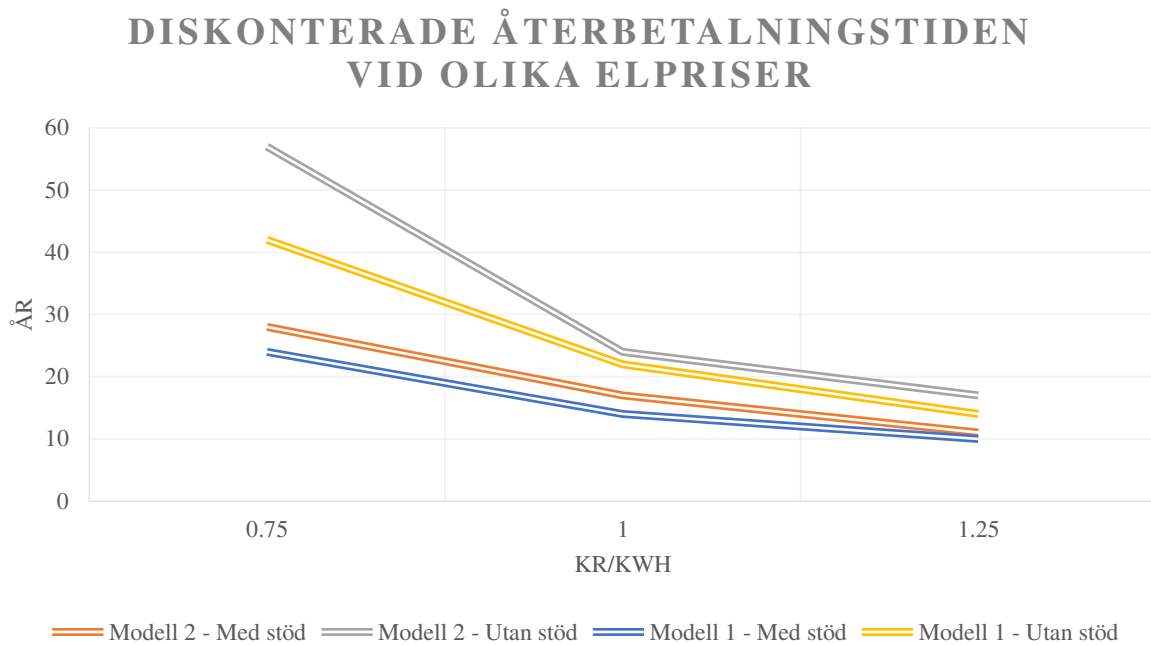
*Modell 1* är mer lönsam än *Modell 2* utan investeringsstödet fram till ett elpris på 1,2 kr/kWh. Skillnaden är mindre vid erhållande av investeringsstödet fram till ett elpris kring 1 kr/kWh där *Modell 2* når en högre lönsamhet.



Figur 35. Elprisets påverkan på nettonuvärdet för de olika modellerna med och utan investeringsstöd, med ett elpris mellan 0,5 – 1,25 kr/kWh.

Återbetalningstiden för *Modell 1* och *Modell 2* vid varierande elpriser inom samma intervall har störst påverkan när investeringen sker utan investeringsstödet. Vid ett elpris på 0,5 kr/kWh ligger samtliga med en återbetalningstid över 60 år och finns därför inte med i Figur 36 nedanför.

Mellan 0,75 - 1 kr/kWh minskar återbetalningstiden för *Modell 2* med över 23 år, från 57 år till 24 år. Ett elpris på 1 kr/kWh skulle medföra en återbetalningstid för samtliga under 25 år och den kortaste återbetalningstiden sker för *Modell 1 – Utan stöd* på endast 14 år.

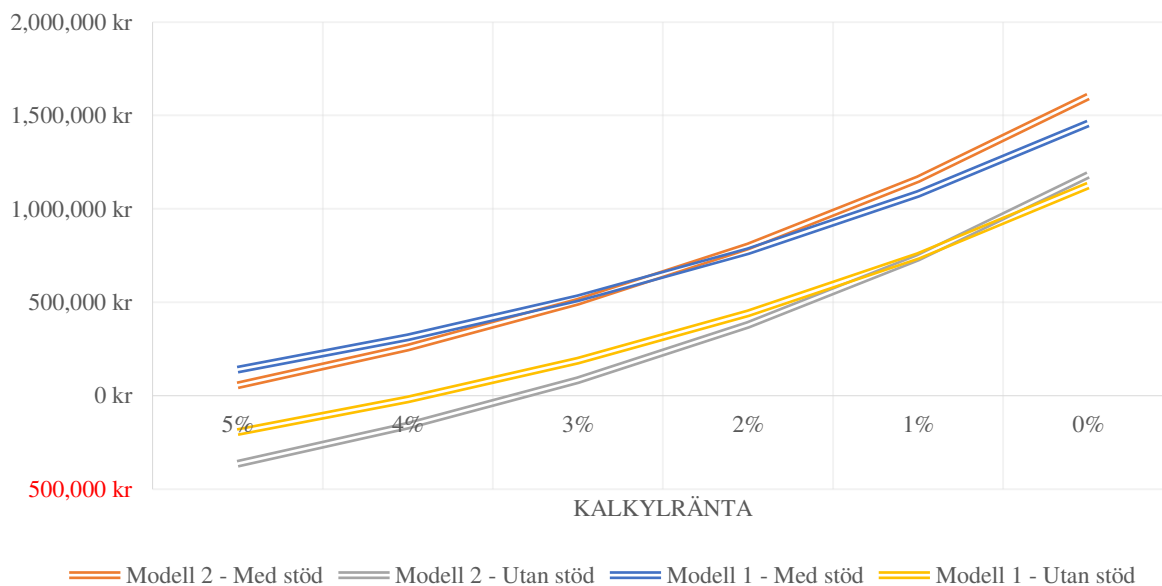


Figur 36. Den diskonterade återbetalningstiden vid elpriser från 0,75 kr/kWh till 1,25 kr/kWh.

Vid förändring i kalkylränta kan nettonuvärdet för båda modellerna analyseras i intervallet från 5% till 0%, i Figur 37 nedan kan resultatet läsas av.

Vid en kalkylränta på mellan 3 – 4% blir båda modellerna lönsamma utan investeringsstödet, *Modell 1* når lönsamhet strax under 4% och *Modell 2* runt 3,5%. *Modell 2* blir mer lönsam än *Modell 1* med investeringsstödet vid en kalkylränta på 2,5%, men utan investeringsstödet krävs en kalkylränta under 1%.

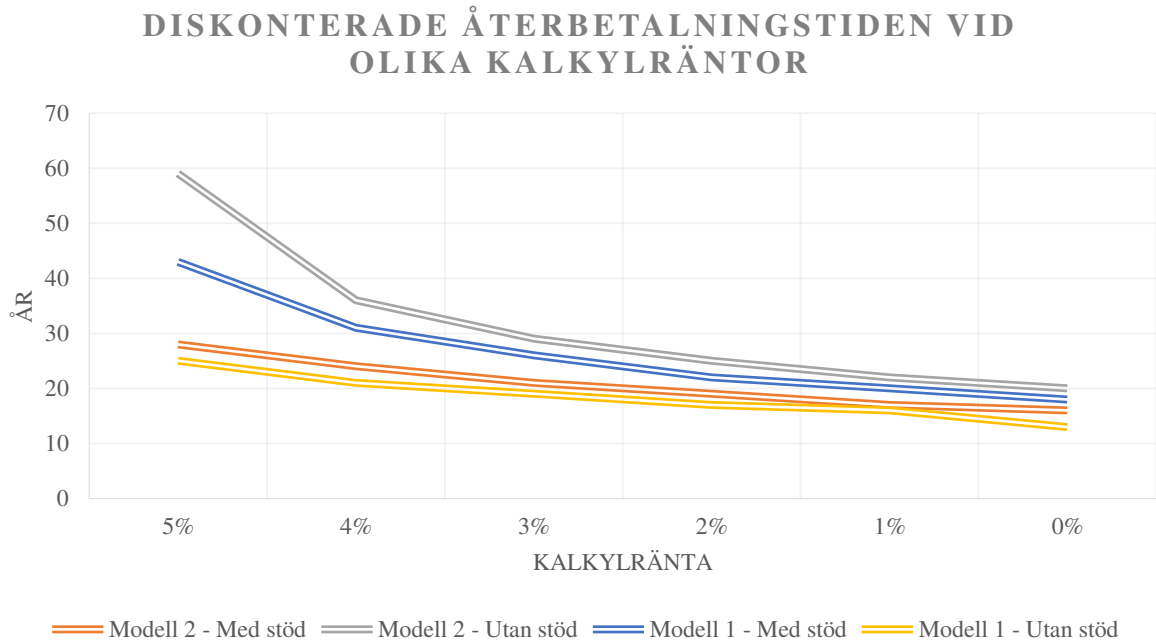
## NETTONUVÄRDET VID OLIKA KALKYLRÄNTOR



Figur 37. Nettonuvärdet vid förändring av kalkylränta. Båda modellernas ändring med samt utan investeringsstöd.

Återbetalningstiden genom förändring av kalkylräntan från 5% till 0% ger den största skillnaden för båda modellerna utan investeringsstödet. Den största skillnaden sker för *Modell 2* där återbetalningstiden minskar med över 20 år, *Modell 1* får en minskning på 12 år. Samtliga modeller når som lägst en återbetalningstid på 20 år, båda modellerna med investeringsstödet hamnar på 13 år respektive 16 år för *Modell 1* och *Modell 2*.

I Figur 38 nedan kan kalkylräntas påverkan på den diskonterade återbetalningstiden läsas av.



Figur 38. Den diskonterade återbetalningstiden vid ändring av kalkylräntan för de båda modellerna med och utan investeringsstödet.

## 5. Diskussion

Främbyverkets fastigheter har inte den optimala orienteringen till söder, vilket avspeglar sig i den förväntade elproduktionen. Flera av dessa har en orientering som överskrider 90 grader vilket gör att produktionen försämras med upp till 10% jämfört med en söderriktning.

*Fastighet 1* har de bästa förutsättningarna för att placera solceller, där är orienteringen - 11,4°, vilket ger en avvikelse i elproduktion på 1,9% jämfört med en söderriktning. Genom att maximera ytan skulle den här takytan av fastigheten motsvara 1,3% av den totala årsförbrukningen hos Främbyverket och med ett systemutbyte som motsvarar 827 kWh/kW<sub>p</sub>. Övriga taktytor har en stor area där solcellsmoduler skulle kunna placeras för att få ner kostnaderna och samtidigt producera över 740 kWh/kW<sub>p</sub>.

De två olika modellerna, *Modell 1* och *Modell 2*, visar tydliga skillnader i resultatalkylen. *Modell 1* har en högre lönsamhet och har endast tre växelriktare, samtliga med en effekt på 50 kW. I känslighetsanalysen är *Modell 1* även bättre vid varierande elpriser men vid en kostnad på 1 kr/kWh får *Modell 2* ett högre nettonuvärde med investeringsstödet. I övrigt är *Modell 1* bättre på samtliga punkter, elproduktionen är förvisso lägre men den har en högre lönsamhet.

Återbetalningstiden för samtliga modeller är långt över solcellsanläggningens förväntade livstid om investeringsstödet inte kan erhållas. Det här är långt under godkänt och medför en

viss osäkerhet då det statliga investeringsstödet inte är någonting som är givet. Men vid godkännande av investeringsstödet så blir återbetalningstiden avsevärt mycket bättre, 25 år respektive 28 år för *Modell 1* och *Modell 2*.

Kalkylräntan på 5% är ett vanligt krav på investeringar, men i och med att solcellstekniken får anses vara relativt ny så kan ett lägre krav ge en bättre lönsamhet. I känslighetsanalysen över varierande kalkylräntor fås en bättre återbetalningstid samt högre lönsamhet om kalkylräntan sänks till 3% istället för 5%. *Modell 1* får en återbetalningstid på 19 år med investeringsstöd och 26 år utan investeringsstöd. 26 år är dock ett bra resultat för en solcellsanläggning utan investeringsstöd.

En investering i en solcellsanläggning är en osäker investering idag med avseende på det varierande elpriset. Men i och med den rena energin som solcellerna producerar är det ett alternativ för att öka produktionen av förnyelsebar energi. Det skulle även kunna vara en investering som visar på möjligheter som får andra människor intresserade.

Solcellsanläggningar får inte enbart ses som rena lönsamhetsinvesteringar utan som en miljövänlig energiutveckling. Det visar på att man satsar på grön energi och att man vill bidra till ett mer hållbart samhälle.

## 6. Slutsats

Förutsättningarna för en solcellsanläggning på Främbyverkets taktytor har skilda möjligheter. *Fastighet 1* har den bästa förutsättningen där en solcellsanläggning kan vara lönsam beroende på vilka parametrar som väljs och den investeringskostnad som krävs.

*Modell 1* är den bättre av de två modellerna där den lägre produktionen ger en bättre lönsamhet och mindre investeringskostnad. Med en minskning som motsvarande 5,7% av Främbyverkets elförbrukning under ett helt år är det tillräckligt högt för att göra en skillnad.

Solcellsanläggningar är inte tillräckligt lönsamma idag för att kunna konkurrera med alternativa investeringar, men det är ett steg i rätt riktning för en hållbar värld och om lönsamhetskraven sänks är det en investering för framtiden.

Vid en optimal placering av solcellsmodulerna skulle lönsamhetskalkylerna se annorlunda ut, i och med att fastigheterna inte är placerade i direkt söderriktning så blir produktionen sämre. Lönsamheten för en solcellsanläggning beror till största del på den besparing av elektricitet som sker.

I och med att solceller producerar ren energi utan några utsläpp så bidrar solceller till Sveriges miljömål *Begränsad klimatpåverkan*. Med en större utveckling i tekniken kan det vara en lösning på problemen som finns med elproduktionen idag, då det krävs större mängder elektricitet idag och i framtiden. Fler människor, högre levnadsstandard och längre livslängd är faktorer som gör att elanvändningen kommer att fortsätta växa.

Solenergi är en lösning på det här problemet och gör att tillsammans med dessa faktorer så kan vi leva med den höga standarden samtidigt som vi får ren energi utan några utsläpp av koldioxid.

Solenergi är den största energikälla, men det finns trots det stora utmaningar med solenergi. Svårigheterna med att nå högre verkningsgrader gör att det riktiga kommersiella steget inte

kommit än, men allt eftersom teknikutvecklingen rör sig åt rätt riktning. Prisutvecklingen har nått en nivå där det allmänheten har möjligheten att investera i sin egen elproduktion.

Det största problemet sker under produktionen av solcellerna. Den största delen av solcellerna är gjorda av kisel, där tillverkningen sker under en hög temperatur som släpper ut koldioxid i luften (Thoubboron, 2018). Även om det är en ren elproduktion så är produktionen av solcellerna inte helt ren idag med koldioxidutsläpp. Lösningen på detta är nya tekniska lösningar i framtiden, med en säker och miljövänlig produktion.

## 7. Framtida arbete

Idag är priserna för solcellsanläggningar så pass låga att en större minskning i de närmsta åren kommer troligtvis inte ske, därför borde en djupare undersökning av Främbyverkets takytor genomföras för en eventuell installation av en solcellsanläggning. Alternativt en mindre anläggning på en av fastigheterna, där en besparing på närmare 1 – 2% av den totala elförbrukningen kan ske på årlig basis.

Ett annat eventuellt framtida arbete skulle vara att undersöka flera av Falu Energi & Vatten's reningsverk och dess potential för en solcellsanläggning. I och med att reningsverk förbrukar stora mängder elektricitet med en jämn profil på årlig basis så kommer all producerad elektricitet att användas av reningsverket.



## Referenser

(u.d.). Hämtat från Weland stål: <https://www.welandstal.se/?ID=SOLPANELSFAESTE&sLang=sv-se>

(u.d.). Hämtat från SolNord: <http://www.solnord.se>

(u.d.). Hämtat från SolarLab: <https://solarlab.se/solpanel1/optimal-solcell-installation.php>

(u.d.). Hämtat från Nordh Energy Solar AB: <https://nordhenergy.se/produkter/vaexelriktare/sma>

(2013). Hämtat från SMHI:

[https://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.32105.1490012540!/image/falun.png\\_gen/derivatives/Original/image/falun.png](https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.32105.1490012540!/image/falun.png_gen/derivatives/Original/image/falun.png)

(2017). Hämtat från The International Energy Agency: <https://www.iea.org/statistics/electricity/>

(den 26 Oktober 2018). Hämtat från U.S. Energy Information Administration:

<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=37372>

(2019). Hämtat från Falu Energi & Vatten: <https://fev.se/el/elnat/elnatpriser-foretag.html>

*500 miljoner kronor mer till solcellsstödet i höständeringsbudgeten.* (den 12 September 2019). Hämtat från Regeringskansliet: <https://www.regeringen.se/artiklar/2019/09/500-miljoner-kronor-mer-till-solcellsstodet-i-hostandringbudgeten/>

Aggarwal, V. (den 9 Oktober 2019). *What are the most efficient solar panels on the market?* Hämtat från EnergySage: <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>

Aggarwal, V. (den 2 Juli 2019). *What to know about a panel warranty.* Hämtat från EnergySage: <https://news.energysage.com/shopping-solar-panels-pay-attention-to-solar-panels-warranty/>

Bengtsson, A., Holm, E., Larsson, D., & Karlsson, B. (2017). *Skuggningshandbok - Design av solcellssystem för minimerad inverkan av skuggning.* EnergiForsk.

Bäckström, L., Eklund, R., & Soleimani-Mohseni, M. (2014). Ekonomi - investeringskalkyl. i L. Bäckström, R. Eklund, & M. Soleimani-Mohseni, *EnBe - Energiberäkningar: Formler, ekvationer, data och diagram* (ss. 501-514). Lund: Studentlitteratur AB.

*Data sources and calculation methods.* (u.d.). Hämtat från EU Science Hub - The European Commission's science and knowledge service: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>

*Det här ingår i en solcellsanläggning.* (den 9 Juli 2019). Hämtat från Energimyndigheten: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/det-har-ingar-i-en-solcellsanlaggning/>

Diamandis, P. (den 2 September 2014). *Solar Energy Revolution. A Massive Opportunity.* Hämtat från Forbes: <https://www.forbes.com/sites/peterdiamandis/2014/09/02/solar-energy-revolution-a-massive-opportunity/#251612156c90>

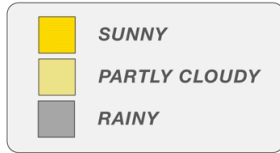
Energimyndigheten - Cesar. (u.d.). *Energimyndigheten - Cesar.* Hämtat från Energimyndigheten - Cesar: <https://cesar.energimyndigheten.se/Lists/PublicPages/AboutEICertificates.aspx>

- Energimyndigheten. (den 3 Mars 2017). *Om elcertifikatsystemet*. Hämtat från Energimyndigheten: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/>
- Energimyndigheten. (December 2018). *Kontrollstation för elcertifikatsystemet 2019 - redovisning av regeringsuppdraget*. Hämtat från Energimyndigheten: [https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/elcertifikat/er-2018\\_25webb.pdf](https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/elcertifikat/er-2018_25webb.pdf)
- Energimyndigheten. (den 16 Augusti 2018). *Olika typer av solceller*. Hämtat från Energimyndigheten: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/olika-typer-av-solceller/>
- Energimyndigheten. (den 7 Augusti 2018). *Så ansöker du om investeringsstödet*. Hämtat från Energimyndigheten: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vilka-stod-och-intakter-kan-jag-fa/sa-har-ansoker-du-om-investeringsstod/>
- Energimyndigheten. (den 8 Februari 2019). *Skatteregler vid elförsäljning*. Hämtat från Energimyndigheten: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/vilka-rattigheter-och-skyldigheter-har-jag-vid-installation/skatteregler-vid-elforsaljning/>
- Falu Energi & Vatten. (den 22 Oktober 2019). *Elnätspriser för företag*. Hämtat från Falu Energi & Vatten: <https://fev.se/el/elnat/elnatpriser-foretag.html>
- Hallén, M. (u.d.). *Så fungerar solceller*. Hämtat från Green Match: <https://www.greenmatch.se/solceller>
- Hedström, J., & Palmblad, L. (2006). *Performance of old PV modules*. EIForsk.
- Honsberg, C., & Bowden, S. (u.d.). *Solar Cell Structure*. Hämtat från PVEducation: <https://www.pveducation.org/pvc/drom/solar-cell-operation/solar-cell-structure>
- Knier, G. (den 6 Augusti 2008). *How do Photovoltaics Work?* Hämtat från NASA Science: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>
- Konsumenternas Energimarknadsbyrå. (den 13 September 2019). *Energiskatt - skattesatser och kostnader*. Hämtat från Konsumenternas Energimarknadsbyrå: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elrakningen/energiskatt-skattesatser-och-kostnader/>
- Konsumenternas Energimarknadsbyrå. (den 14 Februari 2019). *Så här fungerar elmarknaden*. Hämtat från Konsumenternas Energimarknadsbyrå: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/elmarknaden/sa-har-fungerar-elmarknaden/>
- Kovacs, P., Persson, M., Svensson, S., Åström, S., & Khajehalijani, M. (2014). *Jämförande provning av mindre nätanslutna solcellsystem - En förstudie*. Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.
- Lindahl, J., Stoltz, C., & Oller-Westerberg, A. (2018). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2018*. The International Energy Agency.
- Malmsten, J. (December 2015). *Solceller på tak - Möjligheter och fallgropar*. Stockholm, Stockholms län, Sverige. Hämtat från Belok: <http://belok.se/handbok-solceller-pa-tak/>
- Marsh, J. (den 26 Juli 2017). *Why are solar panels blue?* Hämtat från EnergySage: <https://news.energysage.com/why-are-solar-panels-blue/>

- Månadspriser på elbörsen.* (den 15 November 2019). Hämtat från Konsumenternas Energimarknadsbyrå: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elpriser-statistik/manadspriser-pa-elborsen/>
- Nibe. (den 3 Januari 2016). *Installatörshandbok PV Solcellspaket.* Hämtat från Nibe: <https://www.nibe.se/assets/documents/17231/331135-4.pdf>
- Nominal Operating Cell Temperature.* (u.d.). Hämtat från PVEducation: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/modules-and-arrays/nominal-operating-cell-temperature>
- Normal solskenstid för ett år.* (den 20 Mars 2017). Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/stralning/normal-solskenstid-for-ett-ar-1.3052>
- Nätavgifter.* (den 25 September 2019). Hämtat från Energimarknadsbyrån: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/natavgifter/>
- Offerta. (u.d.). *Vad kostar det att anlita en elektriker?* Hämtat från Offerta: <https://offerta.se/bygg-och-renovering/elinstallation/vad-kostar-det-att-anlita-en-elektriker/>
- Om Falu Energi & Vatten.* (den 20 September 2019). Hämtat från Falu Energi & Vatten: <https://fev.se/om-oss/om-foretaget.html>
- Regeringen. (2016). *Energiöverenskommelsen.* Regeringen.
- Regeringskansliet. (den 14 Juni 2019). *Första kontrollstationen för energiöverenskommelsen.* Hämtat från Regeringskansliet: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2019/06/forsta-kontrollstationen-for-energioverenskommelsen/>
- Solar Photovoltaic Cell Basics.* (den 16 Augusti 2013). Hämtat från Office of Energy Efficiency & Renewable Energy: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/solar-photovoltaic-cell-basics>
- SolarLab. (u.d.). Serie- och parallellkoppling av solceller. Sverige.
- SolEl. (u.d.). Installationsguide - Nätanslutna solcellsanläggningar. Sverige.
- Stridh, B., & Larsson, D. (2017). *Investeringskalkyl för solceller.* Stockholm: E2B2.
- Stridh, B., Campana, P., Landelius, T., Andersson, S., Holm, E., & Lind, M. (2017). *Elproduktionsutvärdering från solcellsanläggningar.* Energiforsk.
- Thoubboron, K. (den 1 Februari 2018). *Are solar panels toxic to the environment?* Hämtat från EnergySage : <https://news.energysage.com/solar-panels-toxic-environment/>

# Bilaga 1 - Solar Scorecard 2016-17 från Silicon Valley Toxics Coalition

## 2016-17 SOLAR SCORECARD



Company		Extended Producer Responsibility	Emissions Reporting	Worker Rights, Health and Safety	Supply Chains	Module Toxicity & Materials	Energy & GHGs	Conflict Minerals	Water	2016-17 OVERALL SCORE	
	Maximum Score	15	15	15	15	10	10	10	10	100	
2016-17 Leaders	SunPower	15	15	15	15	10	8	10	10	98	
	SolarWorld	14	15	15	15	8	10	10	8	95	
	Trina	13	14	15	15	8	10	10	10	95	
	Aleo	12	14	15	15	8	8	10	10	92	
	Jinko	13	11	15	15	10	8	10	8	90	
	First Solar	15	11	15	11	2	10	10	8	82	
	Hanwha Q CELLS	8	11	15	15	0	8	10	10	77	
	Mitsubishi	3	11	9	11	8	10	10	10	72	
Above Average	Kyocera	3	5	13	11	2	8	10	3	55	
	Motech	6	0	7	11	0	8	10	10	52	
	Panasonic	0	9	7	10	0	8	10	8	52	
	REC	13	2	9	10	2	0	10	5	51	
	WINAICO	5	0	9	10	0	6	10	10	50	
	Astronergy	10	0	9	10	2	8	10	0	49	
	Avancis	13	0	9	10	2	0	10	0	44	
	AUO	10	0	2	10	0	8	10	0	40	
	LG	3	0	2	11	0	6	10	8	40	
	JA Solar	11	1	9	6	0	0	10	0	37	
Yingli	10	0	9	0	0	8	10	0	37		
Below Average	Calyxo	13	0	2	0	0	0	10	0	25	
	BYD	5	0	4	0	0	0	10	0	19	
	Talesun	7	0	2	0	0	0	10	0	19	
	China Sunergy-Csun	3	0	4	0	0	0	10	0	17	
	Longi Solar	0	0	2	1	0	3	10	0	16	
	Gintech	3	0	2	0	0	0	10	0	15	
	Hanergy	3	0	2	0	0	0	10	0	15	
	Hyundai	3	0	2	0	0	0	10	0	15	
	Suntech	3	0	2	0	0	0	10	0	15	
	Renesola	0	0	2	0	2	0	10	0	14	
	Silfab	2	0	2	0	0	0	10	0	14	
	Boviet Solar	0	0	2	0	0	0	10	0	12	
	ET Solar	0	0	2	0	0	0	10	0	12	
	Hareon Solar	0	0	2	0	0	0	10	0	12	
	Risen	0	0	2	0	0	0	10	0	12	
Solar Frontier	0	0	2	0	0	0	10	0	12		

## Bilaga 2 – Skuggningsobjekt

Fastighet 1	Längd	Bredd	Höjd
Skuggningsobjekt 1	1,35 m	1,35 m	1m
Skuggningsobjekt 2	1,1 m	1,1 m	0,7m
Skuggningsobjekt 3	0,5 m	0,5 m	0,4 m
Skuggningsobjekt 4	4,5 m	4,5 m	2,5 m
Skuggningsobjekt 5	0,75 m	0,75 m	1,25 m

Fastighet 1	Längd bakom
Skuggningsobjekt 1	3 m +/- 30°
Skuggningsobjekt 2	2,1 m +/- 30°
Skuggningsobjekt 3	1,2 m +/- 30°
Skuggningsobjekt 4	7,5 m +/- 30°
Skuggningsobjekt 5	3,75 m +/- 30°

Fastighet 2	Längd	Bredd	Höjd
Marginal mot norr	1,22 m	11,3 m	-
Skuggningsobjekt 1	1,1 m	1,1 m	0,7 m
Skuggningsobjekt 2	4,05 m	1,1 m	2 m

Fastighet 2	Längd bakom
Skuggningsobjekt 1	2,1 m +/- 30°
Skuggningsobjekt 2	6 m +/- 30°

Fastighet 3	Längd	Bredd	Höjd
Skuggningsobjekt 1	1,35 m	1,35 m	1 m
Skuggningsobjekt 2	1,1 m	1,1 m	0,7 m
Marginal mot söder 1	9,78 m	12,3 m	-
Marginal mot söder 2	4,12 m	3,85 m	-
Baksida om <i>Fastighet 1,1</i>	2,21 m	15,4 m	-
Skugga från <i>Fastighet 1,1</i>	-	-	2,5 m

Fastighet 3	Längd bakom
Skuggningsobjekt 1	3 m +/- 30°
Skuggningsobjekt 2	2,1 m +/- 30°
Skugga från <i>Fastighet 1,1</i>	7,5 m +/- 30°

Fastighet 4	Längd	Bredd	Höjd
Marginal mot Norr	1,22 m	11,3 m	-

## Bilaga 3 – Data från *Sunny Web Design* över växelriktarna och strängarna

### Bilaga 3.1 Modell 1 – Fastighet 1

	Input A:	Input B:	Input C:
Number of strings:	2	2	1
PV modules:	15	15	15
Peak power (input):	8.40 kWp	8.40 kWp	4.20 kWp
Typical PV voltage:	✓ 456 V	✓ 456 V	✓ 456 V
Min. PV voltage:	426 V	426 V	426 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✓ 670 V	✓ 670 V	✓ 670 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✓ 14.0 A	✓ 14.0 A	✓ 7.0 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✓ 14.9 A	✓ 14.9 A	✓ 7.4 A
	Input D:	Input E:	Input F:
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	22	22	22
Peak power (input):	12.32 kWp	12.32 kWp	12.32 kWp
Typical PV voltage:	✓ 669 V	✓ 669 V	✓ 669 V
Min. PV voltage:	625 V	625 V	625 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✓ 982 V	✓ 982 V	✓ 982 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✓ 16.7 A	✓ 16.7 A	✓ 16.7 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✓ 17.7 A	✓ 17.7 A	✓ 17.7 A

## Bilaga 3.2 Modell 1 – Fastighet 2

	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	<b>Input C:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	19	19	19
Peak power (input):	10.64 kWp	10.64 kWp	10.64 kWp
Typical PV voltage:	✔ 578 V	✔ 578 V	✔ 578 V
Min. PV voltage:	540 V	540 V	540 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 848 V	✔ 848 V	✔ 848 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A
	<b>Input D:</b>	<b>Input E:</b>	<b>Input F:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	16	16	16
Peak power (input):	8.96 kWp	8.96 kWp	8.96 kWp
Typical PV voltage:	✔ 487 V	✔ 487 V	✔ 487 V
Min. PV voltage:	454 V	454 V	454 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 714 V	✔ 714 V	✔ 714 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A

## Bilaga 3.3 Modell 1 – Fastighet 4

	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	<b>Input C:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	15	15	15
Peak power (input):	8.40 kWp	8.40 kWp	8.40 kWp
Typical PV voltage:	✔ 456 V	✔ 456 V	✔ 456 V
Min. PV voltage:	426 V	426 V	426 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 670 V	✔ 670 V	✔ 670 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A
	<b>Input D:</b>	<b>Input E:</b>	<b>Input F:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	20	20	20
Peak power (input):	11.20 kWp	11.20 kWp	11.20 kWp
Typical PV voltage:	✔ 608 V	✔ 608 V	✔ 608 V
Min. PV voltage:	568 V	568 V	568 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 893 V	✔ 893 V	✔ 893 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A



## Bilaga 3.4 Modell 2 – Fastighet 1

	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	<b>Input C:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	22	22	22
Peak power (input):	12.32 kWp	12.32 kWp	12.32 kWp
Typical PV voltage:	✔ 669 V	✔ 669 V	✔ 669 V
Min. PV voltage:	625 V	625 V	625 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 982 V	✔ 982 V	✔ 982 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 16.7 A	✔ 16.7 A	✔ 16.7 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 17.7 A	✔ 17.7 A	✔ 17.7 A
	<b>Input D:</b>	<b>Input E:</b>	<b>Input F:</b>
Number of strings:	2	2	1
PV modules:	13	13	13
Peak power (input):	7.28 kWp	7.28 kWp	3.64 kWp
Typical PV voltage:	✔ 395 V	✔ 395 V	✔ 395 V
Min. PV voltage:	369 V	369 V	369 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 580 V	✔ 580 V	✔ 580 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 14.0 A	✔ 14.0 A	✔ 7.0 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 14.9 A	✔ 14.9 A	✔ 7.4 A
	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	
Number of strings:	1	1	
PV modules:	15	15	
Peak power (input):	4.20 kWp	4.20 kWp	
Typical PV voltage:	✔ 456 V	✔ 456 V	
Min. PV voltage:	426 V	426 V	
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	125 V	125 V	
Max. PV voltage:	✔ 670 V	✔ 670 V	
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	
Max. MPP current of PV array:	✔ 7.0 A	✔ 7.0 A	
Max. operating input current per MPPT:	20 A	12 A	
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	18 A	
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 7.4 A	✔ 7.4 A	

## Bilaga 3.5 Modell 2 – Fastighet 2

	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	<b>Input C:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	19	19	19
Peak power (input):	10.64 kWp	10.64 kWp	10.64 kWp
Typical PV voltage:	✔ 578 V	✔ 578 V	✔ 578 V
Min. PV voltage:	540 V	540 V	540 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 848 V	✔ 848 V	✔ 848 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A
	<b>Input D:</b>	<b>Input E:</b>	<b>Input F:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	16	16	16
Peak power (input):	8.96 kWp	8.96 kWp	8.96 kWp
Typical PV voltage:	✔ 487 V	✔ 487 V	✔ 487 V
Min. PV voltage:	454 V	454 V	454 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 714 V	✔ 714 V	✔ 714 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A

## Bilaga 3.6 Modell 2 – Fastighet 3

	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	
Number of strings:	2	2	
PV modules:	21	15	
Peak power (input):	11.76 kWp	8.40 kWp	
Typical PV voltage:	✔ 639 V	✔ 456 V	
Min. PV voltage:	596 V	426 V	
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	
Max. PV voltage:	✔ 937 V	✔ 670 V	
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A	
Max. operating input current per MPPT:	33 A	33 A	
Max. input short-circuit current per MPPT:	43 A	43 A	
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A	

## Bilaga 3.7 Modell 2 – Fastighet 4

	<b>Input A:</b>	<b>Input B:</b>	<b>Input C:</b>
Number of strings:	2	2	2
PV modules:	20	20	20
Peak power (input):	11.20 kWp	11.20 kWp	11.20 kWp
Typical PV voltage:	✔ 608 V	✔ 608 V	✔ 608 V
Min. PV voltage:	568 V	568 V	568 V
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 893 V	✔ 893 V	✔ 893 V
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A	✔ 15.9 A
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A	✔ 16.9 A
	<b>Input D:</b>	<b>Input E:</b>	<b>Input F:</b>
Number of strings:	2	2	---
PV modules:	20	20	---
Peak power (input):	11.20 kWp	11.20 kWp	---
Typical PV voltage:	✔ 608 V	✔ 608 V	---
Min. PV voltage:	568 V	568 V	---
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	150 V	150 V	150 V
Max. PV voltage:	✔ 893 V	✔ 893 V	---
Max. DC voltage:	1000 V	1000 V	1000 V
Max. MPP current of PV array:	✔ 15.3 A	✔ 15.3 A	---
Max. operating input current per MPPT:	20 A	20 A	20 A
Max. input short-circuit current per MPPT:	30 A	30 A	30 A
Photovoltaic Output Circuit Current:	✔ 16.2 A	✔ 16.2 A	---

## Bilaga 4 – Resultatkalkyl

### Bilaga 4.1 – Modell 1 Resultatkalkyl utan hänsyn till kalkylränta

År	Energi		Investering		Kostnader / Intäkter			Kassaflöde			
	Producerad el efter degradering	Utän stöd	Med stöd	Årlig kostnad	Egenanvänd el	Elcertifikat	Egenanvänd el	Utän stöd	Akkumulerat	Med stöd	Akkumulerat
0	0	-1 667 820,00 kr	-1 334 256,00 kr	0	0	0	0	-1 667 820,00 kr	-1 667 820,00 kr	-1 334 256,00 kr	-1 334 256,00 kr
1	133822,1952	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 296,98 kr	99 617,24 kr	107 414,22 kr	-1 560 405,78 kr	107 414,22 kr	-1 226 841,78 kr	-1 226 841,78 kr
2	133420,7286	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 272,09 kr	99 318,39 kr	107 090,48 kr	-1 453 315,31 kr	107 090,48 kr	-1 119 751,31 kr	-1 119 751,31 kr
3	133020,4664	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 247,27 kr	99 020,44 kr	106 767,70 kr	-1 346 547,60 kr	106 767,70 kr	-906 537,70 kr	-906 537,70 kr
4	132621,405	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 222,53 kr	98 723,37 kr	106 445,90 kr	-1 240 101,70 kr	106 445,90 kr	-800 412,64 kr	-800 412,64 kr
5	132223,5408	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 197,86 kr	98 427,20 kr	106 125,06 kr	-1 133 976,64 kr	106 125,06 kr	-694 607,45 kr	-694 607,45 kr
6	131826,8702	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 173,27 kr	98 131,92 kr	105 805,19 kr	-1 028 171,45 kr	105 805,19 kr	-589 121,18 kr	-589 121,18 kr
7	131431,3896	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 148,75 kr	97 837,53 kr	105 486,27 kr	-922 685,18 kr	105 486,27 kr	-483 952,86 kr	-483 952,86 kr
8	131037,0954	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 124,30 kr	97 544,01 kr	105 168,31 kr	-817 516,86 kr	105 168,31 kr	-379 101,55 kr	-379 101,55 kr
9	130643,9841	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 099,93 kr	97 251,38 kr	104 851,31 kr	-712 665,55 kr	104 851,31 kr	-274 566,30 kr	-274 566,30 kr
10	130252,0522	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 075,63 kr	96 959,63 kr	104 535,25 kr	-608 130,30 kr	104 535,25 kr	-170 346,15 kr	-170 346,15 kr
11	129861,296	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 051,40 kr	96 668,75 kr	104 220,15 kr	-503 910,15 kr	104 220,15 kr	-66 440,16 kr	-66 440,16 kr
12	129471,7121	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 027,25 kr	96 378,74 kr	103 905,99 kr	-400 004,16 kr	103 905,99 kr	37 152,61 kr	37 152,61 kr
13	129083,297	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	8 003,16 kr	96 089,61 kr	103 592,77 kr	-296 411,39 kr	103 592,77 kr	140 433,10 kr	140 433,10 kr
14	128696,0471	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 979,15 kr	95 801,34 kr	103 280,49 kr	-193 130,90 kr	103 280,49 kr	66 602,25 kr	66 602,25 kr
15	128309,959	-176 800,00 kr	-176 800,00 kr	-500,00 kr	7 955,22 kr	95 513,93 kr	-73 830,85 kr	-266 961,75 kr	-73 830,85 kr	161 329,64 kr	161 329,64 kr
16	127925,0291	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 931,00 kr	95 227,39 kr	94 914,71 kr	-172 234,36 kr	94 914,71 kr	255 771,35 kr	255 771,35 kr
17	127541,254	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 906,77 kr	94 941,71 kr	94 441,71 kr	-77 792,65 kr	94 441,71 kr	349 928,24 kr	349 928,24 kr
18	127158,6302	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 882,54 kr	94 656,88 kr	94 156,88 kr	-68 000,00 kr	94 156,88 kr	443 801,15 kr	443 801,15 kr
19	126777,1543	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 858,31 kr	94 372,91 kr	93 872,91 kr	-58 100,00 kr	93 872,91 kr	537 390,95 kr	537 390,95 kr
20	126396,8229	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 834,08 kr	94 089,79 kr	93 589,79 kr	-48 200,00 kr	93 589,79 kr	630 698,47 kr	630 698,47 kr
21	126017,6324	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 809,85 kr	93 807,53 kr	93 307,53 kr	-38 300,00 kr	93 307,53 kr	723 724,57 kr	723 724,57 kr
22	125639,5795	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 785,62 kr	93 526,10 kr	93 026,10 kr	-28 400,00 kr	93 026,10 kr	816 470,10 kr	816 470,10 kr
23	125262,6608	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 761,39 kr	93 245,52 kr	92 745,52 kr	-18 500,00 kr	92 745,52 kr	908 935,89 kr	908 935,89 kr
24	124886,8728	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 737,16 kr	92 965,79 kr	92 465,79 kr	-8 600,00 kr	92 465,79 kr	1 001 122,78 kr	1 001 122,78 kr
25	124512,2122	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 712,93 kr	92 686,89 kr	92 186,89 kr	2 300,00 kr	92 186,89 kr	1 093 031,61 kr	1 093 031,61 kr
26	124138,6755	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 688,70 kr	92 408,83 kr	91 908,83 kr	1 300,00 kr	91 908,83 kr	1 184 663,21 kr	1 184 663,21 kr
27	123766,2595	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 664,47 kr	92 131,60 kr	91 631,60 kr	300,00 kr	91 631,60 kr	1 276 018,42 kr	1 276 018,42 kr
28	123394,9607	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 640,24 kr	91 855,21 kr	91 355,21 kr	200,00 kr	91 355,21 kr	1 367 098,06 kr	1 367 098,06 kr
29	123024,7759	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 616,01 kr	91 579,64 kr	91 079,64 kr	100,00 kr	91 079,64 kr	1 457 902,97 kr	1 457 902,97 kr
30	122655,7015	0,00 kr	0,00 kr	-500,00 kr	7 591,78 kr	91 304,90 kr	90 804,90 kr	0,00 kr	90 804,90 kr		

### Bilaga 4.2 – Modell 2 resultat kalkyl utan hänsyn till kalkylränta

År	Energi		Investering		Kostnader / Intäkter			Kassaflöde			
	Producerad el efter degradering	Utän stöd	Med stöd	Årlig kostnad	Egenanvänd el	Elcertifikat	Egenanvänd el	Utän stöd	Akkumulerat	Med stöd	Akkumulerat
0	0	-2 098 000,00 kr	-1 678 400,00 kr	0	0	0	0	-2 098 000,00 kr	-2 098 000,00 kr	-1 678 400,00 kr	-1 678 400,00 kr
1	159076,786	0	0	-500,00 kr	118 416,76 kr	9 862,76 kr	127 779,52 kr	-1 970 220,48 kr	127 779,52 kr	-1 550 620,48 kr	-1 550 620,48 kr
2	158599,5556	0	0	-500,00 kr	118 061,51 kr	9 833,17 kr	127 394,68 kr	-1 842 825,80 kr	127 394,68 kr	-1 423 225,80 kr	-1 423 225,80 kr
3	158123,757	0	0	-500,00 kr	117 707,32 kr	9 803,67 kr	127 011,00 kr	-1 715 814,80 kr	127 011,00 kr	-1 296 214,80 kr	-1 296 214,80 kr
4	157649,3857	0	0	-500,00 kr	117 354,20 kr	9 774,26 kr	126 628,46 kr	-1 589 186,34 kr	126 628,46 kr	-1 169 586,34 kr	-1 169 586,34 kr
5	157176,4375	0	0	-500,00 kr	117 002,14 kr	9 744,94 kr	126 247,08 kr	-1 462 939,26 kr	126 247,08 kr	-1 043 339,26 kr	-1 043 339,26 kr
6	156704,9082	0	0	-500,00 kr	116 651,13 kr	9 715,70 kr	125 866,84 kr	-1 337 072,42 kr	125 866,84 kr	-917 472,42 kr	-917 472,42 kr
7	156234,7935	0	0	-500,00 kr	116 301,18 kr	9 686,56 kr	125 487,74 kr	-1 211 584,68 kr	125 487,74 kr	-791 984,68 kr	-791 984,68 kr
8	155766,0891	0	0	-500,00 kr	115 952,28 kr	9 657,50 kr	125 109,77 kr	-1 086 474,91 kr	125 109,77 kr	-666 874,91 kr	-666 874,91 kr
9	155298,7909	0	0	-500,00 kr	115 604,42 kr	9 628,53 kr	124 732,94 kr	-961 741,96 kr	124 732,94 kr	-542 141,96 kr	-542 141,96 kr
10	154832,8945	0	0	-500,00 kr	115 257,61 kr	9 599,64 kr	124 357,25 kr	-837 384,72 kr	124 357,25 kr	-417 784,72 kr	-417 784,72 kr
11	154368,3958	0	0	-500,00 kr	114 911,83 kr	9 570,84 kr	123 982,67 kr	-713 402,04 kr	123 982,67 kr	-293 802,04 kr	-293 802,04 kr
12	153905,2906	0	0	-500,00 kr	114 567,10 kr	9 542,13 kr	123 609,23 kr	-589 792,82 kr	123 609,23 kr	-170 192,82 kr	-170 192,82 kr
13	153443,5747	0	0	-500,00 kr	114 223,40 kr	9 513,50 kr	123 236,90 kr	-466 555,92 kr	123 236,90 kr	-46 955,92 kr	-46 955,92 kr
14	152983,244	0	0	-500,00 kr	113 880,73 kr	9 484,96 kr	122 865,69 kr	-343 690,23 kr	122 865,69 kr	75 909,77 kr	75 909,77 kr
15	152524,2943	-252 200,00 kr	-252 200,00 kr	-500,00 kr	113 539,08 kr	9 456,51 kr	-129 704,41 kr	-473 394,64 kr	-129 704,41 kr	-53 794,64 kr	-53 794,64 kr
16	152066,7214	0	0	-500,00 kr	113 198,47 kr	9 428,17 kr	112 698,47 kr	-360 696,17 kr	112 698,47 kr	58 903,83 kr	58 903,83 kr
17	151610,5212	0	0	-500,00 kr	112 858,87 kr	9 400,00 kr	112 358,87 kr	-248 337,30 kr	112 358,87 kr	171 262,70 kr	171 262,70 kr
18	151155,6897	0	0	-500,00 kr	112 520,30 kr	9 371,78 kr	112 020,30 kr	-136 317,00 kr	112 020,30 kr	283 283,00 kr	283 283,00 kr
19	150702,2226	0	0	-500,00 kr	112 182,73 kr	9 343,61 kr	111 682,73 kr	-24 634,27 kr	111 682,73 kr	394 965,73 kr	394 965,73 kr
20	150250,1159	0	0	-500,00 kr	111 846,19 kr	9 315,54 kr	111 346,19 kr	86 711,92 kr	111 346,19 kr	506 311,92 kr	506 311,92 kr
21	149799,3656	0	0	-500,00 kr	111 510,65 kr	9 287,47 kr	111 010,65 kr	197 722,57 kr	111 010,65 kr	617 322,57 kr	617 322,57 kr
22	149349,9675	0	0	-500,00 kr	111 176,12 kr	9 259,40 kr	110 676,12 kr	308 398,68 kr	110 676,12 kr	727 998,68 kr	727 998,68 kr
23	148901,9176	0	0	-500,00 kr	110 842,59 kr	9 231,33 kr	110 342,59 kr	418 741,27 kr	110 342,59 kr	838 341,27 kr	838 341,27 kr
24	148455,2118	0	0	-500,00 kr	110 510,06 kr	9 203,26 kr	110 010,06 kr	528 751,33 kr	110 010,06 kr	948 351,33 kr	948 351,33 kr
25	148009,8462	0	0	-500,00 kr	110 178,53 kr	9 175,19 kr	109 678,53 kr	638 429,86 kr	109 678,53 kr	1 058 029,86 kr	1 058 029,86 kr
26	147565,8167	0	0	-500,00 kr	109 847,99 kr	9 147,12 kr	109 347,99 kr	747 777,85 kr	109 347,99 kr	1 167 377,85 kr	1 167 377,85 kr
27	147123,1192	0	0	-500,00 kr	109 518,45 kr	9 119,05 kr	109 018,45 kr	856 796,30 kr	109 018,45 kr	1 276 396,30 kr	1 276 396,30 kr
28	146681,7499	0	0	-500,00 kr	109 189,89 kr	9 090,98 kr	108 689,89 kr	965 486,20 kr	108 689,89 kr	1 385 086,20 kr	1 385 086,20 kr
29	146241,7046	0	0	-500,00 kr	108 862,32 kr	9 062,91 kr	108 362,32 kr	1 073 848,52 kr	108 362,32 kr	1 493 448,52 kr	1 493 448,52 kr
30	145802,9795	0	0	-500,00 kr	108 535,74 kr	9 034,84 kr	108 035,74 kr	1 181 884,26 kr	108 035,74 kr	1 601 484,26 kr	1 601 484,26 kr

## Bilaga 4.3 – Modell 1 med hänsyn till kalkylränta

År	Energi nuvärde efter degradering	Investering		Kostnader / Intäkt			Kassaflöde			
		Utan stöd	Med Stöd	Årlig kostnad	Elcertifikat	Egenanvänd el	Utan stöd	Akkumulerat	Med stöd	Akkumulerat
0	0	-1 667 820,00 kr	-1 334 256,00 kr	0	0	0	-1 667 820,00 kr	-1 667 820,00 kr	-1 334 256,00 kr	-1 334 256,00 kr
1	127449,7097	0,00 kr	0,00 kr	-476,19 kr	7 901,88 kr	94 873,56 kr	102 299,26 kr	-1 565 520,74 kr	102 299,26 kr	-1 231 956,74 kr
2	121016,5339	0,00 kr	0,00 kr	-453,51 kr	7 503,03 kr	90 084,71 kr	97 134,22 kr	-1 468 386,53 kr	97 134,22 kr	-1 134 822,53 kr
3	114908,0803	0,00 kr	0,00 kr	-431,92 kr	7 124,30 kr	85 537,57 kr	92 229,96 kr	-1 376 156,57 kr	92 229,96 kr	-1 042 592,57 kr
4	109107,9581	0,00 kr	0,00 kr	-411,35 kr	6 764,69 kr	81 219,96 kr	87 573,31 kr	-1 288 583,26 kr	87 573,31 kr	-955 019,26 kr
5	103600,6041	0,00 kr	0,00 kr	-391,76 kr	6 423,24 kr	77 120,29 kr	83 151,76 kr	-1 205 431,50 kr	83 151,76 kr	-871 867,50 kr
6	98371,24023	0,00 kr	0,00 kr	-373,11 kr	6 099,02 kr	73 227,55 kr	78 953,46 kr	-1 126 478,04 kr	78 953,46 kr	-792 914,04 kr
7	93405,83477	0,00 kr	0,00 kr	-355,34 kr	5 791,16 kr	69 531,30 kr	74 967,12 kr	-1 051 510,91 kr	74 967,12 kr	-717 946,91 kr
8	88691,06406	0,00 kr	0,00 kr	-338,42 kr	5 498,85 kr	66 021,63 kr	71 182,05 kr	-980 328,86 kr	71 182,05 kr	-646 764,86 kr
9	84214,27702	0,00 kr	0,00 kr	-322,30 kr	5 221,29 kr	62 689,11 kr	67 588,09 kr	-912 740,77 kr	67 588,09 kr	-579 176,77 kr
10	79963,46113	0,00 kr	0,00 kr	-306,96 kr	4 957,73 kr	59 524,80 kr	64 175,58 kr	-848 565,19 kr	64 175,58 kr	-515 001,19 kr
11	75927,21024	0,00 kr	0,00 kr	-292,34 kr	4 707,49 kr	56 520,22 kr	60 935,36 kr	-787 629,83 kr	60 935,36 kr	-454 065,83 kr
12	72094,69391	0,00 kr	0,00 kr	-278,42 kr	4 469,87 kr	53 667,29 kr	57 858,74 kr	-729 771,09 kr	57 858,74 kr	-396 207,09 kr
13	68455,62841	0,00 kr	0,00 kr	-265,16 kr	4 244,25 kr	50 958,37 kr	54 937,46 kr	-674 833,63 kr	54 937,46 kr	-341 269,63 kr
14	65000,24907	0,00 kr	0,00 kr	-252,53 kr	4 030,02 kr	48 386,19 kr	52 163,67 kr	-622 669,96 kr	52 163,67 kr	-289 105,96 kr
15	61719,28412	-85 043,82 kr	-85 043,82 kr	-240,51 kr	3 826,60 kr	45 943,84 kr	-35 513,90 kr	-658 183,86 kr	-35 513,90 kr	-324 619,86 kr
16	58603,92977	0,00 kr	0,00 kr	-229,06 kr	0,00 kr	43 624,77 kr	43 395,71 kr	-614 788,15 kr	43 395,71 kr	-281 224,15 kr
17	55645,82665	0,00 kr	0,00 kr	-218,15 kr	0,00 kr	41 422,75 kr	41 204,61 kr	-573 583,55 kr	41 204,61 kr	-240 019,55 kr
18	52837,03731	0,00 kr	0,00 kr	-207,76 kr	0,00 kr	39 331,89 kr	39 124,13 kr	-534 459,42 kr	39 124,13 kr	-200 895,42 kr
19	50170,02495	0,00 kr	0,00 kr	-197,87 kr	0,00 kr	37 346,57 kr	37 148,70 kr	-497 310,72 kr	37 148,70 kr	-163 746,72 kr
20	47637,63321	0,00 kr	0,00 kr	-188,44 kr	0,00 kr	35 461,45 kr	35 273,01 kr	-462 037,71 kr	35 273,01 kr	-128 473,71 kr
21	45233,06696	0,00 kr	0,00 kr	-179,47 kr	0,00 kr	33 671,50 kr	33 492,02 kr	-428 545,69 kr	33 492,02 kr	-94 981,69 kr
22	42949,87406	0,00 kr	0,00 kr	-170,92 kr	0,00 kr	31 971,89 kr	31 800,96 kr	-396 744,72 kr	31 800,96 kr	-63 180,72 kr
23	40781,92804	0,00 kr	0,00 kr	-162,79 kr	0,00 kr	30 358,07 kr	30 195,28 kr	-366 549,44 kr	30 195,28 kr	-32 985,44 kr
24	38723,41167	0,00 kr	0,00 kr	-155,03 kr	0,00 kr	28 825,71 kr	28 670,67 kr	-337 878,77 kr	28 670,67 kr	-4 314,77 kr
25	36768,80137	0,00 kr	0,00 kr	-147,65 kr	0,00 kr	27 370,70 kr	27 223,04 kr	-310 655,72 kr	27 223,04 kr	22 908,28 kr
26	34912,85234	0,00 kr	0,00 kr	-140,62 kr	0,00 kr	25 989,13 kr	25 848,51 kr	-284 807,22 kr	25 848,51 kr	48 756,78 kr
27	33150,58456	0,00 kr	0,00 kr	-133,92 kr	0,00 kr	24 677,30 kr	24 543,37 kr	-260 263,85 kr	24 543,37 kr	73 300,15 kr
28	31477,26934	0,00 kr	0,00 kr	-127,55 kr	0,00 kr	23 431,68 kr	23 304,13 kr	-236 959,71 kr	23 304,13 kr	96 604,29 kr
29	29888,4167	0,00 kr	0,00 kr	-121,47 kr	0,00 kr	22 248,94 kr	22 127,46 kr	-214 832,25 kr	22 127,46 kr	118 731,75 kr
30	28379,76328	0,00 kr	0,00 kr	-115,69 kr	0,00 kr	21 125,90 kr	21 010,21 kr	-193 822,04 kr	21 010,21 kr	139 741,96 kr

## Bilaga 4.4 – Modell 2 med hänsyn till kalkylränta

År	Energi nuvärde efter degradering	Investering		Kostnader / Intäkt			Kassaflöde			
		Utan stöd	Med Stöd	Årlig kostnad	Elcertifikat	Egenanvänd el	Utan stöd	Akkumulerat	Med stöd	Akkumulerat
0	0	-2 098 000,00 kr	-1 678 400,00 kr	0,00 kr	0,00 kr	0,00 kr	-2 098 000,00 kr	-2 098 000,00 kr	-1 678 400,00 kr	-1 678 400,00 kr
1	151501,701	0,00 kr	0,00 kr	-476,19 kr	9 393,11 kr	112 777,87 kr	121 694,78 kr	-1 976 305,22 kr	121 694,78 kr	-1 556 705,22 kr
2	143854,4722	0,00 kr	0,00 kr	-453,51 kr	8 918,98 kr	107 085,27 kr	115 550,73 kr	-1 860 754,49 kr	115 550,73 kr	-1 441 154,49 kr
3	136593,2465	0,00 kr	0,00 kr	-431,92 kr	8 468,78 kr	101 680,01 kr	109 716,88 kr	-1 751 037,61 kr	109 716,88 kr	-1 331 437,61 kr
4	129698,5398	0,00 kr	0,00 kr	-411,35 kr	8 041,31 kr	96 547,59 kr	104 177,55 kr	-1 646 860,06 kr	104 177,55 kr	-1 227 260,06 kr
5	123151,8516	0,00 kr	0,00 kr	-391,76 kr	7 635,41 kr	91 674,24 kr	98 917,89 kr	-1 547 942,17 kr	98 917,89 kr	-1 128 342,17 kr
6	116935,6153	0,00 kr	0,00 kr	-373,11 kr	7 250,01 kr	87 046,87 kr	93 923,77 kr	-1 454 018,40 kr	93 923,77 kr	-1 034 418,40 kr
7	111033,1509	0,00 kr	0,00 kr	-355,34 kr	6 884,06 kr	82 653,08 kr	89 181,79 kr	-1 364 836,61 kr	89 181,79 kr	-945 236,61 kr
8	105428,6204	0,00 kr	0,00 kr	-338,42 kr	6 536,57 kr	78 481,07 kr	84 679,22 kr	-1 280 157,39 kr	84 679,22 kr	-860 557,39 kr
9	100106,9853	0,00 kr	0,00 kr	-322,30 kr	6 206,63 kr	74 519,64 kr	80 403,97 kr	-1 199 753,42 kr	80 403,97 kr	-780 153,42 kr
10	95053,96601	0,00 kr	0,00 kr	-306,96 kr	5 893,35 kr	70 758,17 kr	76 344,56 kr	-1 123 408,86 kr	76 344,56 kr	-703 808,86 kr
11	90256,00392	0,00 kr	0,00 kr	-292,34 kr	5 595,87 kr	67 186,57 kr	72 490,10 kr	-1 050 918,75 kr	72 490,10 kr	-631 318,75 kr
12	85700,22467	0,00 kr	0,00 kr	-278,42 kr	5 313,41 kr	63 795,25 kr	68 830,24 kr	-982 088,51 kr	68 830,24 kr	-562 488,51 kr
13	81374,40381	0,00 kr	0,00 kr	-265,16 kr	5 045,21 kr	60 575,11 kr	65 355,16 kr	-916 733,35 kr	65 355,16 kr	-497 133,35 kr
14	77266,9339	0,00 kr	0,00 kr	-252,53 kr	4 790,55 kr	57 517,51 kr	62 055,52 kr	-854 677,83 kr	62 055,52 kr	-435 077,83 kr
15	73366,79343	-121 312,51 kr	-121 312,51 kr	-240,51 kr	4 548,74 kr	54 614,24 kr	-62 390,04 kr	-917 067,87 kr	-62 390,04 kr	-497 467,87 kr
16	69663,51719	0,00 kr	0,00 kr	-229,06 kr	0,00 kr	51 857,52 kr	51 628,47 kr	-865 439,40 kr	51 628,47 kr	-445 839,40 kr
17	66147,16823	0,00 kr	0,00 kr	-218,15 kr	0,00 kr	49 239,95 kr	49 021,80 kr	-816 417,60 kr	49 021,80 kr	-396 817,60 kr
18	62808,31116	0,00 kr	0,00 kr	-207,76 kr	0,00 kr	46 754,51 kr	46 546,75 kr	-769 870,85 kr	46 546,75 kr	-350 270,85 kr
19	59637,98688	0,00 kr	0,00 kr	-197,87 kr	0,00 kr	44 394,52 kr	44 196,65 kr	-725 674,20 kr	44 196,65 kr	-306 074,20 kr
20	56627,6885	0,00 kr	0,00 kr	-188,44 kr	0,00 kr	42 153,65 kr	41 965,21 kr	-683 709,00 kr	41 965,21 kr	-264 109,00 kr
21	53769,33851	0,00 kr	0,00 kr	-179,47 kr	0,00 kr	40 025,90 kr	39 846,42 kr	-643 862,57 kr	39 846,42 kr	-224 262,57 kr
22	51055,26714	0,00 kr	0,00 kr	-170,92 kr	0,00 kr	38 005,54 kr	37 834,62 kr	-606 027,96 kr	37 834,62 kr	-186 427,96 kr
23	48478,19175	0,00 kr	0,00 kr	-162,79 kr	0,00 kr	36 087,17 kr	35 924,38 kr	-570 103,58 kr	35 924,38 kr	-150 503,58 kr
24	46031,19731	0,00 kr	0,00 kr	-155,03 kr	0,00 kr	34 265,62 kr	34 110,59 kr	-535 992,99 kr	34 110,59 kr	-116 392,99 kr
25	43707,71782	0,00 kr	0,00 kr	-147,65 kr	0,00 kr	32 536,03 kr	32 388,37 kr	-503 604,61 kr	32 388,37 kr	-84 004,61 kr
26	41501,51873	0,00 kr	0,00 kr	-140,62 kr	0,00 kr	30 893,73 kr	30 753,11 kr	-472 851,50 kr	30 753,11 kr	-53 251,50 kr
27	39406,68017	0,00 kr	0,00 kr	-133,92 kr	0,00 kr	29 334,33 kr	29 200,41 kr	-443 651,09 kr	29 200,41 kr	-24 051,09 kr
28	37417,58107	0,00 kr	0,00 kr	-127,55 kr	0,00 kr	27 853,65 kr	27 726,10 kr	-415 924,99 kr	27 726,10 kr	3 675,01 kr
29	35528,88413	0,00 kr	0,00 kr	-121,47 kr	0,00 kr	26 447,70 kr	26 326,23 kr	-389 598,77 kr	26 326,23 kr	30 001,23 kr
30	33735,5214	0,00 kr	0,00 kr	-115,69 kr	0,00 kr	25 112,72 kr	24 997,03 kr	-364 601,73 kr	24 997,03 kr	54 998,27 kr