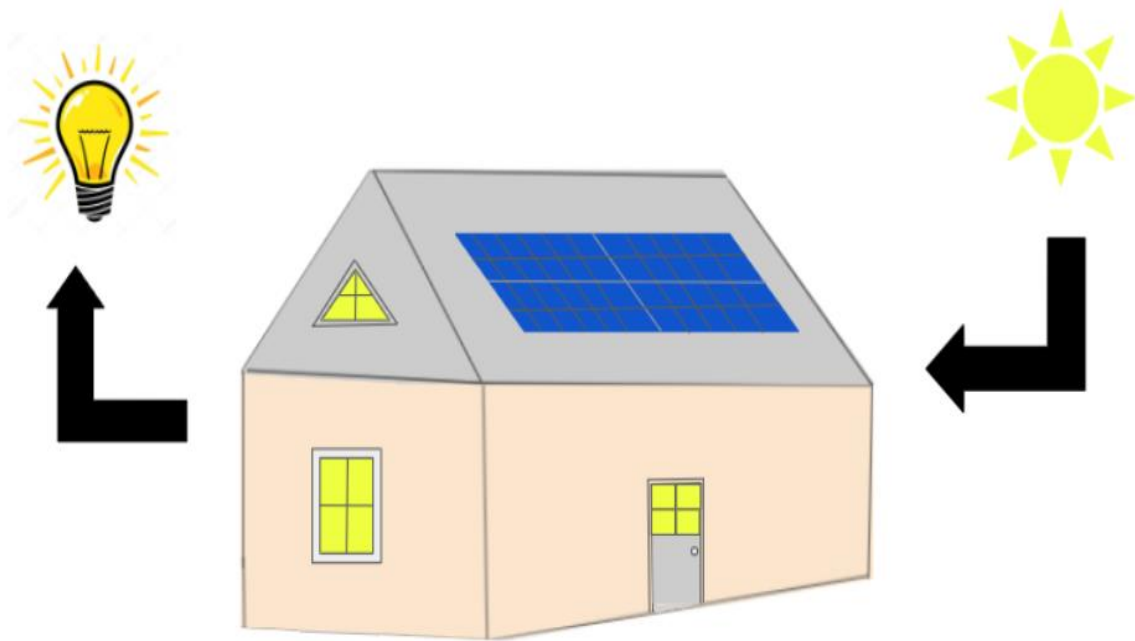




CHALMERS



Dimensionering av solcellsinstallation i en Göteborgsvilla

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroteknik
DUNIA FAKHRULDEEN

EXAMENSARBETE 2024

Dimensionering av solcellsinstallation i en Göteborgsvilla

Dunia Fakhruldeen



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Institutionen för elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2024

Dimensionering av solcellsinstallation i en Göteborgsvilla

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet elektroteknik

Dunia Fakhrudeen 2024

Handledare och examinator: Thomas Hammarström, Institutionen för elektroteknik, Chalmers tekniska högskola

Institutionen för elektroteknik,

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Telefonnummer: +46-(0)31 772 10 00

Framsidan: egen designbild

Göteborg 2024

Förord

Detta examensarbete är det slutliga projektet inom utbildningen elektroteknik, högskoleingenjör vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet utförs under studieperioden 2023-11-13 till 2024-03-31 och motsvarar 15 högskolepoäng. Examensarbetet utförs i Chalmers tekniska högskola i Lindholm. Den handlar om och fokuserar på möjligheten att öka användningen av förnybara energikällor (solceller) samt studera påverkan av dess användningen inom miljö- och ekonomiskt perspektiv. Jag skulle vilja rikta ett stort tack till min handledare och examinator Thomas Hammarström för hans vägledning, feedback och all hjälp, som bidrog till att utföra detta arbete på bästa möjliga sätt

Dunia Fakhruldeen

Sammanfattning

Energi finns överallt runt omkring oss. Den kan varken skapas eller förstöras, men den kan omvandlas från en form till en annan. Det finns två källor till energi, icke förnybara energikällor som leder till ökade miljöproblem och förnybara energikällor. Efterfrågan av energi i form av elektricitet har ökat på grund av den globala industrialiseringen. Eftersom solen förser jorden med i princip oändlig energi (solenergi), kan dess energi utnyttjas. Solceller används för att omvandla solenergin till elektricitet, men enskilda solceller räcker inte för att omvandla solenergin till el, utan det behövs ett helt system.

Syftet med detta arbete är att undersöka och estimerar den faktiska elförbrukningen för en villa i Göteborg med en sådan utrustning. Resultatet är beroende på hur stor den tillgängliga takytan är och hur stort energitillskott som kan uppnås vid en installation av solpaneler, samt presentera detaljerade förslag för att implementera minst en sådan lösning.

Arbetet är baserat på att installera ett solcellssystem på taket av en villa i Göteborg. När installationen är klar, skall mängden av KWh som produceras av solcellsanläggningen i den tillgängliga ytan undersökas. Alla faktorer som påverkar den erhållna produktionsmängden av energi kommer att beräknas och presenteras samt alla delar och utrustningar som ingår i solcellssystemet kommer att beskrivas, det vill säga vilken funktion de har, hur utrustningen väljs och på vilket sätt de kopplas till varandra.

Möjligheten att använda en eller flera batterier för att lagra överskott av den producerade el från solcellsanläggningen är känd, men i den här studien används inte batteri. Anledning till detta är att kopplingen mellan solcellsanläggningen och elnätet är en On Grid koppling där det inte behöver inköps av dyra batteri utan överskott kan sparas eller säljas till elnätet

Det visar sig att solcellsanläggningens produktion räcker till att täcka mer än hälften av villans energibehov. Den minskar elräkningarnas storlek, bidrar inte till ökade koldioxidutsläpp under sin livslängd och kan även vara en inkomst genom att sälja energi överskott under de soliga månaderna. Därför rekommenderas att öka användningen av solceller i framtiden.

Nyckelord: solenergi, solceller, produktion, koldioxid, elräkningar

Abstract

Energy is everywhere around us. It can neither be created nor destroyed, but it can be transformed from one form to another. There are two sources of energy, non-renewable energy sources which lead to increase in environmental problems and renewable energy sources. The demand for energy in the form of electricity has increased due to global industrialization. Since the sun provides the earth with infinite energy (solar energy), its energy can be harnessed. Solar cells are used to convert solar energy into electricity, but individual solar cells are not enough to convert solar energy into electricity, a whole system of them and additional equipment is needed.

The purpose of this work is to investigate and estimate the actual electricity consumption for a villa in Gothenburg. This is based on how large the available roof surface is and how large an energy addition can be achieved when installing solar panels, as well as presenting detailed solutions to implement at least one such solution.

The work is based on installing a solar cell system on the roof of a villa in Gothenburg. When the installation is complete, the amount of kWh produced by the solar cell installation in the available area must be examined. All factors that affect the obtained production amount of energy will be calculated and presented, and all parts and equipment included in the solar cell system will be written, that is, what function they have, how the equipment is selected and in what order they are connected to each other.

It is known how to use one or more batteries to store excess of the produced electricity from the solar cell plant, but this study does not include such solution. The reason for this is that the connection between the solar cell plant and the electricity grid is an On Grid connection where there is no need to purchase expensive batteries, but the surplus can be saved or sold to the electricity grid.

It turns out that the production of the solar cell plant is enough to cover more than half of the villa's energy needs. It reduces purchased electricity bills, does not contribute to carbon dioxide emissions during its lifetime and can also be an income by selling energy surplus during the sunny months. Therefore, it is recommended to increase the use of solar cells in the future.

Keywords: solar energy, solar cells, production, carbon dioxide, electricity bills

Innehåll

Förkortningslista.....	1
1. Inledning.....	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Syfte	3
1.3 Mål	3
1.4 Frågeställning	3
2. Teori	4
2.1 Historia.....	4
2.2 Solcells systemuppbyggnad	4
2.3 solcellsanläggning	5
2.3.1 Solpanel.....	6
2.3.1a Kiselsolceller	7
2.3.1b Tunnsolceller.....	8
2.3.2 Växelskåp	9
2.3.3 El central	9
2.3.4 Elmätare	9
2.3.5 DC-Brytare	10
2.3.6 AC- Brytare	10
2.3.7 Effektoptimerare.....	10
2.3.8 Solcellskablar	10
2.3.9 Solcell batterier.....	10
2.3.9a Litiumbatterier	11
2.3.9b Nickelmetallhydrid.....	11
2.3.9c Blybatterier	11
2.4 Förutsättningar för anläggningen i huset.....	11
2.5 Anslutning av solcellsanläggningen till elnätet	13
2.5.1 ON-GRID solsystem	13
2.5.2 OFF-GRID solsystem.....	14
2.5.3 HYBRID solsystem.....	15
2.6 Solceller inom miljöperspektivet.....	16
2.7 Solceller inom ekonomiperspektivet	16
3. Material och metod.....	18
3.1 Datainsamling.....	18
3.2 Solstrålning och temperatur.....	18
3.3 Villans egenskaper och energibehov	18
3.4 Val av paneler och andra material	19

3.4.1 Val av paneler	20
3.4.2 Val av växelriktaren.....	20
3.4.3 Val av kablar.....	21
3.4.4 Val av en säkring	23
3.5 installationen av solcellsanläggningen	23
3.6 Faktorer som påverkar produktion	24
3.7 Lönsamhet av solcellsanläggning.....	25
3.7.1 Gröna teknik.....	25
3.7.2 Installation och materialkostnader.....	25
3.8 koldioxid utsläpp från solceller	26
4. Resultat.....	27
4.1 Totala produktionen av anläggningen.....	27
4.2 Ekonomi och lönsamhet	28
4.3 Miljöpåverkan	29
5. Diskussion	30
5.1 Felkällor	30
6 Slutsatser	32
8. Referenser.....	33
9. Bilagor.....	37

Förkortningslista

A	amper: enheten för att mäta elektrisk ström.
AC	växelström/spänning
STC	Standard Test Conditions, där $T = 25^{\circ}\text{C}$, Instrålning = 1000 W/m^2 och luftmassan = 1.5
DC	likström/spänning
I_B	Belastningsström för vilken kretsen ska dimensioneras
I_n	Överlastskyddets märkström
I_2	Ström som tillförsäkrar säker funktion hos överlastskyddet. (Funktionsström) (framgår av produktstandarden eller av anvisningar från tillverkaren.
I_{SC}	märkkortslutningsström
I_Z	Belastningsförmågan
kWh	kilowatt per timme (1000 Watt per timme).
kWp	Kilowatt peak, toppeffekten av solcallepaneler.
kW	kilowatt (1000 Watt)
m^2	kvadratmeter m^2
mm^2	Kvadratmillimeter
MPPT	Maximum Power Point Tracker.
PV	Fotovoltaiska
PEX	PEX är en förkortning av tvärbunden polyeten och syftar till det plastmaterialet rören är tillverkat av.
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
V	volt: enheten för att mäta elektrisk spänningen.
W	watt: enheten för att mäta effekten.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Energi kan definieras som en rörelse, med andra ord kan man säga att den innebär förmågan till rörelse. Energin finns i allt omkring oss. Den finns i många former; till exempel elektrisk energi, värmeenergi, rörelseenergi kemisk energi och lägesenergi. Energi är oftast mätbar. Det finns olika måttenheter som används till att mäta det, beroende på typ av energi använder man en lämplig enhet. Måttenheterna är kalorier, Joule och kWh. Den sistnämnda är den vanligaste måttenheten, den motsvarar ca. 860 tusen kalorier och 3,6 miljoner joule. Inom el och värme utnyttjas stora mängder energi därför används oftast kWh [0].

Enligt energiprincipen kan energin inte skapas eller försvinnas men den kan omvandlas från en form till en annan.

Energikällor är delade i två delar:

- Den första källan till energin är icke förnybara s.k. fossila bränslen (kol, petroleum, naturgas och kärnenergi). Fossila bränsle har bildats genom en komplicerad process som kan ta miljontals år där resterna av döda växter och djur utsatt för värme och tryck i jordkroppen [1].
- Den andra kallas för förnybara energikällor. Den är en oändlig energikälla, dess energi återvinns från naturens resurser såsom vattenkraft, biomassa, vindenergi, jordvärme, vågenergi och solenergi. Grunden till det förnybara bränslet är jordens kärna samt solen [1].

Det fossila bränslet ersätts med förnybara bränsle i flertalet områden, bland annat: produktion av krafter, transportbränsle, varmvatten och landsbygds (off-grid) energitjänster. Den förnybara energin är idag under utveckling. Där sker flera utvecklingsprocesser och det uppkommer nyare tekniker och modeller kontinuerligt. Fokusområden med denna utveckling av teknikerna att öka effektiviteten av den förnybara energin och minska kostnaderna. Då idag anses det kostsamt samt svårt att transportera och distribuera fossila bränsle framför allt i avlägsna områden och landsbygden, därför är det mer enkelt och lönsamt med produktion av förnybara energin lokalt just i dessa områden [1].

I allt väsentligt kan solen betraktas som oändlig energiresurs dessutom är den en värmekälla och essentiell förutsättning för allt liv. Potentialen i de solstrålningarna som når jorden är ofantlig som gör att den har ett stort bidrag till den globala energiförsörjningen [2]. Solljusstrålningen som når jorden omvandlas dels till värme och elektricitet. Genom solcellsanvändning utnyttjas Solenergi idag och ersätter andra energikällor som exempelvis:

- El kan produceras med solenergi i stället för användningen av kol och gas.
- Flygplan kan drivas med solenergi i stället för använda den vanliga flygplans bränsle.
- Höjning av byggnaders temperatur samt uppvärmningen av vattnet sker nu med solenergi i stället för förbränning för fossila bränsle

Den globala industrialiseringen ledde till en märkbar ökning av efterfrågan av all typ av energi, exempelvis elektricitet, oberoende av källa. En av de viktigaste energiresurser som används i dagens marknad är fossila bränslen. Den är som tidigare nämnts en icke förnybara källa dessutom innebär användningen och utvinningen av dessa till ökade föroreningar i både land och vatten. Dessa släpper även ut farliga gaser främst koldioxid (en växthusgas) i luften som har bidragit till växthuseffekt som anses idag vara en av de största miljökatastrofer i världen. Man kan bekämpa dessa miljöproblem genom att minska användningen av fossila bränslen och ersätta den med förnybara energikällor [3].

Solenergi är en utmärkt källa till den förnybara energin. Solceller är en elektrisk enhet som kan omvandla solljuset till elektricitet med hjälp av en halvledande material [1]. För att kunna utnyttja och omvandla solljuset till elektricitet används fotovoltaiska solceller (PV).

De installeras oftast på byggnaders takytor och fasader eller i storskaliga markbaserade arrayer som en uppsättning av enstaka paneler, enligt **bild 1.1**. En modul består av många solceller som är anslutna till varandra. Antal celler varierar mellan de olika moduler, där innehåller kristallina moduler cirka 60–72 celler. Strömmen som produceras från solceller är likström. Därefter finns en apparat(växelriktare) som omvandla denna till växelström, detta förklaras sedan i rapporten [1].



Bild 1.1: anläggning av solceller på takytan och mark [1].

1.2 Syfte

Solpaneler är en välkänd alternativ för produktion av elektricitet från solenergi för att öka andelen förnyelsebar energi i elkonsumtionen. Det har blivit därför alltmer vanligt att man skaffar solpaneler till sin villa för att reducera kostnaden för uppvärmning och övrig elanvändning. Syftet med detta arbete utgå från en villas faktiska elförbrukning samt att estimerar, baserat på hur stor den tillgängliga takytan är estimerar hur stort energitillskott som kan uppnås vid en installation av solpaneler samt presentera detaljerade lösningar för att implementera minst en sådan lösning.

Arbetet kommer att fokusera på de elektrotekniska aspekterna av solpanelsanvändning, bland annat design, konstruktion, verkningsgrad samt utarbetande av tekniska lösningar för att uppnå det mest fördelaktiga resultatet. Uppgiften är därför att undersöka hur solcellslösningar kan implementeras i detta exempel, studera och välja den mest lämpliga alternativ, samt att analysera och dimensionera av ingående komponenter. Utöver detta kommer möjligheten att sälja överskottsel till elnätet undersökas och vilka extrakomponenter som då krävs. Detta kan innebära användandet av ellagring i batterier.

1.3 Mål

Det strävs efter att presentera en eller två konstruktioner som skulle kunna användas rent tekniskt inom detta exempel, samtidigt att titta på effektivitet och ekonomi för dessa lösningar. I ett större perspektiv är det långsiktiga målet med arbetet är att utvärdera möjligheten att öka användning av solceller i Sverige så att den kan konkurrera med befintliga elkällor, dessutom analysera de ekonomiska och miljömässiga konsekvenserna av en ökad användning av solceller

1.4 Frågeställning

- Hur mycket elektricitet kan genereras genom att installera solpaneler på takytan med hänsyn till variation av solens ljusstyrka under året?
- Studera de lämpliga solcellernas effektivitet och verkningsgrad samt jämföra mellan olika de valda alternativen för att avgöra vilken är det som ger bäst effektivitet inom elproduktion ur det ekonomiska perspektivet?
- Vad finns för miljömässiga för- och nackdelar med en ökad användning av solceller?

2. Teori

2.1 Historia

Tanken om att producera energi från solljus har funnits sedan 1800-talet hos många forskare, men svårigheten var att tillämpa deras teori i praktiken. Användningen av solenergi upptäcktes först av den franska fysikern Edmond Becquerel 1839, då han kunde bygga den första fotovoltaiska cell i världen. Upptäckten motiverade många forskare till att forska inom solljus och energi. En av de forskarna var den tysk-amerikansk fysiker Albert Einstein som publicerade teorin om den fotoelektriska effekten år 1905 [4].

Den första versionen av de solceller som används idag upptäcktes år 1950. Den första fungerande solcellen presenterades av det amerikanska företaget Bell Laboratories år 1954. Dessa solceller hade en låg verkningsgrad på omkring 6 %. Denna teknik gav vetenskapsmän idé att tillämpa den för att kunna använda i rymden. Där kan det förlänga livslängden för satelliterna som skickades upp i rymden, genom produktion av elektricitet till satelliternas med hjälp av solljuset [5].

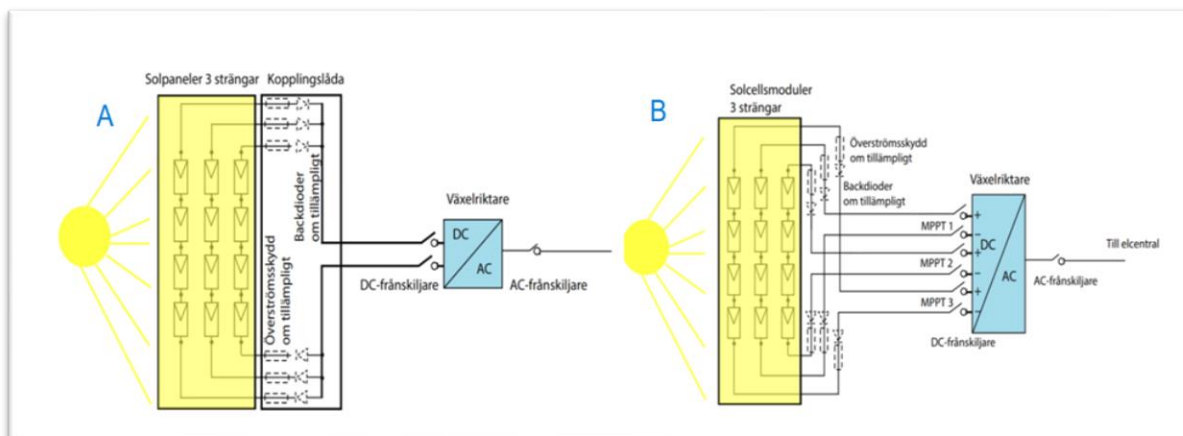
Tekniken att använda solceller var mycket kostsam, därför arbetade flertalet forskare hårt för att utveckla solcellsteknikerna så dess kostnader kunde minska. Flera forskare lyckade komma fram till nya och enklare versioner och på detta sätt började priset sjunka sakta. Den viktigaste revolutionerande i historia och marknaden för solenergi uppstod av Elliot Berman och sitt team år 1969. Denna forskargrupp hade förväntat sig att priset på nuvarande el kommer att höjas i framtiden, därför hade de arbetat kontinuerligt och intensivt för att kunna skapa enkla versioner av solceller, i syftet att sänka priset på produkten samt möjliggör att produkten blir tillgänglig i marknaden i större utsträckning. Till slut lyckade de att minska konsumentpriset med 50 % under några år [4].

I Sverige började investeringen av solceller på allvar under 1990-talet. Användningen av solceller började märkbart öka för privatpersoner efter år 2010, så att den kan ersätta nuvarande dyra el-källor. Under de senaste åren har priset på solceller sjunkit och tanken på miljö har ökat vilket gjorde att många privatpersoner har valt att installera solpaneler i huset för att producera egen el [5].

2.2 Solcells systemuppbyggnad

Solcellssystemets funktion är att få elektricitet genom att utnyttja solljuset. Systemet består av flera enheter som är kopplade med varandra som tillsammans bildar ett fungerande system. Den första enheten i systemet är solceller som har direkt kontakt med solljuset. Genom att koppla solcellmoduler med varandra bildas strängar, därefter kopplar strängarna med varandra med en parallellkoppling. Strömmen som genereras i panelerna överförs vidare till växelriktare på två olika metoder.

Den första metoden baserat på att koppla alla strängar ihop i en kopplingslåda, där leds den samlade energin i lådan till växelriktaren med en plus och minus ledare. För att få lika hög spänning från varenda sträng kräver det att strängarna i lådan ska vara identiska enligt **figur 2.1(A)**. Det vanligaste problemet med denna metod är att felström kan drivas in mot fel ställe från övriga inkopplade strängar, ifall ett fel exempelvis genom kortslutning till jord eller mellan moduler inträffar i en av strängarna. Problemet kan enkelt lösas genom att koppla backdioder i varje sträng [6].



Figur 2.1: metoder att koppla strängar till växelriktaren i ett solcellssystem [6].

Den andra metoden är baserad på att använda en växelriktare som innehåller flertal ingångar på DC sidan, på detta sätt kan varje enskild strängkabel dras direkt till växelriktaren, detta syns tidligt på **figur 2.1(B)**.

Nedanstående punkter förklarar varför är metod två som använder kopplingen mellan strängar och växelriktaren är generellt mer attraktiv idag jämför med den första metoden:

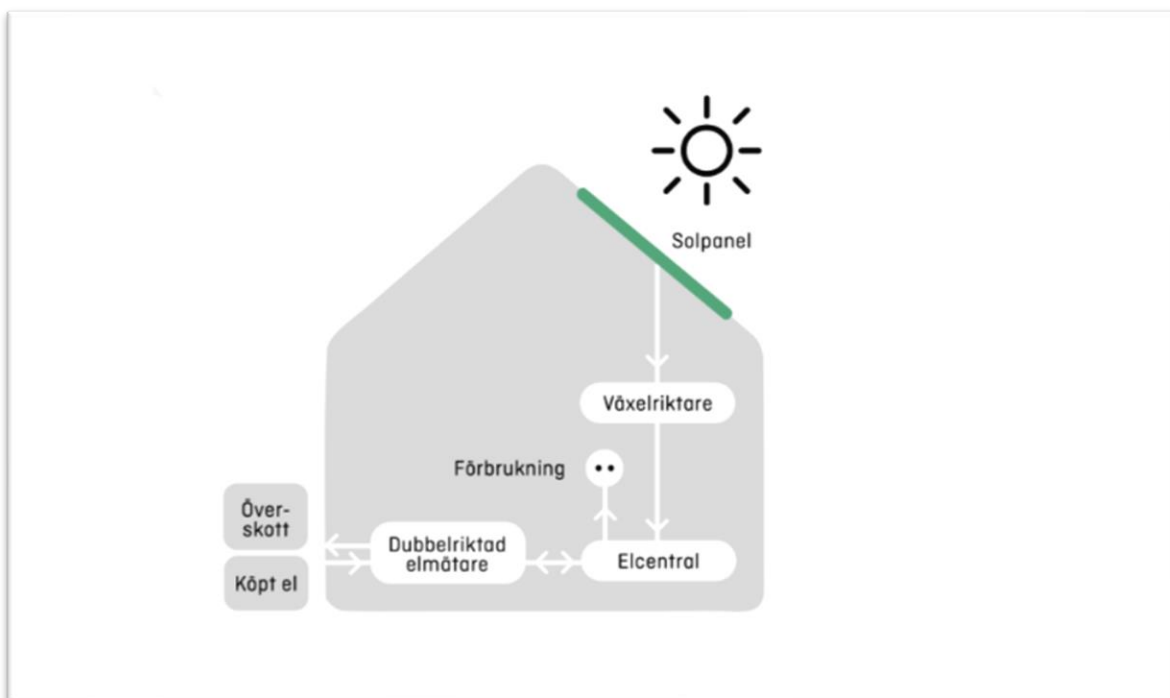
- Metoden ger mindre antal kopplingspunkter.
- Gör att växelriktaren kan hantera alla spänningsnivåer från strängar med tanke på att den innehåller många MPPT-moduler.
- Med flera ingångar på DC sidan av växelriktaren möjliggör att anordna strängar med olika antal solcellsmoduler.

Vanligtvis används en växelriktare i anläggningen men i stora anläggningar kan en eller fler växelriktare används. av säkerhetsskäl bör en frångiljare används på båda växelriktarens AC och DC sidor. Frångiljare måste också placeras nära växelriktaren [6].

Det finns ett annat system som gör att varje modul utnyttjas maximalt. dessutom den begränsar spänningen som kommer från solcellsmodulen till 1V likspänning efter frångiljning av växelriktaren. Systemet baseras på att placera en effektoptimerare bakom varje solcellsmodul. En av fördelarna med att använda detta system att den minskar brandrisken vilket dessutom gör att säkerheten vid arbete på tak ökar. Nackdelarna för systemet är att den innehåller fler kopplingspunkter utomhus samt behöver extra tillsyn [6].

2.3 solcellsanläggning

Användningen av bara solpaneler räcker inte för att kunna utnyttja solenergi och omvandla den till elektricitet. Produktionen av sol el kräver ett helt komplett och fungerande system som består av många delar, detta system kallas för solcellssystem eller solcellsanläggning. Där består ett solcellssystem av många komponenter som vardera har en viss funktion i systemet, exempelvis att leda, omforma och mäta strömmen som produceras i anläggningen. Huvuddelarna i anläggningen visas på **figur 2.2** nedan. Därefter följer en beskrivning av varje del i systemet som mer utförligt beskrivs i [7].

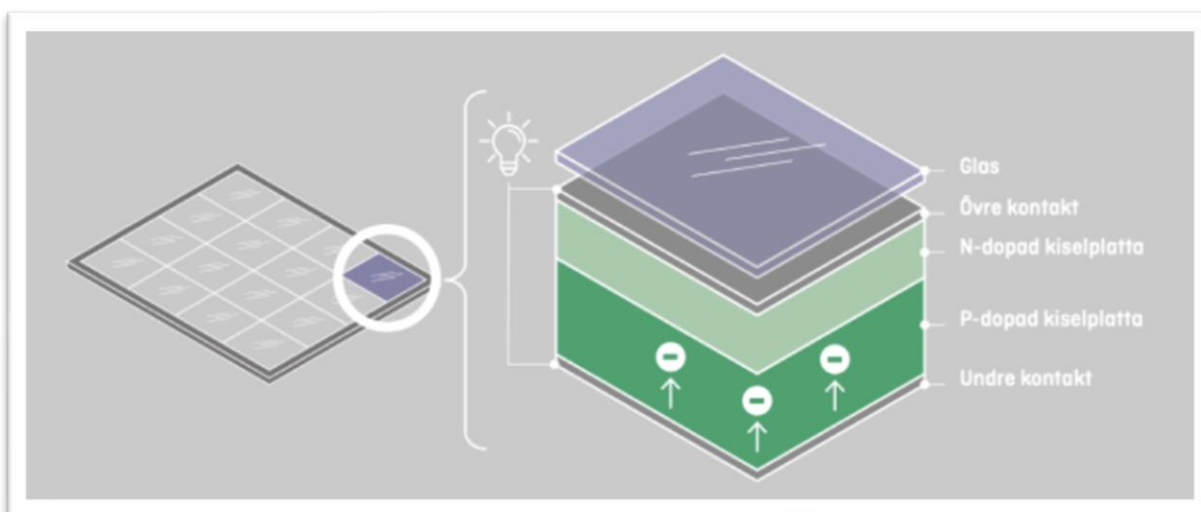


figur 2.2 en solcellsanläggning [11].

2.3.1 Solpanel

Solpaneler är en elektrisk enhet som består av ett antal av sammankopplade solceller, den omvandlar solljuset till elektricitet som kan användas överallt till att driva elektriska apparater. En solpanel består av 60 serie eller parallell kopplade solceller, generellt har solpanelerna en storlek på cirka 1,7 * 1,6 meter och väger cirka 19 kg. En panel som byggs av 60 celler i vanligt fall har effektområde mellan 240 – 270 W. Storleken och effektområde kan variera mellan olika paneler [8].

De flesta solpanelerna är tillverkade på ett likartat sätt. Solceller är normalt är tillverkade av kisel med varierande grad av dopning (N och P). Varje solcell består av två lager med kisel av olika dopningsgrad, två lager placerade mellan ett glasruteskikt och elektriska ledande material i framsidan samt elektriska ledande material i baksidan allt enligt figur 3.2 [9].



figur 2.3 uppbyggnad av solpaneler [9].

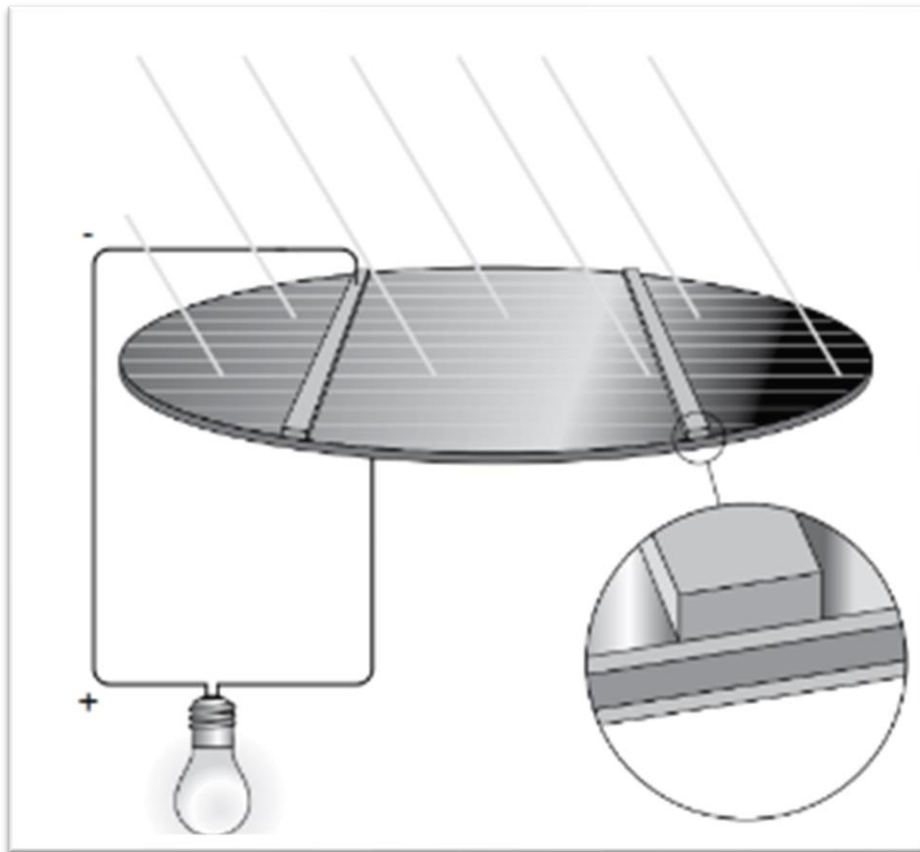
Solpaneler maximala effekt uppstår vid STC, där ljusintensitet är 1000 W/m^2 och solpanelenstemperatur $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Effektiviteten varierar beroende på olika faktorer. Bland annat den ökar parallellt med panelens storlek och minskar vid högre modultemperatur [8].

Det finns tre olika typer av solceller som är dominerad, Monokristallina solceller och Polykristallina solceller som är baserad på kisel samt Tunnfilmssolceller [6].

2.3.1a Kiselsolceller

Kiselsolceller delas i Monokristallina och Polykristallina solceller. Generellt är denna teknik dominerande i Sverige och även i flera länder på grund av låga materialpriser. Utbredning av kiselsolceller världsmarknaden idag uppskattas till att vara mer än 90 % [2].

Funktionen för kristallerna solceller är enligt följande. De traditionella solcellerna innehåller en tunn skiva av kisel. Solcellerna polariseras när den utsätts för ljus, på så sätt när solljuset strålar mot solcellen strävar energiflöden från cellens positiva laddade sida (baksidan) till cellens negativa laddade sida (framsidan). Detta leder till att en elektrisk spänning genereras mellan cellens båda sidor och till följd av denna skapas ett energiflöde. Framsidan av solcellen innehåller ett metalliskt nät som har funktion att samla in den elektriska strömmen medan baksidan är täckt oftast av kisel. Arbetsättet illustreras i **figur 2.4** [2].



figur 2.4: funktion av kiselsolcell [2].

Polykristallina solcellers egenskaper

- Gjorda av många små kiselkristaller.
- Har blåskimrande färg.
- Tack vare deras enkla tillverkningsprocess har Polykristallina den lägsta priset per Watt jämfört med andra solceller.
- Den mest populära och efterfrågade i marknaden jämfört med andra tillgängliga solceller.

- Vid användningen av de effektivaste Polykristallina celler omvandlas cirka 19 % av solens energi till el
- Effektiviteten på Polykristallina avtar med åren.
- Effekt område ligger mellan 230 och 260 Watt för arean motsvarar 1,7 m².
- Verkningsgrad är runt 15–17 %, majoritet av solcellsproducenter garanterar att Polykristallina behåller 80 % av verkningsgraden efter 25 år [8] [7].

Monokristallina solcellers egenskaper

- Bygga av tunna skivor från en kristalls kiselblock.
- De anses vara den äldsta tekniken och den mest effektiva bland de tre solcellerna.
- Solcellens färg är jämn blå-svart.
- Dess verkningsgrad är runt 15–22 %, vilket är lite högre jämfört med de effektivaste polykristallina.
- Dyrare att köpa för konsumenten jämfört med kristallina solceller på grund av dess komplicerad tillverkningsprocessen.
- Monokristallina producerar mer energi vid sämre solljus förhållanden jämfört med polykristaller [8] [7].

2.3.1b Tunnfilmssolceller

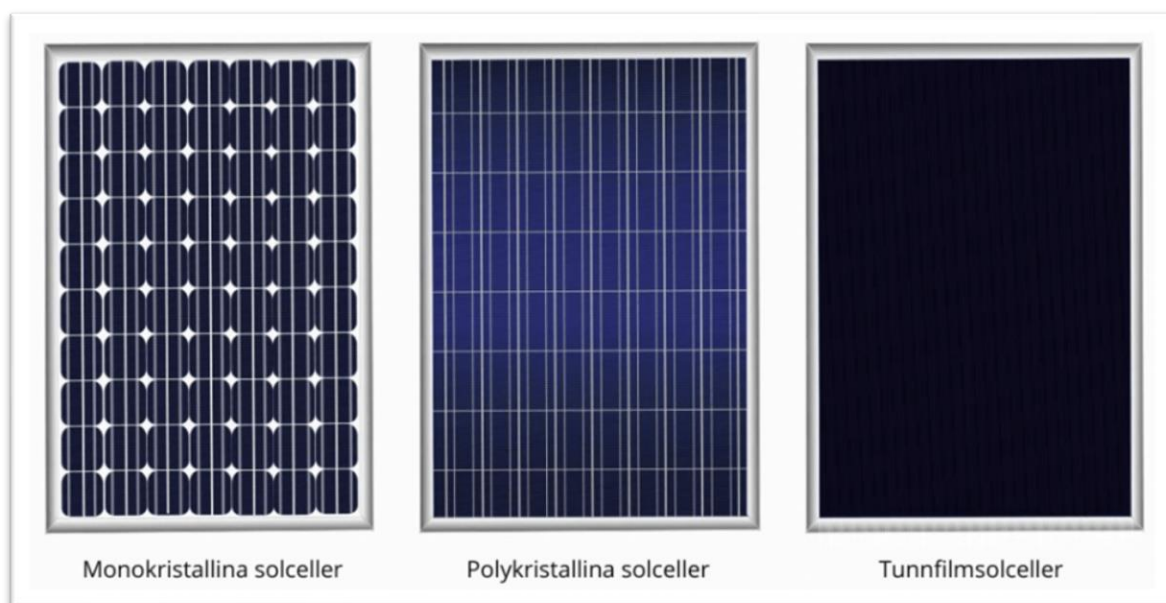
Tunnfilmstekniken som också kallas för ”Amorfa solceller” vanligtvis byggas av flera andra material jämfört med kiselceller. Tekniken är billigare än kiselceller att tillverka.

Oftast tillverkas Amorfa genom att lägga ett tunt skikt av kisel på ett baksikt av glas, plast eller metaller, till exempel CIGS (koppars, indium, gallium och diselenid) alternativt CdTe (kadmium, tellurid). CdTe:s verkningsgrad och modulkostnaden är lägre än CIGS.

Kostnaden vid produktion av samma mängd elektricitet är dyrare vid användning av Tunnfilmssolceller jämfört med kiselceller, dessutom verkningsgrad i amorfa är 10–16 %. För att få den högsta möjliga effektivitet kan Tunnfilmssolceller tillverkas av flera lagrar av tunna kisel som appliceras parallellt på varandra. En nackdel med att använda CdTe ur miljöperspektiv är att den anses vara ett miljöfarligt ämne [2] [8] [7].

En fördel med Tunnfilmssolceller är att den är böjbar, vilket möjliggör att den kan användas på jämna och ojämna ytor samt även på svårtillkomliga ytor.

Verkningsgraden av Amorfa är låg jämfört med Poly- och Monokristallina. Men deras böjbarhet möjliggör att man kan täcka en större maximala area av det planerade ytan jämfört med de andra solcellstyperna, vilka är anpassade endast till plana ytor. På detta sätt kan den lägre verkningsgraden kompenseras genom att använda en större yta. [6] [8].



figur 2.5: utseende på olika typer av solceller [10].

2.3.2 Växelriktare

Växelriktare är hjärtat till solcellssystemet. Det är denna elektriska komponent som omvandlar likström till växelström i anläggningen. Vanligtvis har den likström som genereras från den enskilda solcellen en lågspänning, på cirka 0.5 V. För att öka denna, kopplas flera solceller med seriekoppling till en och samma solpanel. Dessa solpaneler sedan kopplas ihop för att bilda strängar. Energin som är används i vanliga hem är växelström med 230 V. Medan strängarna ger en högre spänning på mellan 700 – 800 V. För att göra om detta till en användbar form som då kan kopplas in till elcentralen, används växelriktaren som en multifunktionell komponent. Dessutom används växelriktarens impedansanpassning för att kunna få den största möjliga mängden av ström med tillfredställande kvalitet från solpanelerna [11].

Alla utrustningar, bland annat växelriktare, måste vara CE-märkt för att uppfylla kraven på att producera el med god kvalitet. Det flesta högkvalitativa växelriktare innehåller en optimerare MPPT som har funktionen att se till att solcellsmodulerna funkar bästa möjliga sätt. Fördelen med att ha flera optimerare i växelriktare är många, bland annat effektiviteten och flexibiliteten ökas på anläggningen, vilket i sin tur medför att flera solcellmoduler kan styras oberoende av varandra [6].

2.3.3 Elcentral

Elcentralen är vanligen placerad i ett metallskåp och skall finnas i varje större byggnad. Det innehåller huvudströmbrytaren, jordfelsbrytare och flera säkringar som är kopplade till varje rum i huset. Säkringarna har en viktig funktion när det gäller säkerheten. Ett exempel är att om ett fel inträffar i elnätet i en byggnad gör säkringar att endast apparaterna och vägguttagen i ett visst område drabbas av strömavbrottet och att inte hela byggnaden blir spänningslös. Det finns två sorter av el central, en äldre och en nyare variant. båda uppfyller samma funktion när det gäller funktionaliteten. Skillnaden dock är att den äldre varianten är proppskåp som använder keramiska proppar och den modernare har dvärgsäkringar eller dvärgbrytare [12].

2.3.4 Elmätare

I ett solsystem används elmätare endast för mätning av in- och utmattning av el till husen. Då bedöms mängden av el som behövs köpes till huset eller säljs vid el-överskott. Produktionen av el från solcellsanläggningen är rörlig och varierar framför allt beroende av vädret (solig eller molnig). Vid en solig dag ökar såklart solenergin vilket leder till ökning av mängden el som produceras än vad det som konsumeras i anläggningen, detta i sin tur leder till ett överskott som kan utnyttjas tex. säljas.

Däremot, vid en molnig dag, konsumeras mer än vad produceras. Mellanskillnaden kompletteras från den installerade elnätet som finns tillgängligt i anläggningen [11].

2.3.5 DC-Brytare

DC- Brytare är en av essentiell utrustningarna i ett solcellssystem. Brytaren placeras mellan solpanelerna och växelriktaren. Anledningen till att en DC- Brytare är en viktig utrustning är att den används för att kunna koppla bort likströmdelen från växelriktaren vid olika tillfället exempelvis vid service [13].

2.3.6 AC- Brytare

AC- Brytare är en minst lika viktig utrustningarna i ett solcellssystem som en DC- Brytare. Den placeras mellan växelriktaren och el centralen, alltså på AC sidan. Syftet med den är att kunna fränkoppla växelriktaren från elnätet vid behov av eventuell service eller underhåll [13].

2.3.7 Effektoptimerare

En annan utrustning som rekommenderas att använda i ett solcellssystem är en effektoptimerare. Den ”placeras lokalt dvs. intill solpanelen”. En effektoptimerare intill en viss solpanel optimerar effekten endast för denna panel utan att ha påverkan på andra paneler. Optimeringen av effekten i en solpanel är beroende på dess IV-kurva vid en viss tidpunkt. Den sker genom att anpassa mängden av båda spänningen över solpanelen samt den ström som passerar solpanelen [14].

Effektoptimerare används mest med solpaneler som är placerades i mer än två i väderstreck eller med de solpaneler som utsatts i skuggan då inte har lika solinstrålning som de andra paneler. En annan viktig fördel av att ha en effektoptimerare är att den kan används för att övervaka elproduktion i varje solpanel, detta sker genom att dessa används vid alla solpaneler [14].

2.3.8 Solcellskablar

En ytterligare viktig del i solcellssystemet är kablarna, de används för att koppla solpanelerna till växelriktaren. Kablarna som används i solcellssystem är speciella kablar som vanligtvis benämns för solkablar eller DC kablar. Det är viktig att solkablar tål yttre påverkan och klimatvariationer som värme, vind, kylan och snö även den skall vara av ett uv-beständigt material [6][15].

Det finns två olika varianter av solkablar:

- Den första och vanligaste variant av kablarna är 4 mm² kabel som klarar upp till 1000 V DC, där den maximumspänning som MPPT klarar av i en växelriktare i de flesta fall är 1000 V på DC sidan av solcells anläggningen.
- Den andra varianten är 6 mm² som klarar upp till 1500 V DC. Dessa kablar används mest om avståndet mellan solpanelerna och växelriktaren är mer än 50 m, då blir förlusterna i 6 mm² kabeln mindre än vid motsvarande 4 mm² kabel [6][15].

2.3.9 Solcellsbatterier

Batteri är en av de viktiga komponenterna i solcellssystem. Batteri används för att lagra elektricitet som producerades av solpanelerna för senare användning vid behov tex. nattetid, molnigt väder eller de där elpriset stiger över användarens budget. Den mest lämpliga platsen att förvara och behålla batterierna är inomhus, då man ska helst undvika att utsätta dessa för direkt solljus, frost eller vatten. Den rekommenderade maximala temperatur batteriet utsätts för ska inte överstiga 45 °C. Det är även rekommenderat att detta ska placeras i närheten av växelriktare och elmätare [16].

Utrymmet som behövs för batteriet varierar beroende på dess storlek, till exempel behöver ett tvåmoduls batteri ett utrymme på 129x12x131 cm, medan tre moduls batteri behöver upp till 129x19x162 cm och det största fyramoduls batteriet behöver 129x19x190 cm. Vid användning av fler batterier bör dessa placeras med cirka 50–60 cm avstånd mellan varje batteri.

Storleken på solcellsbatteri är beroende på kapaciteten av solcellsanläggningen, så att storleken på solcellsanläggningens kapacitet och solcellsbatteris lagringsutrymme måste vara ungefär lika stora som 1 kWh per kWp [16].

Det finns tre varianter av batterier som används med solceller: Litiumbatterier, Nickelmetallhydrid och Blybatterier

2.3.9a Litiumbatterier

Litiumbatterier är som namnet tyder tillverkat av litiumjärnfosfat. Det är ett säkert batteri att använda, har god prestanda och kan laddas i och ur snabbt. Litiumbatterier används till största del i villor vid solcellinstallationen samt även i mobiltelefoner, och elbilar [17].

2.3.9b Nickelmetallhydrid

Nickelmetallhydrid är tillverkad av vätskebaserade elektrolyter. Den kännetecknas som ett miljövänligt batteri är inte brandfarlig och innehåller inte några giftiga ämnen. Den är därför säkrare, tyngre, större och dyrare per lagringskapacitet (kWh) jämfört med litiumbatterier. En annan skillnad mellan Nickelmetallhydrid och Litiumbatterier är att Litiumbatterier använder kol för att lagra energi medan Nickelmetallhydrid använder väte [17].

2.3.9c Blybatterier

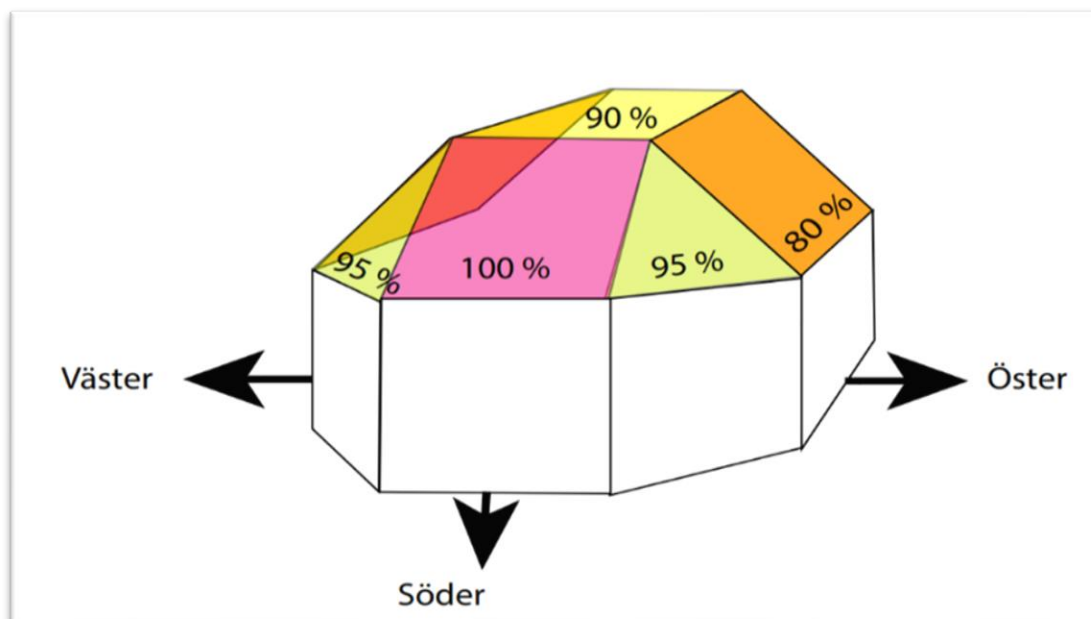
Blybatterier är tillverkade av blyoxid, blysulfat blandad med en syra lösning. Den är väldigt tungt, stort, har sämre prestanda och är därför billigaste variant av batterier som finns i marknaden idag. Den här typen av batteri används mest i de byggnader som inte har någon koppling till elnätet till exempel fritidshus [17].

2.4 Förutsättningar för anläggningen i huset

Det finns vissa kriterier som skall finnas i ett hus där anläggningarna ska placeras för att kunna uppnå den bästa effektiviteten av elproduktion från solcellsanläggningen.

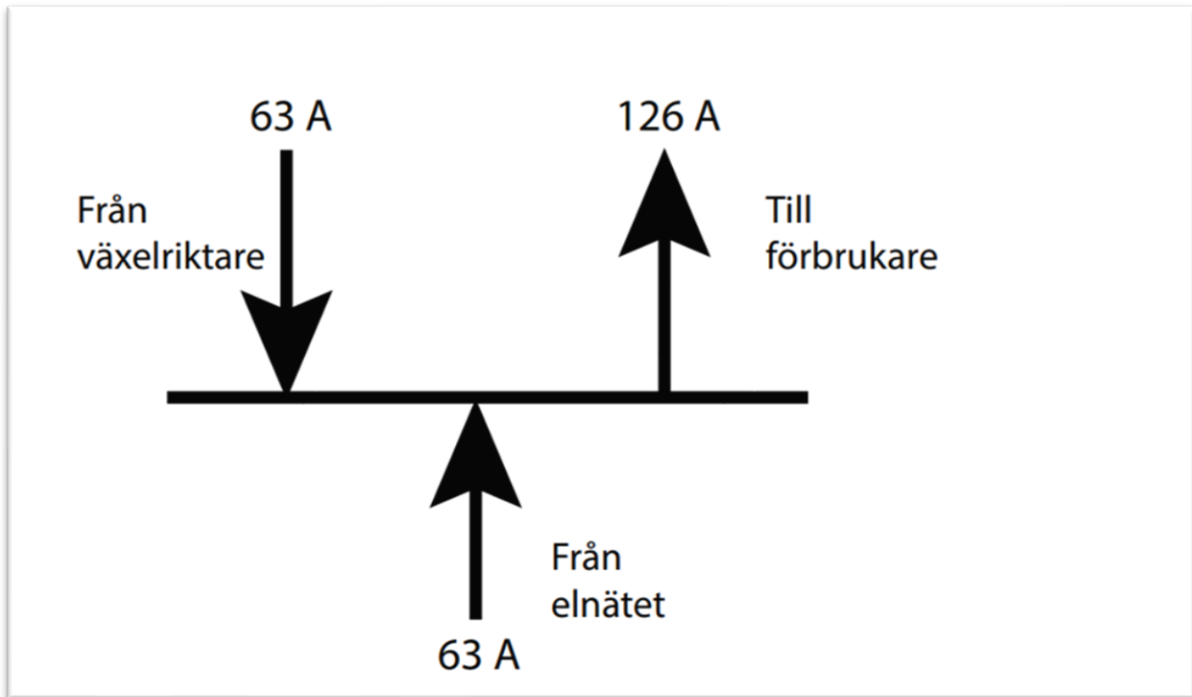
Vad som krävs för att uppnå kraven på bästa sätt är:

- Instrålning: Takytor av huset skall vara skuggfritt.
- Takytor är inte äldre än 25 år. Bärigheten hos taket anses inte som ett stort problem men ändå behöver kontrolleras. Det är viktigt att undersöka materialet som takytan är byggts av, där det är inga problem att installera solpanelerna på ett plåt eller tegeltak. Medan problem uppstår med eternittak, där detta vid bearbetning avger hälsofarliga partiklar som exempelvis asbest samt att det inte heller är inte lätt för en installatör att jobba på denna typ av tak [49]. Det är inte ovanligt att plattor går sönder vid installation av solpanelerna på taket, då är det viktigt att den trasiga plattan kan bytas ut utan problem. Däremot om en eternitplatta går sönder är det svårt att byta denna på grund av att den avger farligt damm i form av asbest. Anledningen till svårheten med att hitta solcellinstallatör på eternittak är att inte alla installatörer har behörighet som krävs för att arbeta med asbest på ett säkert sätt [50].
- Takets väderstreck: Med detta avses den optimala takriktningen. Generellt ger ritningen mot söder bäst energiutvinning, medan taket mot andra riktningar såsom öster eller väster inte innebär ett stort problem på grund av solen strålar mot alla riktningar, som det illustreras enligt nedan stående **figur 2. 6**. Förlusten i detta fall är då inte mer än 10%.



Figur 2.6: Instrålning i förhållande till takets orientering [6].

- Takets lutning: Den bästa lutningen på taket och den som vanligtvis ger bästa årlig elproduktion är 40° , denna lutning innebär ett brant tak. Den negativa aspekten med detta är att lutningen gör installationen komplicerad och därmed kostsamt. Taket med en lutning mellan 20° och 35° är mindre komplicerat jämfört med 40° lutning, men är ändå attraktiv för installationen av solceller. Taket med lutningen på 20° är den enklaste, där är det lättare att installera solceller samt utföra arbetet på taket [18] [6].
- Elnät: det är rekommenderat att kontrollera om elnätet i området där en solcellsanläggning på ett hus skall installeras är stark eller svagt, alltså elnätet måste vara tillräckligt starkt för att kunna ta emot överskott av den el som solcellanläggningen har producerat [19]. Storleken på elnätet kan påverka säkringsstorleken i husen när el plötsligt produceras. Därför blir det viktigt att dimensionera el centralen i husen så att den klarar de eventuella ökade belastning från flera matningar (solcellsanläggning och elnätet). Alltså leverering av energi från solcellsanläggningen till elnätet ska ske utan överbelastning i en eller flera ledare i elcentralen. **Figur 2.7** nedan beskriver ett exempel av energiflödet i el centralen med dess matningar solcellsanläggning och elnätet, där den möjliga strömmen som kan tas ut är 126 A. En metod som kan användas för att kolla detta är genom att kontrollera märkströmmen på anslutningssida av solcellsanläggningen till el centralen, där ska elcentralens märkström inte vara mindre än summan av nuvarande huvudsäkring och märkströmmen för produktionsanläggningen [6].



Figur 2.7: energiflöde i husen el centralen [6].

2.5 Anslutning av solcellsanläggningen till elnätet

Följande del av denna studie kommer att fokusera på att presentera utförligt hur solcellssystemets anslutning ska kopplas till elnätet. Bland det ingår en beskrivning om hur det är när solcellssystemet är kopplad till elnätet eller ej. Solcellssystemet kopplas till elnät på tre olika sätt. De olika sätten presenteras enligt följande:

- ON-GRID solsystem
- OFF-GRID solsystem
- HYBRID solsystem

2.5.1 ON-GRID solsystem

Med ON-GRID solsystem menas att systemet är direkt kopplat till lokala elnätet som används i huset, det vill säga att elen strömmar mellan huset och elnätet. Anslutningen av ON-GRID solsystem gör att huset är helt försörjt av el samt inte bli påverkad vid eventuella överproduktion eller underproduktion av solcellsanläggning. Detta resulterar ett mycket flexibelt system, det är därför mest förekommande när det gäller bostäder i hela världen. En annan fördel av systemet är att överskott av den producerade el kan lagras i elnätet och sedan kan utnyttjas vid behov. Denna process kallas för "nät-mättning". Det är värt att nämna att vid användning av ON-GRID behöver man inte köpa ett dyrt batteri för att lagra elöverskott [20][21].

ON-GRID systemet fungerar enligt följande. Solpanelerna omvandlar solenergi till en DC ström som sedan går till växelriktaren för att omvandla den till AC ström som kan användas exempelvis i huset. Denna växelström kan sedan levereras sedan tillbaka till elnätet och därefter används vid en senare tidpunkt för att täcka huset med el vid behov. Spänningsmängd för den strömmen som tillförs huset kan vara mer än huset behov, därför behöver den regleras. Detta sker med hjälp av växelriktaren. Efteråt leds strömmen genom elmätaren som fungerar för att registrera strömförbrukningen [20].

De huvudsakliga komponenter som ingår i systemet är växelriktaren, DC-Brytare, elmätare som har förklarats tidigare, se **figur 2.8** nedan [20].

Fördelarna med att välja ON-GRID solsystem är många. Några exempel på det är att användaren av detta system innebär lägre elräkningar. Den kan skapa vinster vid möjlig försäljning av det producerade överskottet till grannar eller elbolag, detta kan vara en bra inkomstkälla i framtiden. Systemet är billigare att installera samt det är lättare att underhålla jämfört med de andra system [20].

Nackdelar med ON-GRID solsystem är om det saknar batteribank, detta medföljer risk för att huset kan vara utan ström ganska i långa perioder vid dåliga elproduktion. Den andra nackdelen i systemet är att om elens överskott inte används på rätt sätt kan det leda till mindre stimulans att spara energi [20].



Figur 2.8: ON-GRID solcellssystem [21].

2.5.2 OFF-GRID solsystem

Vid OFF-GRID solsystem är systemet inte kopplad till elnätet eller via något annat elföretag, det vill säga användaren av detta system genererar sin egen el. Det största nackdelen i systemet är att det kräver att ett batteri inköps för att lagra överskott av elen. Batterierna är förhållandevis dyra samt stora i nuläget, man behöver därför också ha tillräckligt med utrymme för att kunna köpa det. Detta är en av anledningarna till att OFF-GRID är mindre attraktiv i marknaden.

Detta solcellssystem är lämpligast att användas framför allt i avlägsna områden där kopplingen till elnät är svag eller saknas total, eftersom elektriciteten som genereras i anläggningen förbrukas i huset och överskott sparas i batterierna för senare användning.

En reservmekanism medföljer oftast OFF-Grid systemet för att den säkerställer kraftens produktion som är inte ändras beroende på vädret under hela året [20] [21].

OFF-GRID solsystem fungerar enligt följande sätt: när solstrålningar träffar solpanelen omvandlas den till elektricitet, denna el förs då vidare till batterierna för att laddas. Den lagrade elektriciteten i batterier används sedan i husen när solen har gått ner [20].

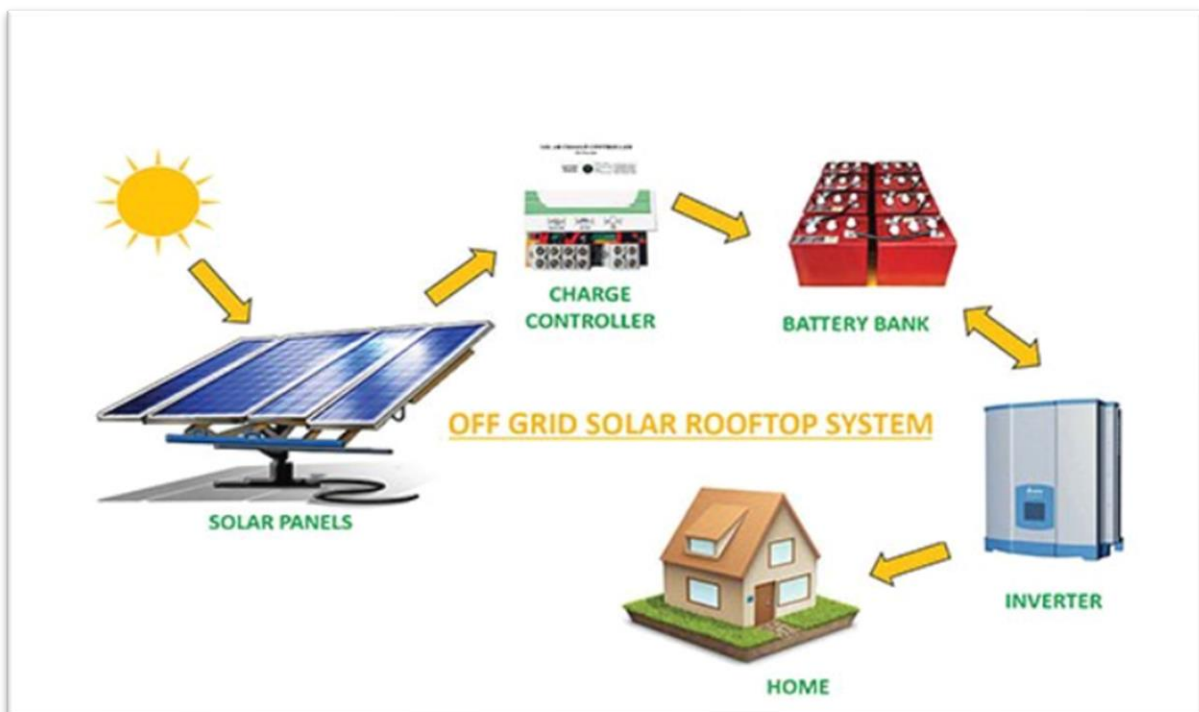
De viktigaste komponenterna som ingår i en OFF-GRID solsystem är följande:

- Batteribank den lagrar elens överskott för senare användning, på grund av detta blir installationen av OFF-grid-systemet dyrt.
- Solar Charge Controller reglerar laddningen av batteribanken.
- DC- brytare och växelriktaren fungerar enligt tidigare beskrivningar.

- Reservgenerator är en valfri komponent. Denna kan används när batterierna är skadad eller vid behov [20]. Komponenten används som en extra säker tillgång till el till exempel för att användaren av off grid solsystemet, som inte har konstant solljus året runt, ej skall behöva köpa flera batterier eller köpa en reservgenerator. En AC ström genereras av reservgeneratoren och kan används med växelriktaren [51].

Se **figur 2.9** nedan. Fördelar med OFF-GRID solsystem är bland annat att användaren av systemet blir självförsörjande och därmed oberoende av elnät. Användaren blir opåverkad av eventuella strömavbrott därför det är möjligt att styra sin egen el. Systemet kan dessutom bli renare och billigare än de andra systemen att använda, eftersom den inte krävs reserv för en extra energikälla som de andra systemen för att fungera. Där kan vissa reservenergikällor vara dieseldrivna generator som anses vara både sämre för miljön och dyrare att sätta upp. Medan en OFF GRID solsystem är baserat endast av dem mest förnybara energikällan, solen [20].

Systemet har vissa nackdelar också bland annat risker för energiavfall ifall om batterikapaciteten inte är tillräckligt stor, problemet kan undvikas genom att köpa fler dyra batterier. Systemet kan vara otillförlitlig vid dåligt väder med begränsat solljus, om detta kvarstår under lång tid [20].



Figur 2.9: OFF-GRID solcellssystem [21].

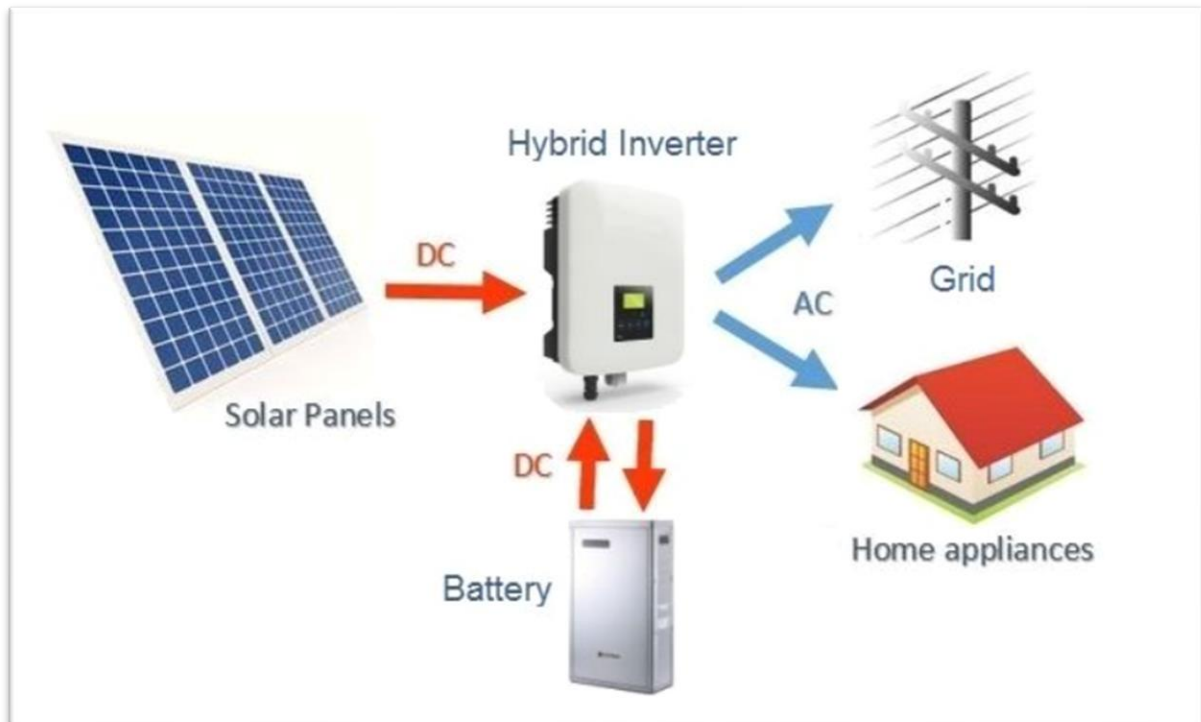
2.5.3 HYBRID solsystem

Hybrid solsystem är kombination av ON-GRID och OFF-GRID. Systemet är ansluten samtidigt till elnät och innehåller bankbatterier. Det fungerar genom att först absorberar solpanelerna solenergi och omvandlar denna sedan till DC ström. Denna omvandlas till AC ström med hjälp av växelriktaren. Denna energi överförs därefter direkt till elnätet. Efteråt levererar strömmen tillbaka från nätet till huset för att användas, medan elens överskott levererar vidare för att ladda in batteribankerna. När batterierna är fulladdade, stoppas överkörningen till de och strömmen skickas i stället till elnätet igen. **Figur 2.10** visar systemets princip [20].

Det finns många fördelar vid användningen av HYBRID solsystem. Till exempel systemet är flexibel och ger användaren möjligheter att lagra energi i batterier, resten skickas till elnätet. På detta sätt strömlöseri avtas vilket vidare resulterar minskning i elkostnaden. Systemet har flest fördelar bland alla tre diskuterade eftersom den mest flexibel och accepterar alla typer av modifieringar, fördelen

med detta blir speciellt om användaren vill öka storleken på sin fastighet. Då kan HYBRID solsystem dessutom täcka alla nya delar i fastigheten utan att ett nytt system behöver installeras [20].

Nackdelar med systemet är att den kräver ett stort utrymme för att installeras, dessutom är den dyr på grund av extra kostnader för batteribankar och några andra nödvändiga utrustningar. Installationen av HYBRID solsystemet är dyrare än installationen av och underhållskostnader för systemet är högre jämfört med ON och OFF GRID solsystem [20][22].



Figur 2.10: HYBRID solcellssystem [22].

2.6 Solceller inom miljöperspektivet

Solcellanvändningen bidrar generellt till en generering av förnybar energi vilket i förlängningen leder till en minskad risk för utsläppsrelaterade miljökatastrofer. Den anses därför en miljövänlig alternativ för återvinningen av el. trots att det sker en negativa påverkan på miljö under tillverkningen av solceller. Cirka 97 procent av solceller i världsmarknad består av kiselceller, mycket energi behövs för att kunna utvinna och rena kisel från jordskorpan. Kina förser världsmarknad med cirka 70 procent av de solceller som produceras, den vanligaste energi som används då är fossila energi som emellertid orsakar mycket utsläpp och därmed också miljöpåverkan [23] [24].

Solceller har mindre utsläpp på miljö jämfört med fossila bränsle och andra energikällor. Kolkraft ger cirka 1 000 g koldioxidutsläpp på varje kilowattimme, men solceller (tillverkningen och frakt) ger cirka 20 – 40 gram koldioxidutsläpp på varje kilowattimme [24].

När solpanelerna monteras på taket eller fasad, producerar de förnybar el utan att ge något utsläpp till miljön. Livslängd på solceller är 25–30 år och som användas vid tillverkningen av solceller kompenseras inom bara tre år från användningen av solpaneler, detta innebär en fördel genom att få el på detta sätt i många år utan någon negativ miljöpåverkan [25].

2.7 Solceller inom ekonomiperspektivet

Installationen av solceller i en anläggning samt produktion av egen el ger flera ekonomiska fördelar. Den största och mest kända fördelen är att solceller sänker elkostnaden, dessutom som det är känt att solceller har längst livslängd som är på cirka 25–30 år kan ägaren i längden få en kostnadsfri el då när

solcellssystemet har betalt sina installationskostnader samtidigt ger den huset självförsörjning av el som kan garantera skydd från stigande elpriser som kan uppkomma från traditionella energileverantörer [26] [27].

Idag anses solceller som en bra investering i byggnader som har en betydande roll för att öka dess värde på marknaden, där många köpare tycker att solcellsanläggningen är en attraktiv lösning som kan ersätta traditionella elpriser och därför är det värt att öka byggnadens värde. En ytterligare fördel är att solceller kan finansieras genom att sälja överskott av egenproducerad el till elbolaget [26] [27].

3. Material och metod

3.1 Datainsamling

Information om solceller samlas genom att använda Chalmers bibliotekstjänster som databaser och e-böcker. En annan sökmetod är att samla information från svenska webbsidor bland annat energibolag och svenska företag som arbetar med solceller i Göteborg. Dessutom samlas information genom att kontakta SMHI och solcells företag. Informationen om villans egenskaper och energibehov samlades med hjälp av dess kontrakt och studerande av elförbrukningen under 12 månaders elfakturor, samt genom användning av Google Earth.

3.2 Solstrålning och temperatur

En av de viktigaste faktorerna som ska tas reda på är det högsta och minsta temperaturområdet där anläggningen ska placeras. Värden på temperaturen redovisas i nedanstående **tabell: 3.1**. Där är den lägsta temperaturen $-2,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ och den högsta är $20,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Antal soltimmar per dag ändras varje månad.

Villan exponeras för solljus året runt, där antal soltimmar per dag är högst från och med april till och med september, och det minsta antal soltimmar under från och med oktober till och med februari. Detta visar att solstrålningen alltid finns kring villan, vilket betyder att det finns möjlighet för produktion av solens el under hela året, trots att mängden av el inte är lika året runt.

Tabell 3.1: data 1991–2021 lägsta och högsta temperatur $^{\circ}\text{C}$, antal soltimmar, och mer i Göteborg [28].

	Januari	Februari	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Augusti	September	Oktober	November	December
Medeltemp ($^{\circ}\text{C}$)	-0.3	-0.3	1.9	6.8	11.7	14.9	17.3	16.5	13.3	8.6	4.7	1.5
Lägsta temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	-2.3	-2.7	-1.3	2.7	7.4	11.1	13.7	13.4	10.5	6.3	2.8	-0.4
Högsta temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	1.6	2.1	5.2	10.9	15.5	18.3	20.7	19.6	16.2	10.8	6.4	3.2
Nederbörd (mm)	78	59	53	59	76	101	98	124	98	97	76	79
Luftfuktighet(%)	86%	84%	79%	73%	70%	72%	76%	79%	80%	85%	88%	87%
Regniga dagar (d)	9	8	8	8	9	9	10	11	10	10	9	10
Soltimmar (t)	2.5	3.6	5.8	8.6	10.5	11.2	10.7	9.3	7.0	4.5	2.9	2.3

3.3 Villans egenskaper och energibehov

Villan som ska undersökas i denna studie ligger i Göteborg. Den består av två våningar och en vind, tomtarean är 1225 m^2 och boarean är 120 m^2 . Villan är $13,76\text{ m}$ hög och dess totala takyta är 125 m^2 med en lutning på 25° på båda sidorna. Villans tak är tillverkat av tegel. Takytan är delad i två sidor. Första sidans area är $62,5\text{ m}^2$ och riktad 70° mot öst. Andra sidans area är $62,5\text{ m}^2$ och riktad 250° mot väst. Solljuset är direktriktat mot taket, därför med minimal begränsning avskuggor, se **bild 3.1** nedan.

Husets totala elförbrukning är cirka $18,169\text{ kWh}$ per år. Förbrukningsmängd och kostnad varierar olika mellan månader enligt **tabell 3.2** nedan.



Bild 3.1: bilden visar villans utseende och ljuset på taket.

Tabell 3.2: Huset energiförbrukning och kostnader under ett år

Månad	Förbrukningen kWh	Pris inkl moms Öre/kWh	Månad pris inkl moms i kronor
Januari 2023	1812	209,85	3902,40
Februari 2023	1863	207,71	3969,56
Mars 2023	2145	185,06	4069,54
April 2023	1404	99,36	1495,08
Maj 2023	1525	77,56	1274,99
Juni 2023	1101	84,53	1030,70
Juli 2023	954	60,99	681,85
Augusti 2023	1286	61,08	885,55
September 2023	1092	45,85	600,68
Oktober 2022	1146	214,60	2559,00
November 2022	1525	258,72	4045,50
December 2022	2316	323,36	7589,00
Totalt	18 169		

3.4 Val av paneler och andra material

De olika komponenter som ska ingå i solcellsanläggningen ska nu väljas. Först ska det genomföras en undersökning som ska avgöra om det är möjligt att anlägga solpaneler. Sedan ska det bestämmas

vilken typ av panel som skall användas. Därefter bestäms andra komponenter som ska ingå i systemet beroende på storleken av installationseffekten w_p . Villans totala takyta är cirka 125 m², baserat på detta bedöms det vara tillräckligt för att bygga en solcellsanläggning med tillfredsställande prestanda.

3.4.1 Val av paneler

Valet av de använda solceller baseras på informationen i [2] [8], efter jämförelse mellan alla typer av solceller. Det valdes monokristallerna för att dess verkningsgrad är högre jämfört med polykristaller och tunnfilm, och att den även kan producera vid lägre solljus. Det senare är lämpligt med tanke på Sveriges klimat. De valde paneler blev därför PV16-405 monokristaller.

Varje PV16-405 solpanel är 1,134 m bred och 1,722 m lång, övrig information om panelerna redovisas i bilaga 1. Storleken på villans takyta och storleken på de panelerna, ger möjligheten till att placera två rader av 10 paneler på den ena sidan av taket. På den andra sidan kan det bara placeras en rad med 10 paneler och en annan rad med 8 paneler, detta beror på att det finns en skorsten på denna sida av taket. Antal paneler som ska placeras är 38 stycken, där det är bara 74,20 m² av takets area skall användas för installationen [33]. Baserat på detta kan toppeffekten bestämmas enligt nedan:

$$\begin{aligned} \text{kWp} &= \text{antal panel} * \text{panelseffekt} & (1) \\ &= 38 * 405 = 15\,390 \text{ W} \end{aligned}$$

3.4.2 Val av växelriktaren

Det finns olika typer av växelriktare, den vanligaste typen som används vid installation av solcellsanläggning för en villa är en 3-fasväxelriktare utan transformator [30]. I Sverige väljs växelriktarens effekt till cirka 80–90 % av den totala toppeffekten från de tillhörande panelerna. Underdimensionering av växelriktare sker när växelströmseffekten som växelriktaren kan ge är lägre än toppeffekten av solpaneler. Underdimensionering av växelriktaren leder till effektförluster, alltså ju större underdimensionering desto högre effektförluster. Orsaken till förlusten är att solcellsanläggningen inte kan producera solel till tillhörande växelriktarens totala maxeffekt. Underdimensioneras denna med 33 %, leder till förluster på cirka 2–5 % [34].

Överdimensionering av växelriktare är när växelströmseffekt som växelriktaren kan ge är högre än toppeffekten av solpaneler. Nackdelen med överdimensionering av växelriktare är att den leder till minskning av verkningsgraden, med andra ord skall produktionen av solel i tillhörande solcellsanläggning bli mindre. Dessutom ökar kostnaden för växelriktaren. Växelriktaren når till högsta verkningsgrad när den arbetar mellan 50–100 % av dess toppeffekt. [34]. Baserat på informationen ovan valdes DEYE 15kW växelriktare, se datablad i nedanstående bilaga 2.

Den största kortslutningsströmmen för solcellsträngen beräknas enligt Svensk Elstandard boken med ekvation (2) [40]:

$$\begin{aligned} \bullet \quad I_{sc \text{ MAX}} \text{ för en modul: } & I_{sc \text{ STC}} * k_1 & (2) \\ k &= 1,25 \\ &= 13,62 * 1,25 \\ &= 17,025 \text{ A} \end{aligned}$$

Den högsta och DC spänning som fås från varje sträng i varje sida av taket beräknas enligt Svensk Elstandard boken [40] med ekvationerna (3) och (5).

Där kan detta bestämmas enligt:

$$\bullet \quad U_{oc \text{ MAX}}: U_{oc \text{ STC}} * K_U \quad (3)$$

$$\bullet \quad K_U = 1 + (\alpha U_{oc} / 100) (T_{\min} - 25) \quad (4)$$

där

αU_{oc} är temperaturvariationskoefficienten för U_{oc} modulspänning i %/°C
 T_{\min} är den lägsta temperatur inom solcellinstallationen i °C.

$$\begin{aligned}
U_{oc\ MAX} &= U_{oc\ STC} * 1 + (\alpha U_{oc}/100) (T_{min} - 25) \\
&= 37,05 * [1 + (-0,28/100) * (-2,7-25)] \\
&= 37,05 * 1,07756 \\
&= 39,92V
\end{aligned}$$

Där en sträng med 20 paneler (enligt kombinationen av ekvationer 3 och 4) ger högsta möjliga spänning:

$$U_{oc}: 20 * 39,92 = 798,47\ V$$

Den minsta DC spänning i strängen kan bestämmas med ekvation 5 [36]:

$$\begin{aligned}
\bullet \quad U_{oc\ MIN}: U_{oc} * [1 + \text{temperaturkoefficient}^{\wedge} (\text{högsta temperatur} - 25)] & \quad (5) \\
&= 37,05 * [0,9972^{\wedge} (20,7 - 25)] \\
&= 37,50\ V
\end{aligned}$$

På Sida 2 i samma referens kan den maximala bestämmas:

$$\begin{aligned}
\bullet \quad U_{oc\ MAX}: U_{oc\ STC} * K_U & \quad (3) \\
\bullet \quad K_U = 1 + (\alpha U_{oc}/100) (T_{min} - 25) & \quad (4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
U_{oc\ MAX} &= U_{oc\ STC} * 1 + (\alpha U_{oc}/100) (T_{min} - 25) \\
&= 37,05 * [1 + (-0,28/100) * (-2,7-25)] \\
&= 37,05 * 1,07756 \\
&= 39,92V
\end{aligned}$$

Strängen med 18 paneler (enligt kombinationen av ekvationer 3 och 4) ger därmed högsta möjliga spänning

$$U_{oc}: 18 * 39,92 = 718,56\ V$$

$$\begin{aligned}
\bullet \quad U_{oc\ MIN}: U_{oc} * [1 + \text{temperaturkoefficient}^{\wedge} (\text{högsta temperatur} - 25)] & \quad (5) \\
&= 37,05 * [0,9972^{\wedge} (20,7 - 25)] \\
&= 37,50\ V
\end{aligned}$$

För att kunna beräkna maxantal paneler N som bör användas i varje sträng, används formel 6 nedan. Där värdet av maxinspänning tas från databladet av växelriktaren.

$$\begin{aligned}
N &= \text{maxinspänning} / \text{Högsta } U_{oc} & (6) \\
&= 1000\ V / 40,4 \\
&= 24,75 = 24\text{st}
\end{aligned}$$

3.4.3 Val av kablar

För att kunna installera anläggningen, måste två olika PV kablar väljas. Den första kabeln är kabeln som kopplar strängarna till varandra. Denna kabel väljas genom att kolla på spänningen som kommer från varje sträng. Enligt beräkningarna ovan är spänningen mellan 720.72 V och 800.80V, detta gör att en kabel med 6mm^2 kan användas vilken är dimensionerad upp till 1000V.

Strömmen som kan passera genom en 4mm^2 kabel cirka 20 A se tabell 3.3 nedan [52].

Tabell 3.3: maxbelastning av kablar [52].

Kabelarea	Max belastning
0,75 mm ²	6A
1,5 mm ²	10A
2,5 mm ²	16A
4,0 mm ²	20A
6,0 mm ²	25A
10,0 mm ²	35A
16,0 mm ²	63A

En annan variant av kablar behövs för att kunna koppla systemets olika stationer till varandra och till villans el-central. Det behövs två steg för att kunna dimensionera denna kabel. Det första steget är att bestämma den typ av ledare och isolering som ska användas. Därför valdes en kabel med kopparledare och PEX-isolering. Det andra steget är att räkna fram olika värden som påverkar val av kabelarea och beräkningarna utförs enligt Svensk Elstandard boken [40]:

$$\bullet \quad I_B = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \text{ (A)} \quad (7)$$

Där

P är effekten

U är nominella spänningen = 400 V (vid 3 fas)

cos φ är effektfaktorn (effektfaktor är okänd, därför valt den som 1)

$$I_B = \frac{15\,390}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot \cos 1} \text{ (A)}$$

$$I_B = 22,21 \text{ A}$$

En ytterligare viktig faktor är att ta hänsyn till att flera kablar som ligger nära varandra påverkar hur mycket ström dessa kan utsättas för:

$$\bullet \quad I_{B \text{ korr}} = \frac{I_B}{k} \text{ (A)} \quad (8)$$

Där:

K är anhopning faktor. Den valda isolering material för kabel är PEX- isolering, och kablar ska läggas i isolerade rör för att skydda de, som rekommenderat i [6]. På grund av att kablar är förlagda i rör skall de ha fall A2 enligt tabell 52B.1[40]. Värdet på anhopning faktor vid A2 kan läsas från tabell 52B.17, där $k = 0,79$ [40].

$$I_{B \text{ korr}} = \frac{22,21}{0,79} \text{ (A)}$$

$$I_{B \text{ korr}} = 28,1 \text{ A}$$

Med hjälp av beräkningarna ovan och tabell 52B.5 i [40] kunde den lämpliga tvärsnittsarean för kabeln tas fram. Kabeln som valts är H1Z2Z2-K PBM-Solar XLP kabel, med en tvärsnittsarea på 6 mm², alltså den utvalda kabeln är 6 mm², kopparledare och PEX-isolering. För att läsa mer specifikationer om den valda kabeln se bilaga 3.

Enligt Svensk Elstandard skall följande villkor uppfyllas för de karakteristiska storheterna för överlastskydd (säkring) som skyddar en ledare mot överlast. För att kunna kontrollera att villkor 2 nedan är uppfyllt måste faktor 1.6 användas vid angiven säkring [40].

• $I_B \leq I_n \leq I_z$ (villkor 1)
22,21 ≤ 25 ≤ 28,11 första villkoret uppfyllt

• $I_2 \leq 1.45 * I_z$ (villkor 2)
1,6 * 25 ≤ 1,45 * 28,11
40 ≤ 40,8 andra villkoret är uppfyllt

3.4.4 Val av en säkring

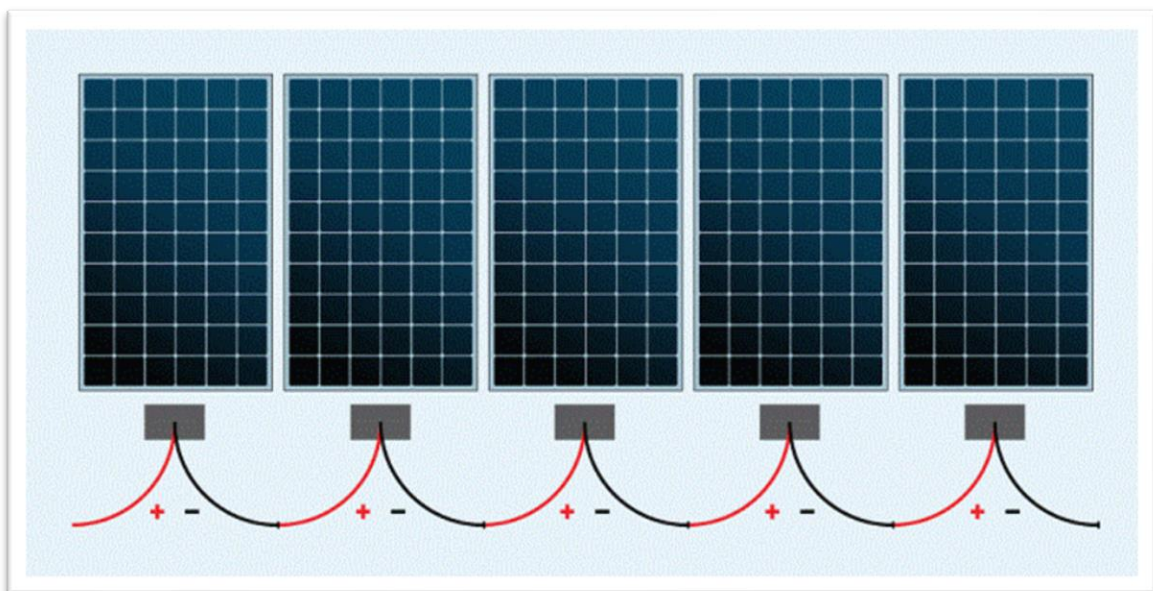
Val av en säkring för termisk belastning är enligt Svensk Elstandard boken baserad på belastnings märkström, det innebär att säkringens märkström skall vara närmaste över belastningens märkström. Beräkning av belastningsmärkström ovan ger att av $I_B = 22.21$ A, detta ger behov till en säkring med och 25 A [40].

Ju högre toppeffekten är i anläggning, desto kraftigare säkring krävs. Alltså en lämplig säkring för en toppeffekt med 15 390 w ska vara märkt med en gul färg och 25 A i denna anläggning [33].

3.5 installationen av solcellsanläggningen

Efter att ha skruvat fast solpanelerna på taket skall de seriekopplas till varandra. Seriekoppling av paneler innebär att göra en koppling från den ena mc4 pluspolen i första panelen till den andra mc4 minuspolen i den följande panelen och så vidare, se **figur 3.1**. Den totala strömmen som kommer ut från de seriekopplade solpanelerna ändras inte, medan den totala spänningen kommer att öka eftersom den är summan av alla panelers spänningsvärde.

Fördelen med seriekopplingen av paneler är att den ökar spänningen som kommer ut från solpanelerna, vilket är nödvändigt eftersom solcellssystemet måste ha en bestämd spänning, så att växelriktaren ska kunna fungera korrekt [43] [44]. Med seriekoppling av paneler kan kablar med en mindre dimension användas, vilket förenklar installationen [43].

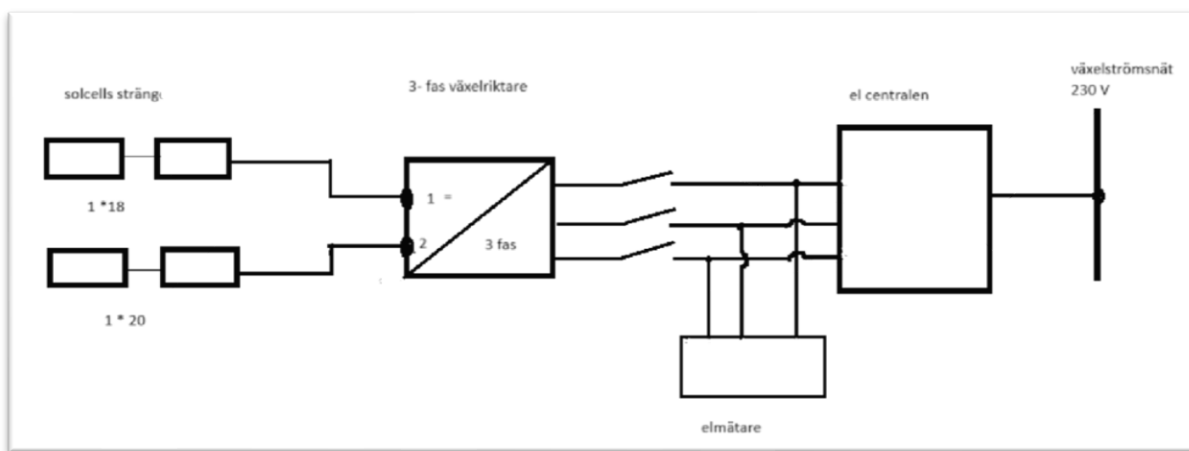


Figur 3.1: Seriekopplingen av solpaneler [44]

Enligt Svensk Elstandard boken bildar de seriekopplade panelerna två strängar, vilka därefter kopplas ihop parallellt för att få en större effekt [6]. Energin överförs från strängarna till växelriktaren genom att varje strängkabel dras till DC ingång i växelriktaren, där de flera MPPT-moduler i växelriktaren kan hantera olika spänningsnivåer från de två strängarna.

Kopplingen mellan växelriktaren och villans el central skall vara en 3-faskoppling. Det är dessutom viktigt att koppla en elmätare enligt **Figur 3.2** för att mäta mängder av in- och utmatad el till villan, ifall den producerade elöverskottet ska säljas. Enligt Svensk Elstandard boken kan anslutning av solcellsinstallation sakna neutralpunkt i solcellsinstallationen och fördelningssystem kan väljas fritt. Därför har TN-S fördelningssystemet valts i detta arbete.

Kabellerna som används måste sitta i kanaler. Det är viktigt att ansluta kabeln från växelriktaren ansluts via gruppleddningarnas överströmsskydd. Kabeln som kopplar växelriktaren till elcentralen skall vara skyddad av ett överströmsskydd. Syftet med överströmsskyddet är att elnätet kopplas ifrån solcellsinstallationer vid en kortslutning. I denna anläggning används en säkring med märkströmmen 25 A till varje fas som skydd. I **Figur 3.2** nedan presenteras kopplingsschema för solcellsanläggningen i villan, där används en ON GRID solsystemkoppling då det inte behövs batterikoppling. Figuren innehåller de viktigaste delar i anläggningen och kopplingen som innehåller både DC och AC brytare på DC och AC sidor.



Figur 3.2: kopplingsschema för solcellsanläggningen

3.6 Faktorer som påverkar produktion

Mängden av den producerade sol el från solcellsanläggningen kan variera beroende på olika faktorer exempelvis:[46].

- Solstrålning där solcellsanläggningen är placerat.
- Riktning och taklutning av solceller.
- Skuggning.
- Snö och smuts, löv som täcker solcellerna.
- Verkningsgrad

Verkningsgrad är ett procentuellt mått som avgör hur mycket av solljuset som kommer att omvandlas till elektricitet. Det är alltid bra att ha hög verkningsgrad för att få hög produktion från varje enskild solpanel. Dessutom kan den höga verkningsgraden påverka miljö och ekonomi på ett positivt sätt

- Miljöpåverkan

Högre verkningsgrad på solcellerna innebär att de är mer effektiva, alltså det omvandlas mer solenergi till elektricitet. Produktion av solel orsakar inte koldioxidutsläpp och det är bra för miljön.

- Ekonomiska påverkan

Användning av färre antal solpaneler med hög verkningsgrad, ger samma energiproduktion som användandet av fler antal paneler med lägre verkningsgrad. Solpaneler med hög verkningsgrad leder dessutom till en minskning av kostnaden på grund av att färre paneler används. Solcellssystem med en hög verkningsgrad betyder dessutom en ökad energiproduktion under sin livstid och är därför en bra

investering. Mer energiproduktion bidrar till överskott som kan säljas, då kan systemet betala självt sina kostnader under kortare tid. Vissa solpaneler med hög verkningsgrad kan producera bättre under svagt ljus eller höga temperaturer, på detta sätt producerar de under längre tid [39].

3.7 Lönsamhet av solcellsanläggning

För att kunna bedöma lönsamheten av en solcellsanläggning bör du beräkna:

- Kostnaderna för installationen av anläggningen.
- Inkomster som erhålls genom att sälja överskott av el.
- Hur mycket pengar som ska sparas genom att använda egenproducerad solel i stället för att köpa el.
- Tiden som krävs för att anläggningen ska betala för sin installation.

En solcellsanläggning har en livslängd på cirka 25 år. Genom att beräkna ovanstående faktorer kan du få en uppfattning om lönsamheten för anläggningen. År X är det år då anläggningen förväntas ha betalat tillbaka sina kostnader. Från år X till år 25 bedöms lönsamheten.

3.7.1 Gröna teknik

Grönt avdrag är en skattereduktion vid installation av solcellsanläggning, energilagring och en laddpunkt för att ladda elbilar. Skattereduktionen motsvarar 19.40% avdrag för solceller och cirka 48,50% avdrag för batterier, material och installationskostnader. En person kan få max grönt avdrag på 50 000 kronor per år. Grönt avdrag dras från fakturan direkt vid inköp, alltså personer som använder avdraget behöver inte ansöka till detta, utan det är installationsföretaget som hanterar detta.

I januari 2021 infördes skatteavdraget på cirka 15% för grön teknik, och i januari 2023 höjdes den till cirka 20%. Det finns krav som behöver uppfyllas för användning av skatteavdragen. Det är att avdraget ska endast användas för privatpersoner som är ägare till bostaden där solcellsanläggningen skall installeras [41].

3.7.2 Installation och materialkostnader

För att kunna ta reda på vilka ingående moment som bör beräknas i kostnader för en solcellsanläggning, kontaktades Svea Solar som är ett av Sveriges ledande företag inom solenergi. Tabellen 4 nedan presenterar alla momenten som behövs. Priset för paneler är hämtad från [48], växelriktaren från [31], säkring från [35], resten av kostnaderna är ungefärliga priser enligt Svea Solar. I tabell **Figur 3.2** nedan presenteras de totala kostnader för solcellsanläggningen.

Kopplingen av solcellsanläggning behöver cirka 50 m lång kabel, och en meter kostar 20 kr [38]. De totala kostnaderna kan sänkas på grund av Gröna avdraget. Grönt avdrag för solceller är 20% för solcellssystemet enligt avsnitt 2.6.1 ovan. Därför blir de totala kostnaderna $0.8 * 252\,295 = 201\,836$ kr.

Tabell 3.3: Ingående moment och kostnader för en 15 KW solcellsanläggning

Material	Antal	Pris kr
PV16-405	38	154 274
Växelriktare	1	23 521 kr
Säkringar	3	3 000
Kablar, kontakter, diverse	1	3 500
Lervarans	1	5 000
Arbetets kostnader	1	33 000
Projektering	1	5 000
Taksäkerhet	1	10 000
Elarbete AC	1	15 000
Totalt		252 295

3.8 koldioxid utsläpp från solceller

Trots att solceller är förnybar energikälla, orsakar de växthusgasutsläpp med cirka 20 – 40 gram koldioxidutsläpp på varje kilowattimme som tidigare nämnt i 2.6 ovan. En väldigt viktig del som arbetet syftar på är att undersöka hur solcellsanläggning kan påverka miljön när det gäller utsläppen av växthusgaser. Därför är det viktigt att räkna mängder av koldioxidutsläpp som kan undvikas per producerad kilowattimme. Beräkningens resultat kan variera från år till år, beroende på olika faktorer som till exempel variationer i efterfrågan och förändringar i produktionen. För att kunna beräkna mängden av koldioxidutsläpp som kan undvikas per producerad kilowattimme används formel 9 nedan:

$$\text{Koldioxid som undviks} = \text{solcellers elproduktion KWh (år)} * \text{siffran} \quad (9)$$

där siffran är ett medelvärde av utsläppen från den alternativa nordeuropeiska elproduktionen under 2022. Siffran varierar mellan de fyra el områden [47].

Tabell 3.4: Siffran på medelvärde av utsläppen från den alternativa nordeuropeiska elproduktionen under 2022 fyra el område i Sverige

El område	Siffran
1	10 CO ₂ e/kWh
2	10 CO ₂ e/kWh
3	400 CO ₂ e/kWh
4	540 CO ₂ e/kWh

Det är viktigt att bestämma i vilket el område en solcellsanläggning ligger, för att kunna välja rätt siffra. Där ligger Göteborg i el område 3 enligt [47].

4. Resultat

4.1 Totala produktionen av anläggningen

Resultatet av solcellsanläggningens produktion redovisas i nedanstående beräkningar. Där beräknas den totala produktionen av anläggningen per år och månad. Den årliga produktionen KWh/år i solcellsanläggningen kan beräknas enligt formel 10 nedan [46].

$$\text{Produktion KWh/år} = \text{solstrålning KWh/m} \cdot \text{placering} \cdot \text{installerad effekt kW} \cdot 0,9 \quad (10)$$

Värdena av solstrålning och placeringen kan läsas av figurer i bilaga 4. Siffran 0,9 är den som är kvar efter effektförluster från växelriktaren och kablar till exempel.

Tak sida 1

20 paneler med 405 W effekt

Placering i 250 grader väst

Solstrålning i Göteborg är 1000 KWh/m²

Total produktion kan därmed bestämmas genom uttrycket:

$$\text{Produktion KWh/år} = \text{solstrålning KWh/m}^2 \cdot \text{placering} \cdot \text{installerad effekt kW} \cdot 0,9 \quad (10)$$

På detta sätt ser vi att produktionen är;

$$\text{Produktion KWh/år} = 1000 \text{ KWh/m}^2 \cdot 1,05 \cdot (20 \cdot 405) \text{ kW} \cdot 0,9$$

$$= 7\,654,500 \text{ KWh/år}$$

Tak sida 2

18 paneler med 405 W effekt

Placering i 70 grader öst

Solstrålning i Göteborg är 1000 KWh/m²

Genom att använda (10) igen kan effekttågängen bestämmas på den andra taksidan:

$$\text{Produktion KWh/år} = 1000 \text{ KWh/m}^2 \cdot 0,92 \cdot (18 \cdot 405) \text{ kW} \cdot 0,9$$

$$= 6\,036,120 \text{ KWh/år}$$

Den totala produktionen av båda sidor blir därmed:

$$7\,654,500 + 6\,036,120 = 13\,690,620 \text{ KWh/år}$$

Produktionen per månad kan beräknas med samma formel som används för årlig produktion. Mätdata för globala solstrålningen i Göteborg för varje månad hämtad av SMHI [37].

Tabellen 4.1 nedan innehåller resultatvärde på antal KWh som produceras på varje taksida samt den totala produktionen av hela villans tak

Tabell 4.1: Den producerade energin KWh av anläggning delat i månader

Månader under år 2023	Globala solstrålning KWh/m ²	Tak sida 1 KWh	Tak sida 2 KWh	Totalt produktion KWh
Januari	9,20	70,42	55,53	126
Februari	29,40	225,04	177,46	403
Mars	56,10	429,42	338,63	768
April	128,50	983,60	775,64	1759
Maj	203,10	1554,63	1225,94	2781
Juni	198,80	1521,71	1200,00	2722
Juli	144,40	1105,31	871,62	1977
Augusti	101,40	776,17	612,06	1388
September	77,20	590,93	466,00	1057
Oktober	39,00	298,53	235,41	534
November	15,10	115,58	91,15	207
December	6,80	52,05	41,05	93
				13 815

4.2 Ekonomi och lönsamhet

För att kunna starta en beräkning av lönsamhet, måste först kostnaderna för solcellsanläggningen beräknas. Den totala kostnaden efter grönt tekniken är 201 836 kr, räknat i avsnitt 2.6.2. Den valda solcellsanläggningen är ett ON GRID system, vilket sparar pengar genom att inte behöva köpa batterier med höga kostnader, enligt avsnitt [20] [21]. I tabellen 6 nedan redovisas mängder av överskottsenergi i KWh som kan säljas till elnätet. Inkomster som erhålls från det sålda överskottet kan beräknas genom att multiplicera överskott KWh med elpris öre/kWh för varje månad. Det totala överskottet på inkomsterna från och med april till och med augusti är 3 409 kr. Försäljningen av egenproducerat elöverskott bidrar till en skattereduktion på 60 öre per KWh [42].

Anläggningens överskott enligt tabell 6 är 4 359 KWh, med skattereduktion på 60 öre per KWh ger 4 359 kWh * 60 öre = 2633 kr. De totala inkomsterna blir då
2633 kr + 3 409 kr = 6 042 kr

Användningen av egenproducerad el leder till en märkbar minskning av fakturabetalningen per månad. Produktionen av solcellsanläggningen täcker emellertid inte hela villas användningen under månaderna januari – mars och augusti – december, utan täcker hela villas behov under månaderna april – augusti. Pengarna som sparas kan beräknas genom att multiplicera mängden av KWh som är tagen från anläggningen med elpriset öre/kWh för varje månad, sedan summeras de 12 produkterna som erhöles från multiplikationerna, för att bestämma hur mycket pengar det är som sparas från anläggningen. Då blir den totala summan av pengarna som har sparats 9 961 kr.

Tabell 4.2: Tabellen visar mängden av överskottsproduktion i KWh

Månad	Huset energi behov KWh	från anläggning KWh	Från elnät KWh	Överskott KWh	Pris inkl moms Öre/kWh
Januari	1812	126	1686	0	209,85
Februari	1863	403	1460	0	207,71
Mars	2145	768	1377	0	185,06
April	1404	1759	0	355	99,36
Maj	1525	2781	0	1258	77,56
Juni	1101	2722	0	1621	84,53
Juli	954	1977	0	1023	60,99
Augusti	1286	1388	0	102	61,08
September	1092	1057	35	0	45,85
Oktober	1146	534	612	0	214,60
November	1525	207	1318	0	258,72
December	2316	93	2223	0	323,36

Tiden som behövs för anläggningen för att betala tillbaka hela sina kostnader kan beräknas enligt formel 11:

$$\text{Återbetalningstiden} = \frac{\text{anläggningskostnader}}{\text{årliga besparingen} + \text{inkomster}} \quad (11)$$

$$\text{Återbetalningstiden} = \frac{201\,836 \text{ kr}}{9\,961 \text{ kr} + 6\,042 \text{ kr}}$$

$$\text{Återbetalningstiden} = 12,6 \text{ år}$$

En solcellsanläggning har en livslängd på cirka 25 år, då blir tiden efter 12,6 år bara vinst.

4.3 Miljöpåverkan

Solcellsanläggningen har påverkat miljön positivt, det beror på att en del av koldioxidutsläppen har minskat. Miljöpåverkan av solcellsanläggningen beräknas med hjälp av formel 9 nedan. Där är den totala årlig produktion av anläggningen 13 813,49 KWh och siffran är 400 gram enligt tabell 3.4.

Genom (9) kan då minskningen av koldioxidutsläppen beräknas enligt nedan:

$$\text{Koldioxid som undviks} = 13\,815 \text{ KWh/år} * 400 \text{ gram}$$

$$\text{Koldioxid som undviks} = 5\,526,00 \text{ kg/år}$$

5. Diskussion

Nu för tiden har solceller blivit vanligare på grund av att de har positiv påverkan på miljön, då de bekämpar miljöproblemen som skapades på grund av överdrivet utnyttjandet av naturresurser och icke förnybara energikällor. Möjligheten att öka användningen av solenergi i Sverige undersöktes, genom att undersöka mängden sol på en villa i Göteborg. Där installerades en solcellsanläggning på villans tak med area 125 m². Villans årliga energikonsumtion var cirka 18 169 kWh/år. Enligt beräkningarna i resultatet kan solcellsanläggningen producera cirka 13 815 kWh/år, vilket täcker cirka 76% av året energibehov. Detta visar att beräkningarna är i paritet med resultat redovisade i [33].

När det gäller lönsamheten av solcellsanläggningen observerades att egenproduktion leder till en minskning av elfakturan året runt. Under de soliga månaderna från och med april till och med augusti kan anläggningen täcka villans hela energibehov och även ge överskott som kan säljas, detta resultat stämmer väl med [27] [28]. Det leder till att el-faktorerna undviks under dessa månader, och att ägaren kan tjäna pengar genom försäljning av sitt överskott. Det upptäcktes att anläggningen kunde betala klart sina kostnader efter 12 år och cirka 7 månader. Det innebär att resten av systemets livslängd kommer ge också en ekonomisk vinst.

Baserat på informationen i [20] [21] valdes att solcellssystemet kopplas till elnätet med ON-GRID solsystem. Kopplingen minskade priset av installation och material, på grund av att det inte behövdes att köpa och installera dyra batterier. Resultaten av den ekonomiska delen kunde variera beroende på ägarens val om överskott, det vill säga om den ska säljas eller sparas i elnätet för senare användning.

Växthuseffekten kan vara ett miljöproblem, där växthusgaser leder till att förvärra detta. Användningen av förnybara energikällor för att producera elektricitet kan minska miljöproblemet genom att undvika utsläpp av växthusgaser. Resultaten visade att användningen av egenproduktion av anläggningen leder till koldioxidreduktioner på cirka 5 526, 00 kg/år. Den vanliga livslängden för systemet är 25–30 år [25], detta ger att anläggningen kan undvikas koldioxidutsläpp under 25 år blir $25 * 5\,526,00 = 138\,150$ kg/ i sitt liv. Den här siffran kan ökas så länge som solcellssystemet producerar. Mängden av utsläpp som kan undvikas beror på mängden av den producerade energin i kWh.

Rekommendationen i detta examensarbete är att solcellsanläggningen i villan väljer ett ON-GRID system. Detta studie kan utvecklas genom att testa andra kopplings metoder exempelvis HY.BRID solsystemkoppling, där kan systemet ha en eller flera batteri används för att spara överskott av el från anläggningen.

5.1 Felkällor

Undersökningen av elproduktion, investering och miljöpåverkan stämde inte helt med resultatet i verkligheten. Det beror på felkällor som skulle kunna vara under val av rimliga värde under beräkningar. Solcellsanläggningens produktion har beräknats enligt nedan, där den består av fyra termer vilka vardera kan ha en eller flera felkällor.

Produktion kWh/år = solstrålning kWh/ * placering * installerad kW * 0.934. Resultatet vid beräkningen av den totala årliga produktionen var 13 690 kWh, så den var lägre än summan av 12 månaders produktion som var 13 815 kWh. Avvikelse i resultatet beror på de olika värdena på den globala solinstrålningen. I beräkningen av den totala årliga produktionen användes globala solinstrålningen som var 1000 kWh/ enligt bilaga 4, medan summan av månaders produktioner beräknades med att den globala solinstrålningen som var 1009 kWh/ enligt [37]. Det är 9 kWh skillnad mellan de två använda källorna, avvikelsen 9 kWh kan ändå påverka resultatet, därför kan värdet av solstrålningen vara en felkälla.

En annan felkälla i beräkningen är placeringen som kunde läsas av figurerna i bilaga 4 figur 1. Siffran som läste av bilaga 4 kunde stämma om taklutningen var 45 °, men villans taklutning är 25 °. Denna avvikelse i taklutningen kunde påverka anläggningens årliga produktion genom att minska den med 1–2 % [18].

Förlusterna i systemet har uppskattats med 10 %, då var det 90 % kvar som motsvarade 0,9. Systemets förluster kan vara mer eller mindre än 10 %. Detta beror på feldimensionering av till exempel växelriktaren och kablar. Alltså är siffran 0,9 var en felkälla som kan påverka resultatet. Beräkningen av den producerade energimängden har utförts utan att ta hänsyn till att panelerna kunde vara täckta av snö, smuts eller löv, som kan minska produktionen.

Systemets återbetalningstid kan ha ett antal felkällor. Den första felkällan kunde vara villans energibehov som kan variera från år till år. Detta kan till exempel beror på antal familjemedlemmar, alltså nya medlemmar ökar energibehov och motsatsen minskar. Villans energibehov hade en direkt påverkan på mängden av den köpta el och systemets överskott. En annan felkälla var variation på elpriset, vilken kunde bestämma priset på överskottets försäljning. Alla beräkningarna i denna undersökning utfördes med handberäkning, där flera siffror har avrundats. Resultatet skulle bli noggrannare om beräkningarna utfördes med en simulator. En annan felkälla i detta område är att kostnader för städning av paneler från smuts och snö inte har inkluderats i beräkningarna.

6. Slutsatser

Solcellsanläggning i villor kan vara ett effektivt sätt att generera förnybar el, för att anläggningen kan producera el även under de månader där solljuset är svagt. Dessutom kan anläggningen även täcka en stor del av villans energibehov.

Investering av solenergi är en lönsam investering. Detta beror på att solcellsanläggningen som installeras på villans takyta bidrar till en märklig minskning av priset i el-fakturan, och den kan även betala sina kostnader på cirka mindre än hälften av sin livstid. Användning av egen producerade el av solenergi leder också till minskning av koldioxidutsläpp, vilket är positivt för miljön.

Slutligen får det åter kommenteras att användningen av solenergi är ett effektivt sätt att producera el, en lönsam investering och innebär ökad tillgång på en miljövänlig energi. Därför rekommenderas att öka användningen av solceller i framtiden, även i de länder som utsätts för mindre solljus

7. Referenser

- [0] naturskyddsföreningen. Vad är energi. 9 apr, 2021. [20230917]. Hämtad från <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/vad-ar-energi/>
- [1] Demirel Y. Energy: Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling 2nd ed. c Springer International Publishing Switzerland 2016.
- [2] Andrén L, Drivkraft. Solenergi: Möjligheter för offentliga lokaler [Internet]. LTAB 2013 [citerad 30 maj 2013] . Tillgänglig vid <https://skr.se/download/18.3cd0d917188ba1874345dd83/1687417085663/Solenergi%20-%20m%C3%B6jligheter%20f%C3%B6r%20offentliga%20lokaler%20st%C3%A4mplad.pdf>
- [3] Hwaiyu G. What Is Solar Energy?. Semiconductor Manufacturing Handbook, 2nd Edition. New York, N.Y. : McGraw-Hill Education, c2017. Tillgänglig vid https://www-accessengineeringlibrary-com.proxy.lib.chalmers.se/highwire_display/entity_view/node/12284646/focus_view
- [4] SOLBUTIKEN.SE. Solcellens historia. c2024. [20230917]. Hämtad från <https://solbutiken.se/solcellens-historia/>
- [5] Solcellsofferter. Solcellers historia så uppfanns solenergi. u.å. [20230917] . Hämtad från <https://www.solcellsofferter.se/solceller-historia/>
- [6] SEK Svensk Elstandard, solceller råd och regler för elinstallation, tryckt Malmö 2020.
- [7] Energimyndighet. Det här ingår i en solcellsanläggning. u.å. [20231114]. Hämtad från <https://solensenergi.se/tekniken-bakom-solpaneler/>
- [8] ELECTROTIC ENERGI. Olika typer av solceller. u.å . [20230921]. Hämtad från <https://electrotecenergy.se/typer-av-solceller/>
- [9] Mölndals energi. Vägen mot hållbarhet i miljö och klimat. c 2024. [20240621]. Hämtad från <https://www.molndalenergi.se/kunskap/solceller>
- [10] Solcellsofferter. solceller: komplett guide inför ditt köp. u.å. [20230921]. Hämtad från <https://www.solcellsofferter.se/solceller-guide/>
- [11] MÖLNDAL ENERGI. Vägen mot hållbarhet för miljö och klimat. c2024. [20230924]. Hämtad från <https://www.molndalenergi.se/kunskap/solceller>
- [12] MÖLNDAL ENERGI. Så här fungerar din el central. c2024. [20231105]. Hämtad från <https://www.molndalenergi.se/kunskap/sa-har-fungerar-din-elcentral>
- [13] Elsäkerhetsverket. Informationsbehov och elsäkerhetskrav rörande solcellsanläggning. u.å. [20231119]. Hämtad från <https://www.elsakerhetsverket.se/globalassets/publikationer/rapporter/elsakerhetsverket-rapport-informationsbehov-och-elsakerhetskrav-rorande-solcellsanlaggningar.pdf>.
- [14] Hemsol. Optimerare till solceller: funktion, om det behövs och problem. u.å. [20231119] . Hämtad från <https://hemsol.se/solceller/optimerare/#:~:text=En%20effekt%20optimerare%20%C3%A4r%20en%20optimerare.utan%20det%20g%C3%B6r%20anl%C3%A4ggnings%20v%C3%A4rldet>.
- [15] Solproffset. c2024. [20231107]. Hämtad från <https://www.solproffset.se/products/kabel-till-solpaneler-4-och-6mm2-saljes-per-meter-rod#:~:text=Vi%20rekommenderar%20att%20anv%C3%A4nda%206mm2,fr%C3%A5n%2099%20kr%20inkl%20moms>.

- [16] VATTENFALL. Att tänka på när du ska installera solcells batteri. u.å. [20231115]. Hämtad från <https://www.vattenfall.se/solceller/solcells batteri/installera-solcells batteri/#:~:text=Ett%20solcells batteri%20%C3%A4r%20ungef%C3%A4r%20lika,utrymme%20p%C3%A5%2050%2D60%20cm.>
- [17] HemSol. Solcells batteri (batterilagring för solcell). u.å. [20231116]. Hämtad från <https://hemsol.se/solceller/solcells batteri/>
- [18] Göteborg Energi. Kom igång med solceller. c2024. [20231123]. Hämtad från <https://www.gotborgenergi.se/privat/solceller/kom-igang.>
- [19] Energimyndigheten. Så undersöker du förutsättningar för solel. 2024-01-23.[20231124]. Hämtad från <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/>
- [20] BENY. On-grid vs Off-grid solarsystem: Allt du behöver veta. u.å. [20231124]. Hämtad från <https://www.beny.com/sv/on-grid-vs-off-grid-solar-system-all-you-need-to-know/#:~:text=Ett%20On%2DGrid%20solenergisystem%20%C3%A4r,%C3%B6verproduktion%20eller%20underproduktion%20av%20kraft>
- [21] navitas solar. Off-grid vs On- grid solar system. u.å. [20231124]. Hämtad från <https://navitassolar.in/grid-solar-systems/>
- [22] D S New energi. Introduktion till Hybrid solsystem. Jun 28, 2019. [20231127]. Hämtad från <https://se.dnsolar.com/info/introduction-to-hybrid-solar-system-36637668.html>
- [23] Energimyndighet. Solcellers miljöpåverkan och återvinning. u.å. [20230921]. Hämtad från <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/elproduktion/solenergi/solcellers-miljopaverkan-och-atervinning/>
- [24] TIDNINGENS ENERGI. Svårt att mäta solcellers miljöpåverkan. 2020-01-30. [20230921]. Hämtad från <https://www.energi.se/artiklar/svart-att-mata-solcellers-miljopaverkan/>
- [25] VATTENFALL. Är solceller bra för miljön?. u.å. [20230921]. Hämtad från <https://www.vattenfall.se/fokus/solceller/ar-solceller-bra-for-miljon/>
- [26] MR SOLAR. What is a solar panel?. u.å. [20231116]. Hämtad från <https://www.mrsolar.com/what-is-a-solar-panel/>
- [27] VATTENFALL. Solceller - en lönsam investering. u.å. [20231116]. Hämtad från <https://www.vattenfall.se/fokus/solceller/en-lonsam-investering/>
- [28] Climat data. Klimat tabell // historiska värde data Göteborg. u.å. [20230915] . Hämtad från <https://sv.climate-data.org/europa/sverige/vaestra-goetalands-laen/goeteborg-197/>
- [29] viridians solar. M10 Solar Photovoltaic Panels. u.å.[20240130]. Hämtad från <https://www.viridiansolar.co.uk/assets/files/Clearline-fusion-PV16-M10-Data-Sheet.pdf> Hämtad .
- [30] Hemsol. Växelriktare för solceller. u.å. [20240201]. Hämtad från <https://hemsol.se/solceller/solcellspaket/vaxelriktare/>
- [31] LED MEGA store. DEYE 15kW växelriktare. u.å. [20240201]. Hämtad från <https://ledmegastore.se/standard-vaxelriktare/11960-deye-15kw-vaxelriktare-3-fas-solcell-vaxelriktare-sun-15k-g05.html>
- [32] Three phase string inverter. u.å. [20240201]. Hämtad från [https://ledmegastore.se/docs/Deye%20SUN-15K-G05%20EN%20\(1\).pdf](https://ledmegastore.se/docs/Deye%20SUN-15K-G05%20EN%20(1).pdf)

- [33] Sara Hemming, William Bergmark. Så mycket solceller behöver man: Dimensionering & storlek. 7 sep 2023. [20240201]. Hämtad från <https://hemsol.se/solceller/hur-mycket-behover-man/#:~:text=Storlek%20och%20m%C3%A5tt%20p%C3%A5%20solpaneler,normalt%20p%C3%A5%20170%20%E2%80%93%20210%20watt>
- [34] Hemsol. Dimensionering av växelriktaren till solceller, hur stor effekt behövs?. u.å. [20240202]. Hämtad från <https://hemsol.se/solceller/solcellspaket/vaxelriktare/dimensionera/>
- [35] chargefy. c2024.[20240202]. Hämtad från https://chargefy.nu/produkt/huvudsakring-hojning-till-20a-25a/?srsltid=AfmBOoqHLS39Z67gNdUWJzMjJqh5vNTQluzXMPANuDonFIUdH5Q_62LYSr0
- [36] Bengets nya villabolag. Beräkning av högsta ström och spänning i solcellsanläggning. 20170430. [20240209]. Hämtad från <https://bengtsvillablogg.info/2017/04/30/berakning-av-hogsta-strom-och-spanning-i-solcellsanlaggning/#:~:text=Om%20man%20har%20en%20str%C3%A4ng,35%2C1%20%3D%20351%20V>
- [37] SMHI. Års-och månadsstatistik. u.å. [20 240 311]. Hämtad från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/manadens-vader-och-vatten-sverige/manadens-vader-i-sverige/ars-och-manadsstatistik>
- [38] pbm. H1Z2Z2-K PBM-SOLAR XL Flexibel UV beständig & halogenfri DC kabel för solcellspaneler u.å. [20240524]. Hämtad från <https://pbmkabel.se/wp-content/uploads/H1Z2Z2-K-PBM-SOLAR-XL-PBM-Kabel.pdf>
- [39] Power BySun. Solcellernas verkningsgrad: vad är verkningsgrad. u.å. [20240319]. Hämtad från <https://powerbysun.se/solceller/solcellernas-verkningsgrad-vad-ar-verkningsgrad/>
- [40] Elinstallationsreglerna SS 436 40 00 utgåva 3 med kommentarer.
- [41] Hemsol. Skatteavdrag för solceller: så fungerar Rot & grönt avdrag 2024.u.å. [202400303]. Hämtad från [Skatteavdrag för Solceller: Så fungerar ROT & Grönt Avdrag 2024 \(hemsol.se\)](https://hemsol.se/skatteavdrag-for-solceller-sa-fungerar-rot-och-gront-avdrag-2024)
- [42] Göteborg Energi. Producera egen el. c2024. [20240318]. Hämtad från https://www.goteborgenergi.se/privat/solceller/ersattning?mtm_campaign=sitelink-extension&mtm_source=google&mtm_medium=cpc&mtm_group=salj_elotherskott&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwzN-vBhAkEiwAYiO7oDNGQbWvow7eUWM_mQLk6qIyoaG0GVWoGd5DT55nv3qGtH4jW6Ev4xoCkQ0QAuD_BwE
- [43] sunlux. Serie – och parallellkoppling av solpaneler. C2024. [20240225]. Hämtad från <https://sunlux.se/serie-eller-parallellkoppling-av-solpaneler/>
- [44] Slocable. Är det bättre att ansluta solpaneler i serie eller parallellt?.c2022. [20240225]. Hämtad från <https://www.slocable.com.cn/sv/news/is-it-better-to-connect-solar-panels-in-series-or-parallel/>
- [45] MÖLNDAL ENERGI. Solcellers miljöpåverkan så mycket koldioxid undveks du 2022. C2024. [20240310]. Hämtad från <https://www.molndalenergi.se/kunskap/solceller/solcellers-miljopaverkan>
- [46] SWEDENSOL. Lönsamhet / Återbetalningstid. c2024. [20240310]. Hämtad från <https://www.swedensol.se/lonsamhet-%C3%A5terbetalningstid-solceller#:~:text=En%20solanl%C3%A4ggning%20p%C3%A5%205%20kw,du%20f%C3%B6rbrukar%20i%20din%20fastighet.&text=Ber%C3%A4kningen%20ovan%20%C3%A4r%20baserad%20p%C3%A5,priset%20blir%20avkastningen%20%C3%A4nnu%20h%C3%B6gre>
- [47] SVENSKA KRAFTNÄT. u.å. [20240310]. Hämtad från <https://xn--ntomrden-0zao.se/>

[48]Electricals online. u.å. [20240318]. Hämtad från
<https://www.electricalsonline.co.uk/product-page/pv16-405-m10>

49] OTOVO. Solpaneler på taket-så fungerar det. C2023.[20240522]. Hämtad från
<https://www.otovo.se/blog/solpaneler-solceller/solpaneler-tak-pris/#:~:text=Takytans%20storlek%20avg%C3%B6r%20storleken%20p%C3%A5,eller%20befinna%20sig%20i%20norrl%C3%A4ge.>

[50] Solcellsoffret. Solceller på eternittak: går det att installera solpaneler på eternit?.
20240422. [20240522]. Hämtad från
<https://www.solcellsofferter.se/solceller-pa-eternittak/>

[51] Maysun solar. Nätanslutet solsystem vs. Off grid solsystem. 21 september 2023.
[20240523]. Hämtad från
<https://www.photovoltaic-panels.com/blog/natanslutet-solsystem-vs-off-grid-solsystem>

[52] Starfelt. Max belastning elkabel. 12 oktober 2020. [20240526]. Hämtad från
<https://www.starfelt.se/support/max-belastning-elkabel/>


8. Bilagor

Bilaga 1: datablad för den valda solpanelen [29].

EN

Clearline

M10 Solar Photovoltaic Panels



PV16-405-M10

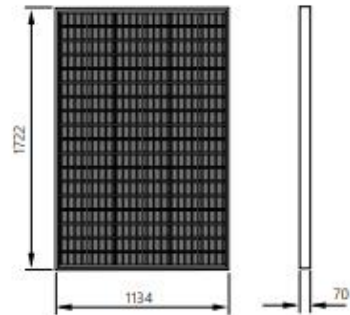
- Simple roof integration with clean, low-profile aesthetic for new build and retrofit
- Rapid installation times of less than 45 min/kWp easily achieved
- Compatible with the widest range of slate and tile including special fixings for different batten thickness
- Fitted during the normal roofing programme, enabling clarity of responsibility and safe working practices
- Achieves highest fire rating and wind resistance without modifications to the roof

Mechanical Specification

Model	PV16-405-M10	
Aperture Area	m ²	1.885
Width	mm	1,134
Length	mm	1,722
Thickness	mm	70
Weight	kg	25.0
Static roof loading (distributed)	kg/m ²	12.8
Characteristic Wind Resistance	kPa	4.24
Ultimate Design Load ¹	kPa	4.24
Positive Design Load	BC 922 S	5.40
Roofing System Fire Rating	EN 13501-5	B _{ROOF} (T1, T2, T3, T4)
Power Warranty	% rated	90% 10 years, 80% 25 years
Product Warranty		10 years
Standards		IEC 61215, IEC 61730, TÜV MCS05, MCS2

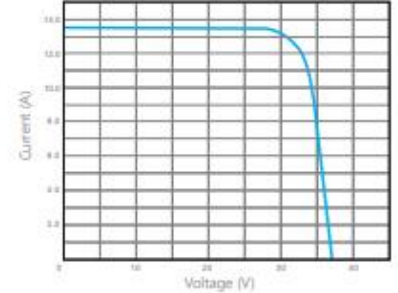
Electrical Specification

Model	PV16-400-M10		PV16-405-M10	
Peak Power ²	Wp	400		405
Module Efficiency ³	%	21.2		21.5
Number of Cells		54x2		54x2
Maximum Power Voltage (V _{MPP})	V	30.85		31.02
Maximum Power Current (I _{MPP})	A	12.97		13.06
Open Circuit Voltage (V _{OC})	V	36.87		37.05
Short Circuit Current (I _{SC})	A	13.52		13.62
NOCT ⁴	°C	45.0		
Cell Type		Monocrystalline Silicon		
Power Temperature Coefficient	%/°C	-0.35		
Current Temperature Coefficient	%/°C	0.05		
Voltage Temperature Coefficient	%/°C	-0.28		
Maximum System Voltage	VDC	1,000		
Maximum Fuse Rating	A	25		
Safety Classification		Class II		
Electrical Connectors		Genuine Staßli MCA PV-K5T4, PV-KBT4		



PV16-405-M10

I-V Curve



1 Design resistance to ultimate loads includes a partial material safety factor of 1.0




2 Subject to a manufacturing tolerance of +/- 5%

3 Based on aperture area

4 Nominal Operating Cell Temperature

Electrical specifications measured under standard test conditions: Irradiation 1 kW/m² with light spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25°C.

© Viridian Solar Ltd, 2022. Not to be reproduced either wholly or in part without the express written permission of Viridian Solar Ltd. Viridian has a policy of continuous improvement, and reserves the right to alter the specifications without notice. Viridian has made every effort to ensure the accuracy of information, but does not accept liability for any errors or omissions.

Bilaga2: datablad för den valda växelriktaren [32].

Technical Data

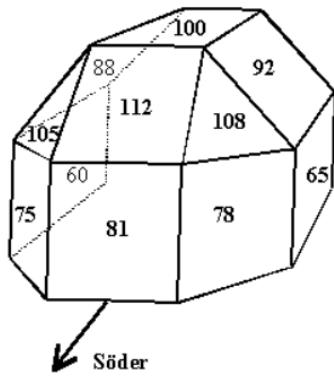
www.deyeinverter.com

Model	SUN-15K-G05	SUN-17K-G05
Input Side		
Max. DC Input Power (kW)	19.5	22.1
Max. DC Input Voltage (V)	1000	
Start-up DC Input Voltage (V)	250	
MPPT Operating Range (V)	200–850	
Max. DC Input Current (A)	13+26	
Max. Short Circuit Current (A)	19.5+39	
No. of MPP Trackers	2	
No. of Strings per MPP Tracker	1+2	
Output Side		
Rated Output Power (kW)	15	17
Max. Active Power (kW)	16.5	18.7
Nominal Output Voltage / Range (V)	3L/N/PE 220/380V, 230/400V	
Rated Grid Frequency (Hz)	50 / 60 (Optional)	
Operating Phase	Three phase	
Rated AC Grid Output Current (A)	22.7/21.7	25.8/24.6
Max. AC Output Current (A)	25/23.9	28.3/27.1
Output Power Factor	0.8 leading to 0.8 lagging	
Grid Current THD	<3%	
DC Injection Current (mA)	<0.5%	
Grid Frequency Range	47–52 or 57–62 (Optional)	
Efficiency		
Max. Efficiency	98.5%	
Euro Efficiency	97.5%	
MPPT Efficiency	>99%	
Protection		
DC Reverse-Polarity Protection	Yes	
AC Short Circuit Protection	Yes	
AC Output Overcurrent Protection	Yes	
Output Overvoltage Protection	Yes	
Insulation Resistance Protection	Yes	
Ground Fault Monitoring	Yes	
Anti-Islanding Protection	Yes	
Temperature Protection	Yes	
Integrated DC Switch	Yes	
Remote software upload	Yes	
Remote change of operating parameters	Yes	
Surge protection	DC Type II / AC Type II	
General Data		
Size (mm)	333W×472H×202D	
Weight (kg)	15	
Topology	Transformerless	
Internal Consumption	<1W (Night)	
Running Temperature	-25–65°C, >45°C derating	
Ingress Protection	IP65	
Noise Emission (Typical)	<40 dB	
Cooling Concept	Smart cooling	
Max. Operating Altitude Without Derating	2000m	
Warranty	5 years	
Grid Connection Standard	CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, NRS 097, IEC 62116, IEC 61727, G99, G98, VDE 0126-1-1, RD 1699, C10-11	
Operating Surroundings Humidity	0-100%	
Safety EMC / Standard	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2	
Features		
DC Connection	MC-4 mateable	
AC Connection	IP65 rated plug	
Display	LCD1602	
Interface	RS485/RS232/Wifi/LAN	

Uppbyggnad & Teknisk data

Ledaruppbyggnad	Fintrådig förtent koppar, klass 5
Ledarisolering	Tvärbundet halogenfritt material, vit
Yttermantel	Tvärbunden halogenfritt material, svart, röd eller blå
Minsta böjradie	4 x kabeldiametern
Temperaturområde	-40 °C till +90 °C
Max tillåtna ledartemperatur	+120 °C
Driftspänning	AC: 1000/1000 V DC: 1500/1500 V
Testspänning	AC: 6500 V DC: 15000 V
Brandspridningsklass	IEC 60332-1-2 CPR: Dca s2,d2,a1
Halogenfri enligt	EN 50525-1 bilaga B
Låg rökdensitet enligt	IEC 61034-2
UV & väderbeständig	EN 50618 bilaga E
Ozonbeständig	EN 60811-403 Metod A
Resistent mot syror och alkalier	EN 50618 bilaga B
Tillverkningsnorm	EN 50618
Godkännande	CE, RoHS, TÜV Rheinland

Bilaga 4 hjälp figurer att läsa rätt siffra för att beräkna produktionen i KWh [46].



Figur 1. solinstrålning i procent vid olika placeringar.

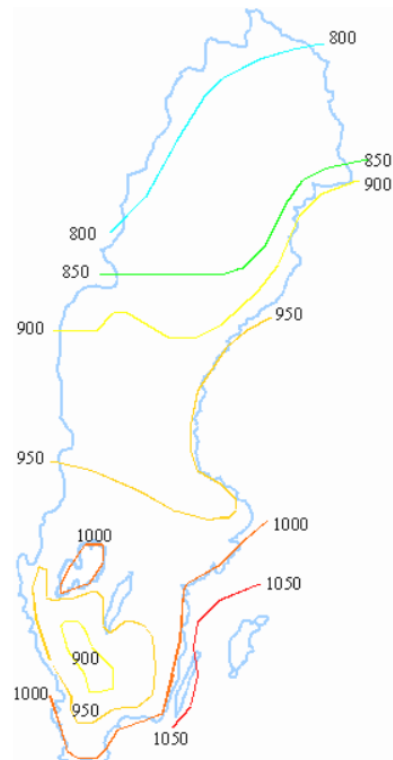


Fig. 2. SMHIs Globalsolstrålning per/år mot horisontell yta.