

Hybridsystem med solpaneler och vindturbin för egnahemshus

Robin Nabb

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik

Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Robin Nabb
Utbildning och ort: El- och automationsteknik Vasa
Inriktning: Automationsteknik
Handledare: Roger Mäntylä, Kim Sund

Titel: Hybridsystem med solpaneler och vindturbin för egnahemshus

Datum: 15.1.2024 Sidantal: 38 Bilagor: 1

Abstrakt

Detta examensarbete utforskade sol- och vindenergi genom att beskriva teorin bakom uppbyggnad och funktion av solpaneler, vindkraftverk och växelriktare. Fokus låg på småskalig elproduktion för egnahemshus, där olika system, inklusive solpanelssystem och ett hybridsystem med vind- och solkraft, undersöktes. Ett av dessa system installerades på ett tvåvånings egnahemshus i Österbotten, byggt på 1990-talet med direkt eluppvärmning och en bostadsyta på 145 kvm.

Installationen av systemet och använda materialtyper beskrevs i arbetet. Simuleringar genomfördes för att få data för olika system att jobba med, och för att kunna skapa grafer över elinbesparingar med de olika systemen på det specifika egnahemshuset som installationen utförts vid. Återbetalningstider för de olika systemen analyserades och jämfördes. Dessutom undersöktes miljöpåverkan av sol- och vindkraft, där även återvinning av dem togs upp.

Resultaten gav insikter i kostnadseffektivitet och miljövänlighet för egna energisystem och sätt att producera egen el för egnahemshus. Studien belyste även praktiska aspekter av att integrera småskalig energiproduktion och syftade till att öka förståelsen för implementeringsmöjligheter och utmaningar. Sammantaget erbjuder detta arbete vägledning för husägare som överväger hållbara energilösningar, vilket också verkar vara framtiden för en grönare elproduktion med en minimal miljöpåverkan och utsläppsmängd av koldioxid, vilket också är ett sätt att kunna bromsa den globala uppvärmningen.

Språk: svenska

Nyckelord: solkraft, vindkraft, hybridsystem, småskalig elproduktion

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Robin Nabb
Koulutus ja paikkakunta:	Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Automaatiotekniikka
Ohjaaja(t):	Roger Mäntylä, Kim Sund

Nimike: Omakotitalon hybridijärjestelmä aurinkopaneelein ja tuuliturbiinein

Päivämäärä: 15.1.2024 Sivumäärä 38 Liitteet 1

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö tutki aurinko- ja tuulienergiaa kuvaamalla aurinkopaneelien, tuuliturbiinien ja inverttereiden rakenteen ja toiminnan teoriaa. Painopiste oli pienten omakotitalojen sähkötuotannossa, jossa tutkittiin erilaisia järjestelmiä, mukaan lukien aurinkopaneelijärjestelmät ja hybridijärjestelmä aurinko- ja tuulivoimalla. Yksi näistä järjestelmistä asennettiin kaksikerroksiseen omakotitaloon Pohjanmaalla, joka oli rakennettu 1990-luvulla suoralla sähkölämmityksellä ja 145 neliömetrin asuintilalla.

Järjestelmän asennus ja käytetyt materiaalityypit kuvattiin työssä. Simulointeja tehtiin erilaisten järjestelmien tietojen keräämiseksi ja graafisten esitysten luomiseksi sähkön säästöistä eri järjestelmillä kyseisessä omakotitalossa, jossa asennus suoritettiin. Järjestelmien takaisinmaksuajat analysoitiin ja vertailtiin. Lisäksi aurinko- ja tuulivoiman ympäristövaikutuksia tutkittiin, mukaan lukien niiden kierrätys.

Tulokset antoivat oivalluksia omien energiajärjestelmien kustannustehokkuudesta ja ympäristöystävällisyydestä sekä tavoista tuottaa sähköä omakotitaloihin. Tutkimus valotti myös pienten energiantuotantojärjestelmien käytännön näkökohtia ja pyrki lisäämään ymmärrystä toteutusmahdollisuuksista ja haasteista. Kokonaisuutena tämä työ tarjoaa ohjausta omakotitalojen omistajille, jotka harkitsevat kestäviä energiaratkaisuja, mikä näyttää myös olevan vihreämmän sähköntuotannon tulevaisuus vähäisellä ympäristövaikutuksella ja hiilidioksidipäästöillä, mikä auttaa hidastamaan ilmaston lämpenemistä.

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: aurinkoenergia, tuulivoima, hybridijärjestelmä, pientehontuotanto

BACHELOR'S THESIS

Author: Robin Nabb
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Specialisation: Automation engineering
Supervisor(s): Roger Mäntylä, Kim Sund

Title: Hybrid System With Solar Panels and Wind Turbine for a Single-Family House

Date 15.1.2024 Number of pages 38 Appendices 1

Abstract

This thesis explored solar and wind energy by describing the theory behind the construction and function of solar panels, wind turbines, and inverters. The focus was on small-scale electricity production for single-family homes, where different systems, including solar panel systems and a hybrid system with wind and solar power, were investigated. One of these systems was installed on a two-story single-family home in Ostrobothnia, built in the 1990s with direct electric heating and a living area of 145 square meters.

The installation of the system and the types of materials used were described in the thesis. Simulations were conducted to gather data for various systems and to create graphs of electricity savings with the different systems on the specific single-family home where the installation was performed. Payback periods for the various systems were analyzed and compared. Additionally, the environmental impact of solar and wind power was examined, including recycling considerations.

The results provided insights into the cost-effectiveness and environmental friendliness of residential energy systems and methods of producing electricity for single-family homes. The study also highlighted practical aspects of integrating small-scale energy production and aimed to increase understanding of implementation possibilities and challenges. Overall, this work offers guidance for homeowners considering sustainable energy solutions, which also appear to be the future of greener electricity production with minimal environmental impact and CO₂ emissions, thereby helping to mitigate global warming.

Language: Swedish

Key words: solar power, wind power, hybrid system, small-scale electricity production

Innehållsförteckning

1	Syfte.....	Error! Bookmark not defined.
2	Solpanelens uppbyggnad och funktion.....	1
2.1	Halvledare.....	2
2.2	Solljus till elektricitet.....	2
2.3	Olika typer av solceller.....	3
2.4	Kiselsolceller.....	3
2.4.1	Monokristallina solceller.....	3
2.4.2	Polykristallina solceller.....	3
2.4.3	För och nackdelar mellan poly- och monokristallina solceller.....	4
2.5	Tunntilmssolceller.....	4
2.5.1	CdTe-solceller.....	4
2.6	Vindturbinens uppbyggnad.....	5
2.7	Horisontella vindkraftverk.....	5
2.7.1	För och nackdelar med horisontella vindkraftverk.....	5
2.8	Vertikala vindkraftverk.....	6
2.8.1	För- och nackdelar med vertikala vindkraftverk.....	6
2.9	Växellåda.....	7
2.10	Generator.....	7
2.11	Betz lag.....	7
2.12	Växelriktarens uppbyggnad.....	8
2.13	Pulsbreddsmodulering.....	9
2.14	MPPT.....	10
3	Planering samt utförande av installation för fastigheten.....	10
3.1	Placering av paneler.....	10
3.2	Placering av vindturbin.....	12
3.3	Möjligheter till vidareutbyggnad av systemet i framtiden.....	12
3.4	Val av paneler, vindturbin samt övriga material.....	13
3.5	Tillvägagångssätt för installation.....	15
3.6	Krav på installationer.....	18
3.7	Ibruktagning.....	19
4	Tillstånd.....	21
5	Möjligheter till bidrag.....	21
5.1	Hushållsavdrag.....	22
6	Miljöpåverkan.....	22
6.1	Återvinning av solceller.....	22
6.2	Återvinning av vindkraftverk.....	23

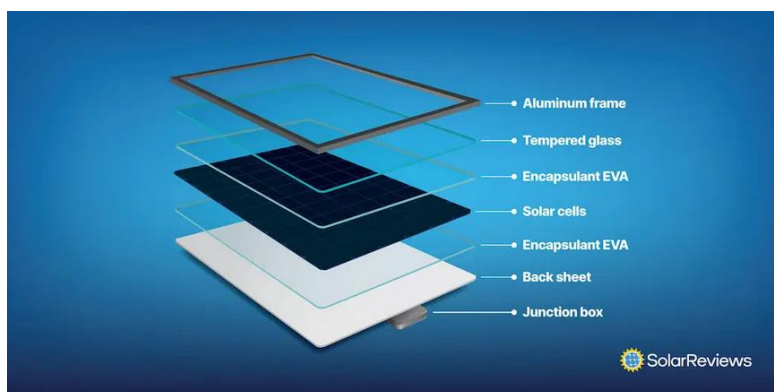
6.3	Koldioxidutsläpp vid elproduktion för sol- och vindkraft.....	23
6.4	Sol- och vindkraftens bidragande till luftens temperatur	23
7	Energimängdsproducering	24
7.1	Inbesparing av energi med olika alternativ av anläggningar	24
7.2	Simulering av årsproduktion med olika alternativ av anläggningar	29
8	Återbetalningstid.....	30
9	Hur man tillvaratar den producerade energin på bästa sätt.....	31
10	Diskussion.....	31
11	Källförteckning	32

1 Inledning och syfte

Eftersom produktion av egen elektricitet är ett aktuellt och hett ämne idag, kommer detta arbete att vara en nyttig undersökning för husägare som överväger installation av småskalig elproduktion. I arbetet kommer forskning kring hur man kan kombinera solpaneler med en vindturbin och på ett förmånligt samt miljövänligt sätt producerar el åt sig själv samt vidare till elnätet. Som projektdel för detta examensarbete utförs planering och installation av ett solpanelssystem på ett egna hemshus i Replot. Ett färdigt paket att installera kommer att skapas. Information om stödmöjligheter, tillstånd, krav på installationer och besiktningsmätningar kommer att samlas i detta arbete. I arbetet kommer det att ingå beräkningar över lönsamheten med att producera egen el med olika system, både från miljö samt ekonomisk synvinkel.

2 Solpanelens uppbyggnad och funktion

En typisk solpanel är gjord som en tunn platta med en aluminiumram runt och MC4 kontakter på baksidan. Plattan är konstruerad i flera olika lager. Det översta lagret är gjort av härdat glas. Det andra lagret är ett bindningslager, ett plastliknande material, exempelvis etylvinylacetat (EVA) eller polyvinylbutural (PVB). Det tredje lagret är ett halvledarmaterial. Detta lager innehåller massor med små celler som oftast består av kisel, alternativt ett tunnfilmslager. Cellerna radas ut och kopplas samman med ledande metallband. Efteråt limmas ett till bindningslager. Som sista lager monteras ett bakstycke på panelen. För att få en klar uppfattning över de olika lagren kan figur 1 nedan studeras.



Figur 1: Solpanelens olika lager. (SolarReviews, 2023).

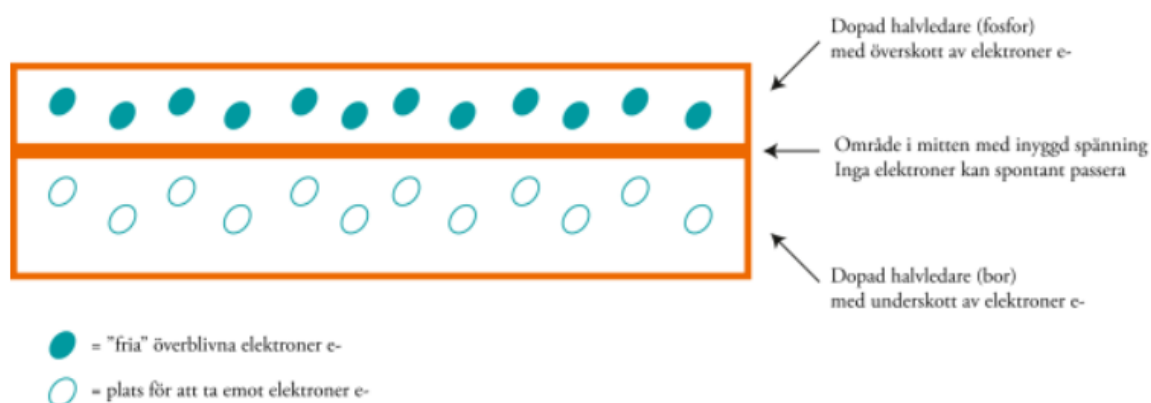
2.1 Halvledare

En populär halvledare som används i solceller är grundämnet kisel. En halvledare kan ibland både leda ström och ibland inte leda ström. Ledningsförmågan kan kontrolleras och därför blir kisel väldigt användbart. Genom doping kan man bestämma halvledarens potential. Doping delas in i två olika typer, N-doping och P-doping.

Vid N-doping tillsätts lite fosfor eller arsenik i kiset, eftersom både fosfor och arsenik har fem yttre elektroner lämnar den femte elektronen obunden och rör sig fritt vid förening med kisel. I detta fall får halvledaren en negativ laddning. (Jeffery, 2021).

Vid P-doping tillsätts gallium eller bor i kiset. Gallium och bor har bara tre yttre elektroner och skapar ett hål i kiselgittret vid föreningen. Genom brist på elektroner skapas en positiv laddning och strömmen kan ledas genom de hål som skapats, eftersom det då finns plats för en elektron från en närliggande atom. (Jeffery, 2021).

Genom att använda sig av både P-doping och N-doping kan en användbar halvledarkrets skapas. Principen över hur en halvledarkrets byggs upp kan ses i figur 2.



Figur 2: Exempel på uppbyggnad av en halvledarkrets. (Penthon, u.d.).

2.2 Solljus till elektricitet

Solljuset rör sig i olika våglängder i form av fotoner. Ljuset som träffar jorden har en våglängd på 300–2500 nm (nanometer). För att solljuset skall kunna producera elektricitet behöver våglängden vara minst 1100 nm. Ungefär 23% av solljuset som träffar jorden har en högre våglängd än 1100 nm, och kan då dras nytta av i solcellerna. 1100 nm ger en energimängd på 1,1 eV (elektronvolt). (Penthon, u.d.).

När solcellen får tillräckligt med ljus blir elektronerna mer lättrorliga. Detta leder till att elektronerna kan förflytta sig från ena skiktet till det andra, eftersom det finns överflöd av elektroner i ena kiseltypen och underskott i den andra kiseltypen. (Penthon, u.d.).

2.3 Olika typer av solceller

Det finns många olika typer av solceller. Verkningsgraden samt utseende kan variera en del mellan de olika typerna. Det är därför viktigt att ta reda på vad som lönar sig bäst i olika sammanhang före montering.

2.4 Kiselsolceller

Det finns två olika typer av kiselsolceller, den första typen kallas monokristallina och den andra typen kallas polykristallina. Kiselsolceller är den vanligaste solcellen i nuläget. Kisel är det näst mest förekomna ämnet på jorden och har liknande kemiska egenskaper som kol, både kol och kisel kan nämligen binda fyra kovalenta bindningar. Kisel är hårt till ytan men spricker också lätt sönder vid hårda stötar. (Komp, 2016).

2.4.1 Monokristallina solceller

I den monokristallina solpanelen är kristalliserat kisel, med endast en kristall, pressat mellan två konduktiva lager. Varje kiselatom kopplas samman med varandra i fyra kopplingar eftersom, att kisel har fyra kovalenta bindningar. Kopplingarna gör att elektronerna hålls på plats och därför kan inte heller någon spänning flöda. För att spänningen skall kunna flöda finns två olika typer av kisel i solpanelerna. (Komp, 2016).

2.4.2 Polykristallina solceller

Den polykristallina solcellen är uppbyggd på väldigt lika sätt som den monokristallina. Det som skiljer dem mest från varandra är att den polykristallina solcellen består av ett kiselskikt som är hopsmält av en kiseltyp med flera olika kristaller. Det gör att färgen på panelen blir blåaktig i stället för svart som i monokristallina solcellen. Verkningsgraden på den polykristallina blir också lägre jämfört med den monokristallina typen som har en bättre kiselkvalité. (Hemming, 2023).

2.4.3 För och nackdelar mellan poly- och monokristallina solceller

Förutom utseende finns flera egenskaper som skiljer sig mellan poly- och monokristallina solceller. Verkningsgraden på monokristallina solceller ligger på ungefär 21% medan verkningsgraden på polykristallina solceller ligger på endast 17%. Däremot är polykristallina solceller billigare att anskaffa jämfört med monokristallina. I normala fall kostar polykristallina paneler 150–200 euro per panel och monokristallina kostar 200–300 euro per panel. Effekten på polykristallina solceller ligger på 250–300 W medan monokristallina solceller ligger på 330–390 W. Livslängden på båda typerna är samma, ca 25 år. (Hemming, 2023).

2.5 Tunnfilmssolceller

Tunnfilmssolcellen är i dagsläget under utveckling och förväntas bli alltmer populär vartefter verkningsgraden ökar. Namnet tunnfilmssolcell kommer från dess tjocklek, den kan nämligen vara 1/200 så tunn som kiselceller. Tunnfilmssolceller kan vara så tunn som 1–2 μm . Dess tjocklek kan jämföras med grovleken på ett spindelnät. Det finns tre olika typer av tunnfilmssolceller. Dessa tre typer kallas CdTe, CIGS och a-Si. (Hemming, 2023).

2.5.1 CdTe-solceller

CdTe solpaneler använder i stället för kisel kadmiumtellurid, vilket är en kristallin förening av kadmium och tellur. Denna typ av panel har en stor potential att till och med bli vanligare på marknaden än kiselpanelen i framtiden. Fördelen med CdTe-solceller är att tillverkningskostnaden är väldigt låg, till och med billigare än tillverkning av kiselceller, vilket den också är ensam med bland tunnfilmssolceller. En annan fördel är miljöpåverkan av tillverkningen, redan efter ett år har CdTe-solcellen nollat elmängden som gått åt för tillverkningen av den. Därför är CdTe-solcellen även den mest miljövänliga typen bland fotovoltaiska produceringstyper. CdTe-solceller presterar bättre vid höga temperaturer och mörkare ljus än kiselceller, med andra ord producerar den mer elektricitet än kiselcellen vid höga temperaturer och i skugga eller mörkt ljus. En annan fördel är att kadmium är lätt att få tag på, det är nämligen en restprodukt som skapas vid tillverkning av stål och förzinkning av metaller. (LDSreliance, 2018).

Det finns också nackdelar med CdTe-solceller. Tellur är ett relativt ovanligt ämne, det finns 14 gånger så mycket silver på jorden än tellur. (Alegsa, 2022). Man räknar ändå med att kunna återanvända tellur från gamla CdTe-solceller när nya blir tillverkade. En annan nackdel är livslängden på CdTe-solceller, den är kortare än kisel-solceller, man brukar räkna med en livslängd på 10–15 år. (LDSreliance, 2018).

2.6 Vindturbinens uppbyggnad

Uppbyggnaden av ett vindkraftverk kan variera en del beroende på modell. Det finns många olika storlekar på vindkraftverk. Mindre vindkraftverk passar för privatbruk som till exempel elförsörjning för ett egnahemshus, större vindkraftverk kan användas som elproduktion för stamnätet. De två vanliga typerna av vindkraftverk kan delas upp i två olika kategorier, horisontella vindkraftverk och vertikala vindkraftverk, vars namn kommer från i vilket läge den roterande axeln ligger. Bägge typerna har både för- och nackdelar samt har sina specifika användningsområden.

2.7 Horisontella vindkraftverk

Den vanligaste typen av vindkraftverk består av en pelare som står på ett stadigt fundament i betong. Uppe i pelarens topp sitter själva kraftverket. Det mest förekomna kraftverket idag består oftast utav två eller tre rotorblad och kallas då för snabbblöpare. Rotorbladen är kopplade till en axel som roterar. Axeln är kopplad till en växellåda som sedan i sin tur är kopplad till en generator. För att vindkraftverket skall kunna ta tillvara vinden och producera så mycket energi som möjligt, roterar hela kraftverket enligt vindriktning. Förutom rotation av hela kraftverket kan även rotorbladen ställa om sin vinkel för att fånga vinden så effektivt som möjligt beroende på hur hårt det blåser.

2.7.1 För och nackdelar med horisontella vindkraftverk

Horisontella vindkraftverk har en relativt hög verkningsgrad, moderna vindkraftverk har en verkningsgrad på närmare 50 %. (Marybarnes, 2021). En nackdel med horisontella vindkraftverk är att fåglar kan flyga in i rotorbladen och skadas eller dö. Detta inträffar inte lika ofta med vertikala vindkraftverk. En annan nackdel är att service av vindkraftverken blir krävande eftersom hela växellådan och generatorn sitter högst upp på tornets topp.

Höjden till tornets topp på vindkraftverk till havs kan till och med bli över 150 meter. (Aschan, 2022).

2.8 Vertikala vindkraftverk

Den andra gruppen av vindkraftverk kallas vertikala vindkraftverk. Namnet kommer från positionen på den roterande axeln. Axeln står vertikalt. Vertikala vindkraftverk är i nuläget ännu inte lika vanliga som horisontella vindkraftverk. Vertikala vindkraftverk har en liknande funktion som horisontella vindkraftverk. De producerar elenergi genom att fånga vinden med dess blad som roterar en axel ansluten till en generator. Denna typ av vindkraftverk fångar vinden från alla riktningar och kan till och med ta vara på vindar som strömmar uppifrån eller nerifrån. Detta tack vare dess aerodynamiska form på bladen. Eftersom vertikala vindkraftverk är relativt tysta och tar lite utrymme passar de bra att installera på bebodda orter och är därför ett bra alternativ för att till exempel försörja ett egnahemshus med el.

2.8.1 För- och nackdelar med vertikala vindkraftverk

Vertikala vindkraftverk är betydligt mer effektiva i vissa förhållanden jämfört med horisontella vindkraftverk, enligt en rapport som Oxford Brookers Univeristy har gjort. När vindkraftverken ställs parvis ökas effektiviteten med hela 15%. Vertikala vindkraftverk kan placeras mycket tätare än horisontella vindkraftverk utan att förlora sin verkningsgrad. (Fahlman, 2021).

Vertikala vindkraftverk kräver inte lika hög höjd som horisontella vindkraftverk för att kunna producera el effektivt. Detta medför flera fördelar, montering och service blir betydligt lättare på en lägre höjd, vilket också leder till lägre kostnader för underhåll. Vertikala vindkraftverk har mindre belastning på lagren eftersom tyngdpunkten fördelas annorlunda jämfört med horisontella vindkraftverk. De behöver inte heller lika stor yta som horisontella vindkraftverk behöver. Vertikala vindkraftverk behöver inte nödvändigtvis ha lika komplicerad geometri på bladen som fångar vinden för att kunna producera el effektivt. Vertikala vindkraftverk är också tystare än horisontella vindkraftverk eftersom de vanligtvis har en lägre roterande hastighet på rotorbladens ände. Vindriktningen har inte avgörande roll för ett vertikalt vindkraftverk. De producerar lika mycket energi i alla vindriktningar och behöver inte svängas mot vindens riktning som horisontella

vindkraftverk behöver. De klarar också bättre av att fånga vindbyar och turbulens. (Marybarnes, 2021).

Några nackdelar bland vertikala vindkraftverk är att de ännu inte är lika effektiva som horisontella vindkraftverk i normala förhållanden. Maximala verkningsgraden på horisontella vindkraftverk ligger på närmare 50% medan vertikala vindkraftverk ligger på en maximal verkningsgrad på endast 30–40%. (Marybarnes, 2021). Vertikala vindkraftverk har flera begränsningar att tänka på vid utvecklingen av vindkraftverken jämfört med horisontella vindkraftverk. Det är svårare att utveckla aerodynamiken för ett vertikalt vindkraftverk, utmaningen är att få turbinens startvridmoment lägre. Eftersom det kräver ett högre startvridmoment sjunker också prestanda och verkningsgraden vid lägre vindhastigheter jämfört med horisontella vindkraftverk. (Juang, Li, & Li, 2023).

2.9 Växellåda

Eftersom rotorbladen inte kan ta tillvara vindens hastighet tillräckligt bra så krävs en växellåda. Växellådans uppgift är att se till att generatorn skall kunna producera ström. För att generatorn skall kunna producera ström behöver axeln som är kopplad till den rotera med tillräckligt höga varvtal. På större vindkraftverk roterar axeln från rotorbladen med ungefär 20–30 rpm, efteråt ökas varvtalen ofta genom en trestegs växellåda till ett varvtal som passar generatorn. (Vindkraften.se, u.d.). Normalt vill generatorn ha ett varvtal på 1000–1500 rpm. (Vindkraften.se, u.d.).

2.10 Generator

Storleken på generatorn varierar en del beroende av storleken på vindkraftverket. Generatorn väljs enligt märkströmmen på vindkraftverket. Många tillverkare använder sig utav en dubbellindad generator, alternativt två olika generatorer för att kunna byta mellan dessa beroende på vindstyrka. (Vindkraften.se, u.d.).

2.11 Betz lag

Betz lag fastställdes av Albert Betz, lagen fastställer att inget vindkraftverk kan omvandla mer än $16/27$ eller 59,3% av vindens kinetiska energi till mekanisk energi. Den maximala verkningsgraden på ett vindkraftverk blir alltså 59,3%. Mer effektivitet kan omöjligt nås

eftersom mer vind inte kan passera vindens rotorblad utan att sakta ner dem. Ett tryck uppstår på rotorbladens baksida och effektiviteten sjunker på grund av det. Betz lag kan uttryckas matematiskt med formeln:

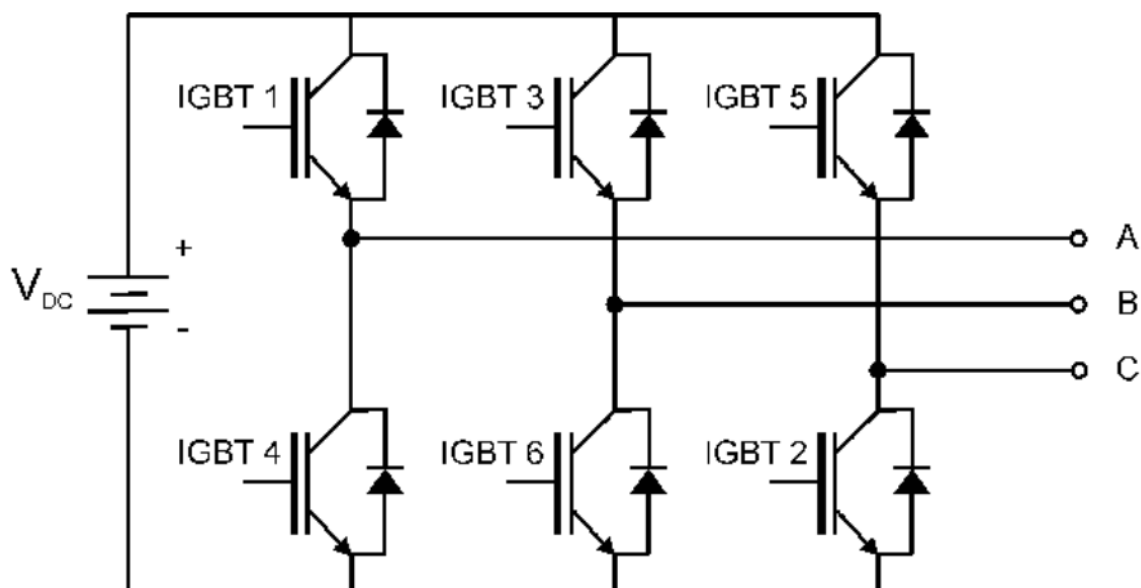
$$P = \rho A \frac{v^3}{2} C_p \quad (1)$$

Där C_p är effektkoefficienten, A är arean, ρ är luftens densitet och v är hastigheten.

2.12 Växelriktarens uppbyggnad

En växelriktare, även ibland kallad inverter har som uppgift att omvandla likström till växelström. En växelriktare behövs vanligtvis vid installation av solpaneler och vindturbiner eftersom både vindturbinens generator och solpanelerna ger ut likström. För att kunna använda den strömmen i hemmet krävs en omvandling till växelström eftersom hushållen och hela stamnätet är byggt för växelström.

En växelriktare är i dagens läge komplicerad och består av många komponenter. En av de viktigaste komponenterna är isolerade bipolära transistorer eller IGBT som förkortningen lyder. I grunden är IGBT:n en MOSFET. IGBT:n är spänningsstyrd och klarar av höga strömmar och spänningar, den är en extremt snabb brytare och passar därför in väl i en växelriktare (Shepard, 2020). Uppgiften för IGBT:n är att genom att slå på och av ledningar i en väldigt snabb intervall skapa växelström av likström med en hög frekvens. Ett kopplingschema över hur IGBT moduler används i en trefasväxelriktare kan ses i figur 3 nedan.



Figur 3: Kopplingschema över IGBT moduler i en trefasväxleriktare. (ResearchGate, 2010).

Livslängden på en växleriktare brukar ligga på 10–20 år och garantin varierar mellan tillverkare. En bra växleriktare är ganska dyr och därför är placeringen av den viktig för att den skall hålla så länge som möjligt. Växleriktningen är svagaste länken i en solpanelsanläggning och behöver oftast bytas ut först. En bra växleriktare har också en hög verkningsgrad. Verkningsgraden ligger vanligtvis över 95 %. Billiga alternativ av växleriktare omvandlar likströmmen till en fyrkantig sinusvåg som brukar kallas för modifierad sinusvåg. Vissa apparater klarar av att drivas med en modifierad sinusvåg men de flesta klarar inte av det. En ren sinusvåg är alltid bättre, men för att få en ren sinusvåg krävs pulsbreddsmodulering. (Wallnér, 2021)

2.13 Pulsbreddsmodulering

I moderna växleriktare styrs pulsbredden av mikroprocessorer, de styr hur länge IGBT:erna skall vara öppen eller slutet och på så sätt regleras den inre växelströmmen och en ren sinusvåg skapas vid utgången. Med pulsbreddsmoduleringen styrs både frekvensen samt spänningen på strömmen som matas ut från växleriktaren. Pulsbreddsmodulering tar bort harmoniska störningar före strömmen från växleriktaren skickas ut till elnätet, eller in till hemmet. Det är viktigt eftersom vissa apparater är känsliga för en slarvig sinusvåg och kan i värsta fall gå sönder av dessa störningar. (Electricity-magnetism, 2023).

2.14 MPPT

Förkortningen MPPT står för "maximum power point tracking" och används när den producerade elen från solpaneler eller vindkraft körs genom en växelriktare. Med MPPT övervakas växelriktarens ingång och laddningseffektens maximala effektpunkter registreras. Genom att använda styrningsalgoritmer som till exempel Perturb and Observe, kan den maximala effektpunkten hjälpa till att få en effektivare tillvaratagen energi och mer elektricitet kan dras nytta av. Jämfört med en PWM-styrd laddningsregulator kan en MPPT öka energieffektiviserings effektiviteten med hela 30 %. (DS new energy, 2018)

3 Planering samt utförande av installation för fastigheten

Huset som installationen utförs på är ett tvåvånings egnahemshus med 145 m² uppvärmd bostadsyta och 5 kvadratmeter uppvärmd yta i garaget. Egnahemshuset är byggt på 1990-talet och värms upp med direkt eluppvärmning. Uppvärmningen sker genom golvvärme samt värmeelement i nästan varje rum. En 300 liters varmvattenberedare som används för kranvatten värms också upp med elmotstånd. Med solpaneler och vindkraft är tanken att husets uppvärmningskostnader skall sjunka och att den egna elproduktionen skall täcka den huvudsakliga elanvändningen största delen av året.

På husets tak placeras 21 solpaneler på 8,6 kW och i framtiden installeras även eventuellt ett litet vindkraftverk, för att också vintertid kunna producera lite energi.

3.1 Placering av paneler

I regel skall solpaneler placeras så att panelytan riktas mot syd, sydöst eller åt sydväst. Detta eftersom solinstrålningen är störst i dessa riktningar. Panelens lutning inverkar också på energiproduktionen från solen. Lutningen varierar beroende på solpanelernas geografiska placering. I detta fall ligger huset i Österbotten och en optimal lutning i Finland är 40–45 grader.

Två olika alternativ för placeringen av paneler gjordes. Husets tak är riktat mot sydöst och nordväst och har en lutning på cirka 43 grader. Första alternativet var att placera 15 paneler på husets baksida i riktning mot sydöst och de övriga 6 panelerna på husets framsida i

riktning mot nordväst. En bild över huset samt placeringen av panelerna visas i figur 4 nedan.



Figur 4: Alternativ ett för panelplacering, bilden är vinklad så att norr pekar rakt uppåt.

Tanken med att placera 6 av panelerna på husets framsida var, att även fast panelernas riktning vore mot nordväst kunde man ändå dra nytta av kvällssolen. Den totala mängden producerad energi blir lägre men i stället blir tiden som egen energi producerats förlängd. För egna energiförbrukningen kunde man dra mer nytta av den producerade energin ifall tiden förlängs. I och för sig säljs också den överflödiga mängden av den producerade energin till ett energibolag och elenergin köps i stället tillbaka ifall den egna produktionstiden är kort men effektiv.

Alternativ två för placering av panelerna var att placera alla 21 paneler på takets baksida med riktning mot sydöst. Placeringsalternativet blev då enligt figur 5 nedan.



Figur 5: Alternativ två för panelplacering, bilden är vinklad så att norr pekar rakt uppåt.

Med detta alternativ av panelernas placering maximeras den totala mängden producerad energi för huset. Mest optimalt är att rikta panelerna mot syd, men eftersom husets tak är riktat mot sydost är detta alternativ så nära syd som möjligt.

3.2 Placering av vindturbin

Det är viktigt att placera vindkraftverk på en plats där vindtillgången är så bra som möjligt. På så sätt ökas energiproduktionen. En annan faktor att beakta är att vindkraftverket inte skall störa miljön runtom eftersom en del ljud kan orsakas av dem i form av brus.

För fastigheten i fråga kunde ett vertikalt vindkraftverk placeras antingen på en ställning som monteras på husets tak eller på en mast. Med tanke på nivåskillnad eller bäst tillgång till vind spelar positionen där vindkraftverket kunde stå inte så stor roll, eftersom träd finns åt alla håll på tomten samt marken är på en relativt jämn nivå över hela tomten.

3.3 Möjligheter till vidareutbyggnad av systemet i framtiden

I framtiden kunde några extra solpaneler monteras på husets framsida för att dra nytta av kvällssolen och få en förlängd produktionstid. Nackdelen med att göra anläggningen större är att växelriktarens maximala effekt på 10 kW snabbt kommer emot. Växelriktaren behöver möjligen i detta fall ersättas med en större, beroende på antalet solpaneler. Kostnaderna blir då snabbt höga.

En annan möjlighet till utveckling i framtiden skapas ifall elavtalet byts från fast pris till börspris. Då kunde en smartbrytare för varmvattenberedaren och golvvärmen installeras. En smartbrytare följer med den publicerade elenergens börspris i realtid, samt en tid framöver. Den kan vara Internetansluten via trådlös WiFi. Den räknar automatiskt ut i vilka tider på dygnet det är mest ekonomiskt lönsamt att värma huset samt varmvattnet. De billigaste modellerna ligger på ett pris på under 50 euro, vilket gör att återbetalningstiden blir kort.

3.4 Val av paneler, vindturbin samt övriga material

Solpanelstypen som installerades var Longi solar LR5-54HIH-410M, en monokristallin 410 watt halfcut panel som kan ses i figur 6. Med halfcut menas att kiselcellen är delad i två delar för att få flera fördelar. Med denna teknik fås en lägre resistans, mindre effektförluster och en lägre temperatur. Longi ger en 15 års produktgaranti samt 25 års effektgaranti, vilket innebär att effekten som solpanelerna producerar inte får sjunka med mer än 15% från vad de producerat som nya. Växelriktaren som installerades var av modell Solis s5-gr3p10k. Växelriktaren har en kapacitet på 10 kW vilket ger rum för vidareutbyggnad av anläggningen i framtiden om så önskas.



Figur 6: Longi halfcut solpanel. (Countyelec, 2023).

Ett vertikalt vindkraftverk hade varit passande för fastigheten eftersom ljudnivån är låg, vilket är viktigt för både boende på tomten och grannar. Tomten har få öppna ytor och många träd vilket leder till turbulens, som vertikala vindkraftverk lätt fångar. Men eftersom vertikala vindkraftverk i dagsläget inte är tillräckligt utvecklade och livslängden på dem vanligtvis inte är så lång installerades ännu inget vindkraftverk på fastigheten. I stället valdes Heli 2kW On-Grid horisontella vindkraftverk, som kan ses i figur 7, för att få data att jobba med för den teoretiska undersökningen senare i arbetet. Detta vindkraftverk kan

även anslutas direkt till andra ingången på växelriktaren som installerades på huset. I framtiden då ett vertikalt vindkraftverk som kommer upp i samma livslängd och egenskaper som horisontala vindkraftverk tillverkas, kunde ett sådant vindkraftverk installeras.



Figur 7: Heli 2kW vindkraftverk. (Istabreeze, 2024).

Materialtyper som användes för installation av solpaneler kan ses i figur 8 nedan:

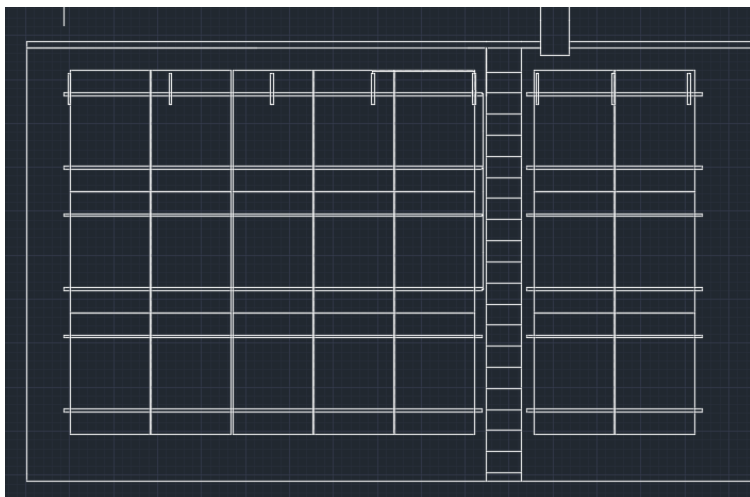
Materialtyp	Antal	Enhet
MKEM90-HF 6 KEVI/500 CCA	35	M
MMJ HF 5X6 S /500 TT	5	M
KUMIKAPELI XTREM H07RN-F 5X6 S K500 ECA	3	M
NAULAKIINNIKKE TC 18-22 VAL	1	ST
NAULAKIINNIKKE TC 8-12 VAL	1	ST
JOHDINSIDE T50R/W 200X4,6MU	2	ST
A9L20601 YLIJÄNNITESUOJA T2	1	ST
JOHDONSUOJAKATKAISIJA ACT/9 IK60N 3X16A/C/6KA	1	ST
MODUULIKOTELO PINTA PC VECTOR VE110N 1X10MOD POLYK	1	ST
TURVAKYTKIN VÄÄNNIN ONNLINE ONTK S425 DC 4X25A 1500V, IP66	1	ST
PÄÄKYTKIN VBF2 3*40A MUSTA	1	ST
EASY RAIL RUUVIPUSSI		
EASY RAIL KIINNI.TIILIKUVIO		
EASY RAIL -KISKON TULPPA	6	ST
PV KIINNIKKE ORIMA ER PÄÄTYK. 30-30MM MUSTA 8KPL	2	ST
MC-4 LIITIN	6	ST
PV UBVERTTERU SOLISS5-GR3P10K 10KW	1	ST
SOLPANEL 410W	21	ST

Figur 8: Materiallista för installation.

3.5 Tillvägagångssätt för installation

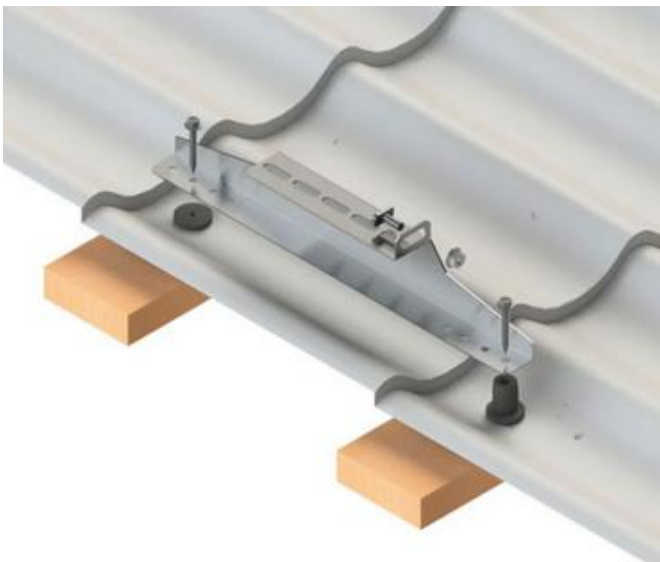
Före installationen kunde påbörjas krävdes en planering över hur arbetet skulle utföras. Eftersom installation av solpaneler var obekant från tidigare fanns en hel del frågetecken. Kraven och databladen från tillverkarna på växelriktare, skenor och solpaneler lästes noggrant igenom. Eftersom installationen utfördes vintertid och taket var halt var det dessutom extra viktigt att tänka på säkerheten vid installationen. Dubbla säkerhetslinor användes för att kunna flytta i sidled på taket utan att riskera olyckor.

Installationen sattes i gång genom att först mäta ut takets mått noggrant. Eftersom en stegen till skorstenen befann sig mitt bland panelerna behövde också den tas i beaktande. Detta betydde i praktiken att panelerna behövde delas in i två sektioner eftersom stegen till skorstenen skapar ett mellanrum. För att alla mått skulle passa in och vara inom de krav som tillverkarna ställde ritades först upp en ritning i AutoCad som kan ses i figur 9, för att sedan ha en ritning i skala att kunna utföra alla mätningar från. Tanken med ritningen var att inte behöva spendera extra tid på det hala taket och i stället kunna utföra mätningar på datorn. Ritningen minskade också risken att skruva fast fästen för skenorna på fel ställen på taket.



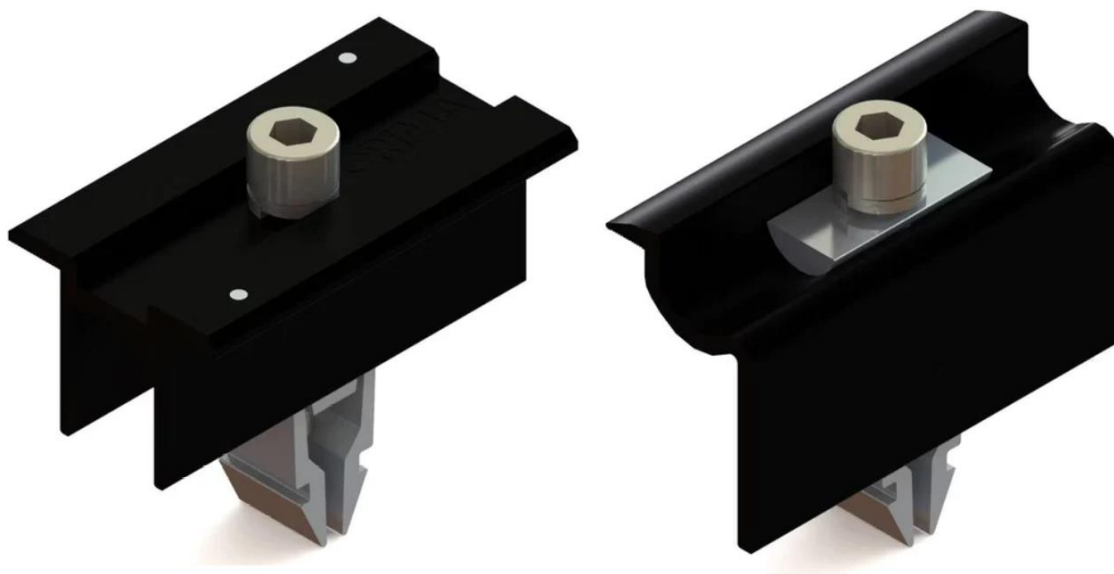
Figur 9: Ritning över placering av skenor och fästen för skenor.

Orimas Easy rail modellanpassade fästen för tegelformat plåttak skruvades fast med tillhörande skruvar, och med gummidistanser mellan taket och fästet. Därefter monterades Orimas easy-skenor. En bild på fästena framgår ur figur 10.



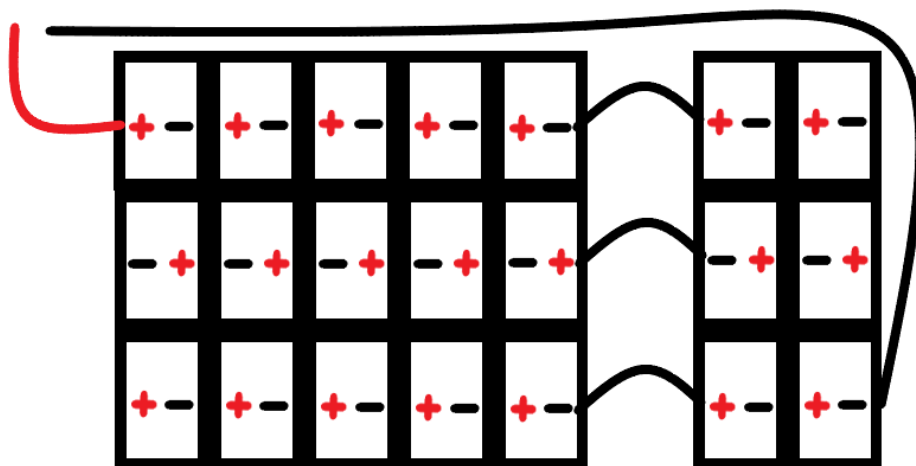
Figur 10: Orima Easy-fäste för skenor. (Kärkkäinen, 2023).

Solpanelerna skruvades på plats radvis uppifrån från vänster till höger. Panelerna fästes i skenorna med Orimas Easy-fästen för solpaneler. Fästena såg ut enligt figur 11.



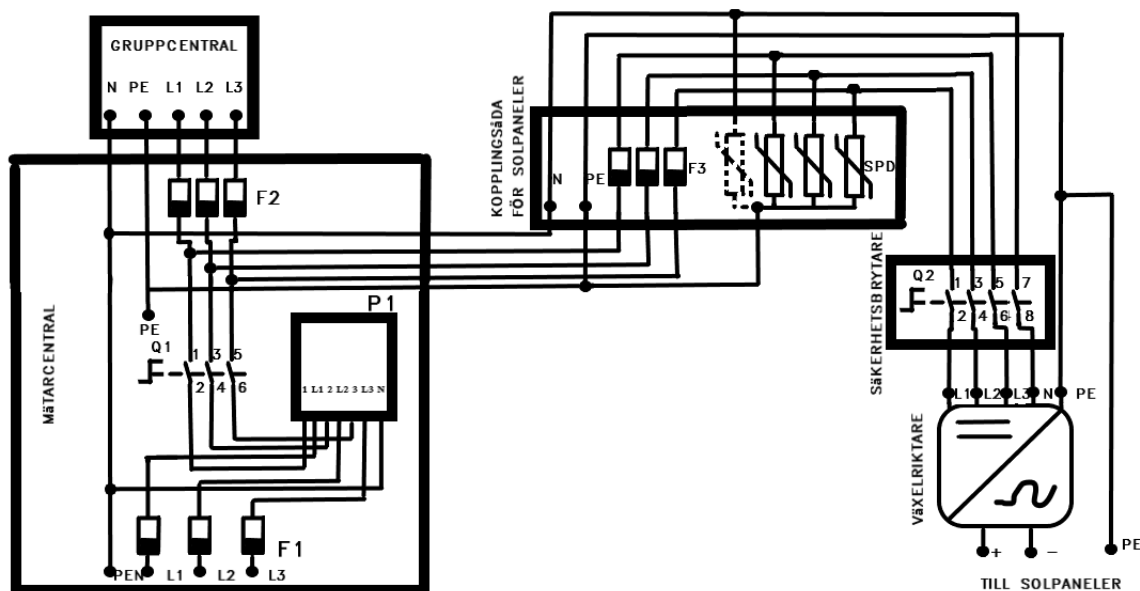
Figur 11: Orimas fästen för solpaneler. (KarelianStore, 2024).

Eftersom stegen till skorstenen befann sig mitt bland solpanelerna behövdes skarvsladdar med MC4 kontakter tillverkas för att få ihopkopplat de två panelsektionerna med varandra. Skarvsladdarna skyddas med UV skyddat TAM-rör som buntas på stegen. Panelerna seriekopplades enligt figur 12 nedan:



Figur 12: Solpaneler kopplade i serie.

Växelriktaren fästs på husets fasad bredvid mätarcentralen med en brandskyddsskiva av typen Knauf KPS 15 O mellan husets brädbesläkning och växelriktarens bakstycke. Där fästs även en 12 moduls kopplingscentral för solpanelerna och en säkerhetsbrytare med en brytströmsförmåga på 40A växelström. Husets anslutning från elnätet består av en tre-fasanslutning med 25A huvudsäkringar. Mellan mätarskåpet och kopplingscentralen för solpanelerna spikas en MMJ 5x6 mm² fast. I kopplingscentralen för solpanelerna installeras en 3x25A säkring och ett överspänningskydd för TN-S system. Från växelriktaren kopplas en H07RN-F 5x6 mm² gummikabel via säkerhetsbrytaren vidare till kopplingscentralen för solpanelerna. Växelriktaren jordas med en 6 mm² H07V-K kabel. För att få en klar uppfattning över hur solpanelsanläggningen installeras kan figur 13 studeras.



Figur 13: Kopplingsschema för solpanelsanläggning.

En säkerhetsbrytare för likström klassad till 4x25 A 1500 VDC monteras på husets balkong för att i framtiden lättare skall kunna göra eventuell service på växelriktare eller kablar mellan säkerhetsbrytare och växelriktare ifall platsen för växelriktaren byts. Från växelriktaren via säkerhetsbrytaren till solpanelerna dras en svart och en röd 6 mm² dubbelisolerad kabel ägnad för solpaneler. Dessa kablar skyddas från utsatta områden med UV skyddat TAM-rör och fästs även med cirka 10 cm mellanrum mellan plus och minus för att minimera kortslutnings och brandrisker. Som jordning till skenorna på taket som solpanelerna fästs i, dras en 6 mm² H07V-K kabel från jordplinten vid husets mätarcentral. På kablarnas ändrar mellan växelriktaren och solpanelerna pressas MC4 kontakter. Kablarna som är dragna på taket buntas snyggt så att inga kablar hänger ner på husets plåttak. För att fästa kablarna under solpanelerna används ORIMA Solar kabelhållare som förs på från solpanelens undre kant.

3.6 Krav på installationer

Installationer på solcellsanläggningar följer de tekniska kraven som ges i elbranschens standarder. Tekniska krav på installation av solpaneler anges detaljerat i delen elektriska lågspänningsinstallationen i standarden SFS-6000. (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2023)

En stor ändring på kraven för solpanelsinstallationer år 2023 var att skenorna som solpanelerna är monterade på behövde vara jordade. Ett annat nytt krav för år 2023 var att växelriktaren behövde monteras på en yta som är skyddad för brand.

3.7 Ibruktagning

För att ta i bruk en solpanelsanläggning krävs en ibruktagningsbesiktning. En ibruktagningsbesiktning måste göras av en yrkeskunnig person inom elbranschen. Det finns bestämmelser på vad som måste ingå i protokollet som skrivs i samband med besiktningen. En visuell inspektion samt olika mätningar och test måste utföras. Följande saker bör ingå i besiktningsprotokollet:

- Beskrivning på vad som gjorts och var objektet som besiktas befinner sig.
- Kontaktuppgifter samt namn på både elinstallationens byggare samt ledaren för elarbeten.
- Reda ut om installationen följer bestämmelser och föreskrifter.
- Standarder som tillämpats vid installation.
- En allmän beskrivning av de använda besiktningsmetoderna.
- Resultatet för mätningarna och testen.
- Underskrift från besiktigaren.

(tukes säkehtes- och kemikalievärket, u.d.).

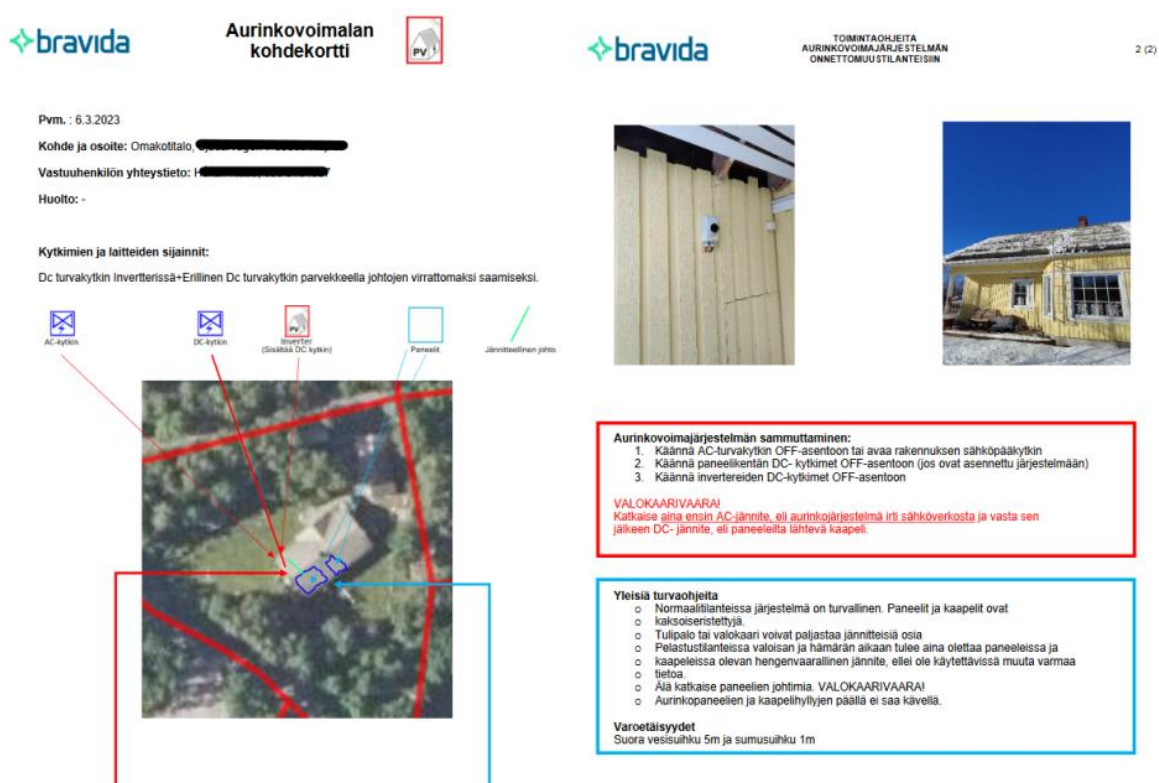
I ibruktagningsbesiktningen ingår följande mätningar:

- Resistansmätning av PE eller PEN skyddsjord.
- Isolationsresistansmätning.
- Test och mätning av automatisk frånkoppling av matning.

Förutom mätningarna krävs ett godkännande av elnätsinnehavaren före anläggningen kan tas i bruk. Anläggningen får tillfälligt testas eftersom vissa mätningar behöver kunna utföras

med spänning på. Men anläggningen kan inte förbli i drift eftersom det är viktigt att anläggningen finns med i elnätinnehavarens system så att medvetandet för backspänning finns. För att få ett godkännande av elnätinnehavaren krävs bland annat ett målkort, exempel på målkort kan ses i figur 14. Direktiv på målkortet har kommit från räddningsverket och det följer också standarder inom elbranschen. På målkortet behöver följande saker ingå:

- Koordinater för platsen där anläggningen befinner sig.
- En ritning över var brytare för avstängning av anläggningen finns.
- En beskrivning över hur anläggningen stängs av.



Figur 14: Exempel på målkort.

Målkortet levereras direkt till räddningsverket för att underlätta eventuella släckningsarbeten vid brand. Målkortet behöver också finnas tillgängligt på plats och bör placeras vid brandcentral om sådan finns, annars vid byggnadens mätarcentral. (Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, 2023)

I vissa fall behöver även husets elmätare bytas ut eftersom elen börjar gå både in från elnätet och ut till elnätet. Gamla mätare klarar inte av att mäta den utgående elen som produceras från den egna anläggningen. Då elnätsinnehavaren har godkänt mätningarna och målkortet, samt eventuellt bytt ut elmätare kan anläggningen slås på och elproduktionen kan börja.

4 Tillstånd

Tillstånd för solpaneler varierar mellan kommuner och därför behövs alltid en lokal informationssökning göras för att säkerställa rätt tillvägagångsметod. Så länge systemet är för eget bruk, vilket brukar ligga på under 10 kW, räcker det med den kommunala byggnadssynens förfaranden. Så länge inte stadsbilden ändrar eller installationen är avvikande för miljön där den utförs behövs vanligen inte ett åtgärdstillstånd. Annat gäller ifall huset är skyddat eller ifall området där installationen utförs är nationellt viktigt och hör till den byggda kulturmiljön, då krävs åtgärdstillstånd. (Närings-, trafik- och miljöcentralen, 2023).

För små vindkraftverk, som vindkraftverk som har en rotor med en roterande area på mindre än 200 kvadratmeter eller en nominell effekt på mindre än 50 kW klassas som, krävs alltid tillstånd. Gällande vindkraftverk görs alltid en bedömning från fall till fall, ibland krävs bygglov men ibland räcker det med ett åtgärdstillstånd. (Närings-, 2023).

Ifall anläggningen kopplas till stamnätet behöver alltid ett avtal göras med elnätinnehavaren. Så länge det finns en köpare för elen som matas ut i nätet samt att installationerna har blivit godkända enligt elsäkerhetsbestämmelsernas krav är allting som det skall vara och produktionen kan köras. (Närings-, trafik- och miljöcentralen, 2023).

5 Möjligheter till bidrag

Då installationen för fastigheten utfördes fanns möjlighet att söka energibidrag från ARA för installationen. Bidrag kunde beviljas vid installation av solenerisystem i samband med takreovering. Vid beräkning av understöd beaktades 20% av kostnaderna för åtgärderna, av denna del kunde 10% fås i bidrag. Detta understöd beviljades år 2020–2023. (ara Finansierings- och utvecklingscentralen för boendet, 2020).

5.1 Hushållsavdrag

Det lönar sig att komma ihåg att deklarerera hushållsavdrag för att spara in kostnader för installation av solpaneler eller vindkraft. Hushållsavdrag kan beviljas ifall inte bidrag från ARA gällande installationen har sökts. Hushållsavdrag kan fås på installation av solpaneler eller vindkraft för ett egnehemshus. Om arbetet för installationen köpts av ett företag kan 40% dras bort från arbetskostnaderna. Ett maximibelopp på 2250 euro per person har satts som övre gräns, men gränsen räcker vanligen till vid installation av mindre sol och vindkraft för eget bruk. (Vero Skatt, 2023).

6 Miljöpåverkan

Sol- och vindkraft är två av de grönaste metoderna att producera el på, och användning av dem har ökat markant de senaste åren. Dessa två energikällor spelar en stor roll vid övergången till en mer miljövänlig och hållbar energiframställning. En stor fördel är att koldioxidutsläppen är väldigt låga och energin finns i princip obegränsat i vinden och solen. Genom att producera el med sol- och vindkraft minskar behovet av att använda fossila bränslen för elproduktion, vilket minskar förutom koldioxidutsläppet även andra luftföroreningar som till exempel svaveldioxid, kväveoxid, kolmonoxid och andra partiklar.

6.1 Återvinning av solceller

Solceller återvinns enligt WEEE-direktivet i EU, detta innebär att producenter och de som säljer produkter ansvarar för en korrekt återvinning. Producenten och återförsäljaren bör informera konsumenten om hur produkten skall återvinnas. Solceller återvinns idag som elektronikavfall, i det flesta fall är det endast glaset och aluminiumramarna som återanvänds eftersom så pass liten mängd solceller kommer till återvinningen i nuläget. (Energimyndigheten, 2021).

I vissa länder där det finns många solceller att återvinna är lönsamheten i återvinningen annorlunda. I Frankrike har man lyckats på ett lönsamt sätt återvinna 95% av 5000 ton solcells avfall. De sista fem procenterna som återstår är mestadels damm som lämnat i filtren efter solcellerna körts genom en kross. Eftersom både glas och kisel härstammar från sand bildas denna mängd damm vid krossning av panelerna. (Rollet, 2020).

6.2 Återvinning av vindkraftverk

Största delen av ett vindkraftverk går bra att återvinna, eftersom en stor del av vindkraftverken består av metall och kan återvinnas till 100%. I dagsläget har man kunnat återvinna 80–95% av gamla vindkraftverk. Största utmaningen i återvinningen är vindkraftverkens blad, de är gjorda av plastkomposit. I Finland har man testat en ny metod i KiMuRa-projektet, där har man återvunnit vindkraftverk från Björneborgs vindkraftpark som byggdes 1999. Metoden var att krossa vindkraftverksbladen med rätt teknik och kontrollera dammet så att så mycket material som möjligt går till återvinning. Metoden var lyckad och stora framsteg gjordes, 2000 ton avfall kunde undvikas och i stället återvinnas. (Finnish Wind Power Association, 2022).

6.3 Koldioxidutsläpp vid elproduktion för sol- och vindkraft

Vid produktion av elektricitet släpper solceller ut en mängd koldioxid på 41 gram koldioxid per producerad kilowattimme. Denna mängd koldioxid är 20 gånger mindre än om samma el mängd producerats av ett kolkraftverk. (Energimyndigheten, 2021).

Vindkraftverkens koldioxidutsläpp vid el produktion är ännu lägre jämfört med solceller och är därför bland det grönaste sättet att producera el. Vindkraftverkets koldioxidutsläpp vid produktion av elektricitet ligger på endast 12 gram koldioxid per producerad kilowattimme. (Naturskyddsföreningen, 2023).

6.4 Sol- och vindkraftens bidragande till luftens temperatur

Både solceller och vindkraft påverkar luftens temperatur, men i väldigt små skalor. Vindkraftverk skapar en del värme. På natten kan vindkraftverk dra ner varmare luft från atmosfären så att den varma luften tar sig till marknivå. Eftersom vindkraftverk bromsar luften skapas virvlar som i sin tur delvis omvandlas från rörelseenergi till värmeenergi. Temperaturförändringen av vindkraftverk är endast i storleken tusendels grader Celsius per terawatt vindkraft. (Grahm, 2019).

Solceller absorberar värme eftersom en viss del av strålningen från solen omvandlas till elektricitet i stället för att reflekteras som värme. Ifall världens alla större öknar täcktes med solceller skulle medeltemperaturen på jorden sjunka med endast 0,34 grader Celsius.

Med en så stor mängd solceller hade 800 TW producerats. I stället hade jordens medeltemperatur stigit med 0,09 grader Celsius efter att elen använts. (Grahn, 2019).

7 Energimängdsproducering

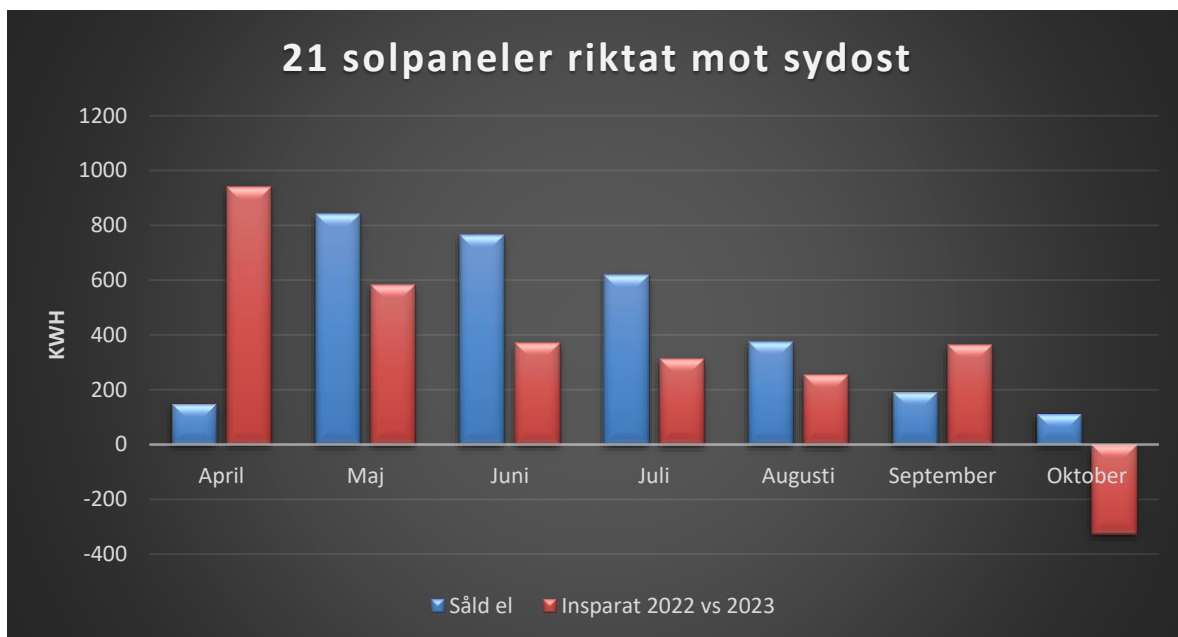
Ingen exakt data per månad finns lagrad på hur mycket energi som producerats från solpanelerna, däremot finns en total mängd producerad energi från att anläggningen slogs på första gången. För att få en ungefärlig mängd energi producerad per månad jämförs förbrukningen år 2022 med 2023, detta kan ses från Vasa elnäts applikation. Där finns även lagrat mängden energi som matats ut till elnätet.

7.1 Inbesparing av energi med olika alternativ av anläggningar

Tre olika alternativ av anläggningar jämförs, i alternativ ett tas direkt data från Vasa elnäts applikation. Alternativ ett är även det system som installerats för fastigheten. I alternativ två och tre simuleras utvidgade system av anläggningen.

Alternativ 1:

En graf där inbesparing av energi med 21 solpaneler riktat mot sydost kan studeras i figur 15 nedan. I grafen jämförs år 2023 med 2022, där solpanelernas produktion sparar in på energiförbrukningen och dessutom skapar energi som sålts ut till elnätet. Eftersom solpanelerna är täckta med snö under månaderna november till februari, och solljuset är väldigt begränsat, produceras då i princip ingen energi alls. Från april, då solpanelerna installerades till oktober genererades totalt 5800 kWh energi. Normalt förbrukas totalt 18 000 kWh per år för fastigheten, av den totala mängden som förbrukas täcks hela 32 % av den egenproducerade energin.



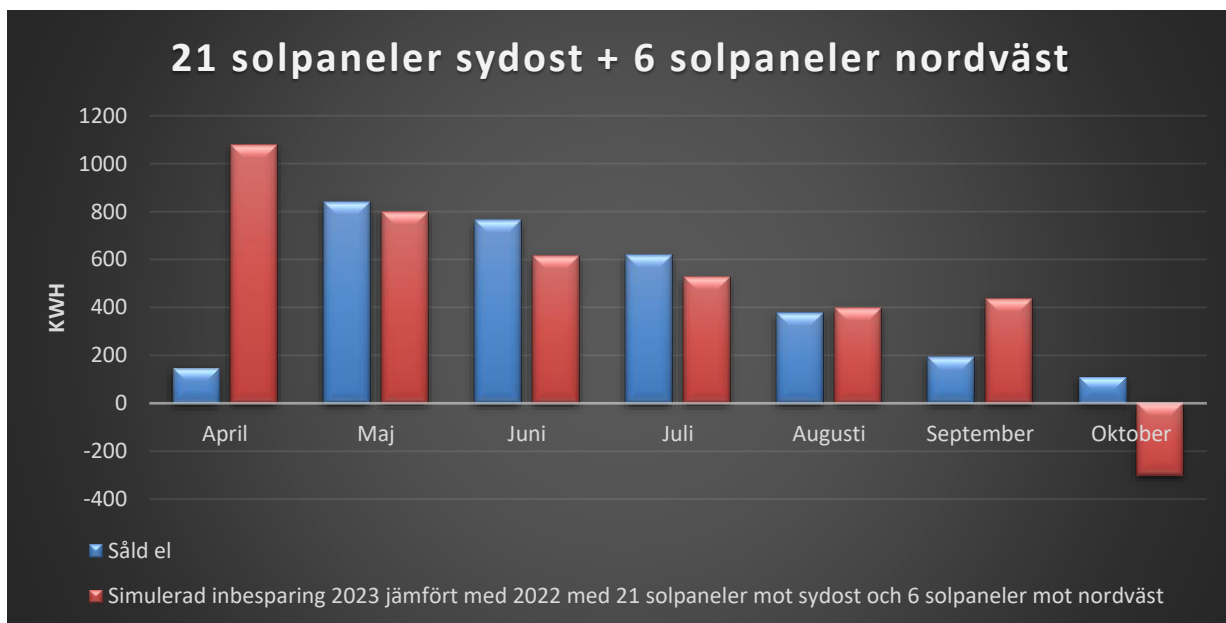
Figur 15: Graf över såld energi 2023, samt besparingar jämfört med år 2022.

Eftersom oktober var kallare år 2023 än 2022 gick mer energi till uppvärmning under oktober 2023, därför går oktobermånadens inbesparings stapel på minus.

Alternativ 2:

Alternativ två består av 21 solpaneler riktat mot sydost och sex likadana solpaneler på andra sidan taket riktat mot nordväst. Genom simulering i PVGIS, togs data från vad de sex tillagda solpanelerna teoretiskt skulle producera per månad.

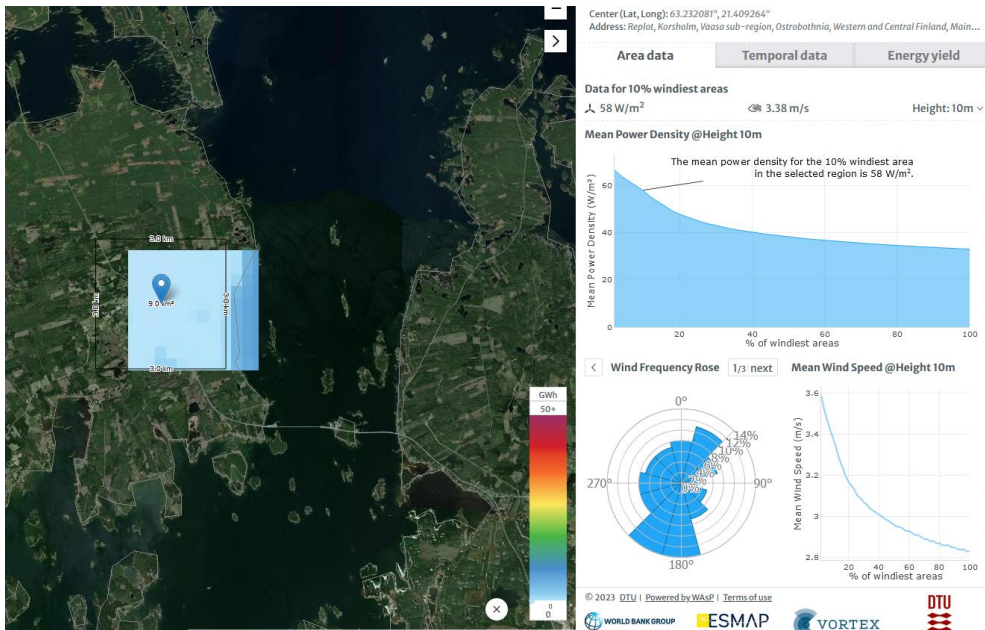
En teoretisk graf över hur inbesparing av energi år 2023 jämfört med 2022 skulle ha sett ut med 21 solpaneler riktat mot sydost och sex solpaneler riktat mot nordväst kan ses i figur 16 nedan. Mängden energi som sålts vidare till elnätet antas vara samma som i alternativ ett.



Figur 16: Graf över hur inbesparingen 2023 jämfört med 2022 hade sett ut med 21 solpaneler riktat mot sydost och sex solpaneler riktat mot nordväst.

Alternativ 3:

Alternativ tre består av 21 solpaneler riktat mot sydost kombinerat med ett litet vindkraftverk. Med hjälp av The Swiss Wind Power Data Website simulerades en uppskattad produceringsmängd från vindkraftverket Heli 2kW On-Grid stående på en 10 meter hög mast. Medelvindhastigheten för Replot simulerades från Global Wind Atlas. I figur 17 nedan syns simuleringsinställningar från Global Wind atlas och i figur 18 syns resultat på simuleringen från The Swiss Wind Power Data Website.



Figur 17: Medelvindhastighet för området där vindkraftverket skulle installeras.

Power Calculator

Wind speed distribution

Either you can estimate the Weibull distribution for your site with the [Weibull calculator](#) or the power calculator approximates a distribution for the mean wind speed that is entered.

Weibull parameters A: m/s k:
 mean wind speed v: m/s

Air Density

You can calculate the air density for your site with the [air density calculator](#).

Air density: kg/m³

Power curve

Choose a turbine type from the list or choose "user-defined power curve" and enter your own power curve in the table.

user-defined power curve

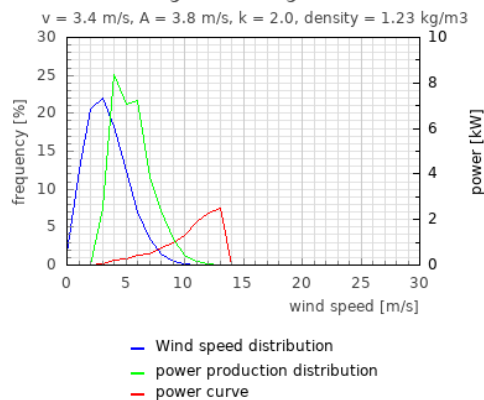
1 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	11 m/s	<input type="text" value="1.9"/> kW	21 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
2 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	12 m/s	<input type="text" value="2.3"/> kW	22 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
3 m/s	<input type="text" value="0.05"/> kW	13 m/s	<input type="text" value="2.5"/> kW	23 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
4 m/s	<input type="text" value="0.2"/> kW	14 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	24 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
5 m/s	<input type="text" value="0.25"/> kW	15 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	25 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
6 m/s	<input type="text" value="0.45"/> kW	16 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	26 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
7 m/s	<input type="text" value="0.5"/> kW	17 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	27 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
8 m/s	<input type="text" value="0.75"/> kW	18 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	28 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
9 m/s	<input type="text" value="1"/> kW	19 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	29 m/s	<input type="text" value="0"/> kW
10 m/s	<input type="text" value="1.3"/> kW	20 m/s	<input type="text" value="0"/> kW	30 m/s	<input type="text" value="0"/> kW

Calculate production

Result

Producer	k.A.
Type	k.A.
Capacity	3 kW
Rotor diameter	k.A.
Power Production	1'273 kWh/year
Capacity factor ¹	5.8%
Full load hours ²	509 h/year
Operating hours ³	5'700 h/year

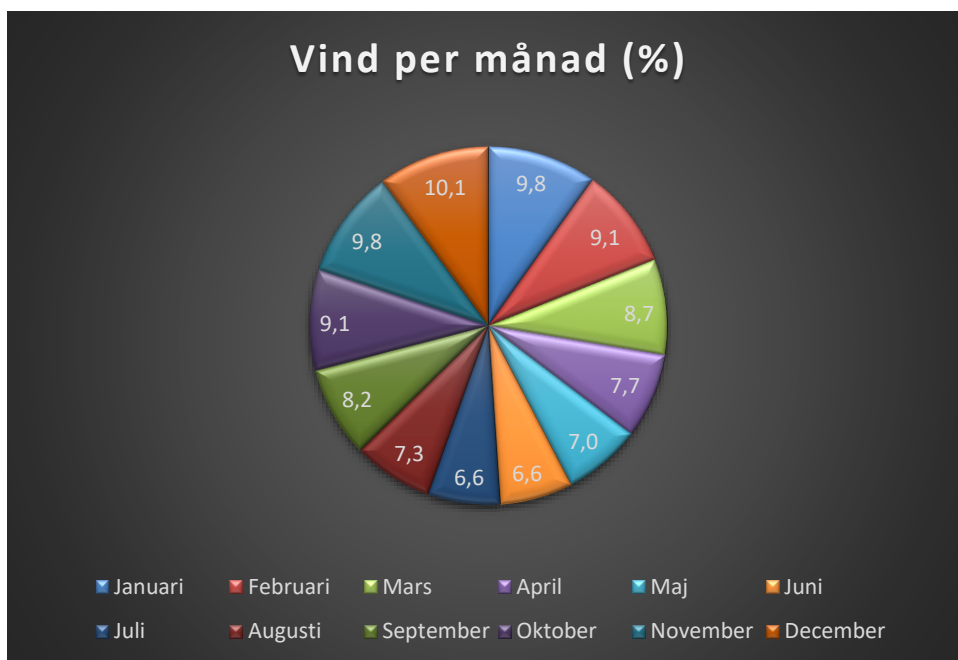
eigene Leistungskurve



Figur 18: Årlig produktion för vindkraftverket på området.

Enligt simuleringen med en årlig medelvindhastighet på 3,38 m/s, hade en årsproduktion på 1 273 kWh producerats av vindkraftverket. Genom att ta data från Weatherspark.com

på hur vindhastigheten fördelas månadsvis i Vasa, kunde en uppfattning över hur den totala årsproduktionen från vindkraftverket fördelas. Vindhastigheten fördelas månadsvis i Vasa enligt figur 19.



Figur 19: Vindens fördelning månadsvis i Vasa.

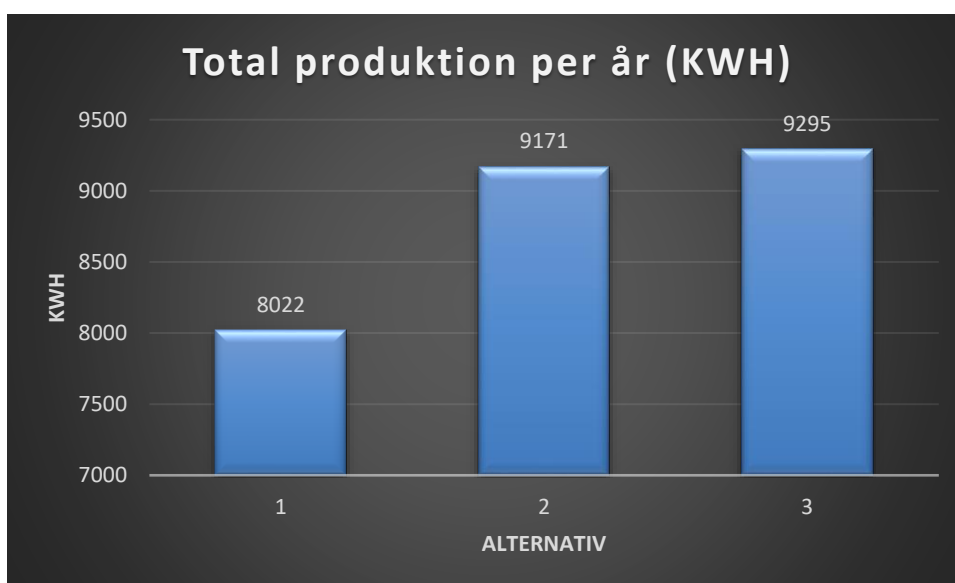
En teoretisk graf över hur inbesparingen skulle ha sett ut år 2023 jämfört med 2022 med 21 solpaneler riktat mot sydost kombinerat med vindkraftverket Heli 2kW On-Grid kan ses i figur 20 nedan. Av vindkraftverkets produktion antas att all energi kan användas för eget behov, och att ingen energi skulle behöva gå vidare ut till elnätet.



Figur 20: Graf över hur inbesparingen 2023 jämfört med 2022 hade sett ut med ett vindkraftverk och 21 solpaneler riktat mot sydost.

7.2 Simulering av årsproduktion med olika alternativ av anläggningar

För att kunna jämföra den totala energiproduktionen per år simulerades alla tre alternativen. En klar teoretisk bild över energiproduktionsmängden per år kan ses i figur 21 nedan.



Figur 21: Simulerad total energiproduktion med alla tre anläggningsalternativen.

Enligt simuleringen skulle alternativ tre producera mest energi, alltså 21 solpaneler riktat mot sydost kombinerat med ett vindkraftverk.

8 Återbetalningstid

Återbetalningstiden varierar mellan de olika alternativen på system som undersökts. Eftersom vindkraftverkets tillverkare varken ger garanti på vindkraftverket eller uppger livslängd för vindkraftverket, behöver en egen uppskattning över livslängd göras för att kunna utföra uträkningar. Uppskattningsvis med lite service som till exempel lagerbyte kommer vindkraftverket hålla i cirka 15 år.

Alternativ ett som består av 21 solpaneler och en inverter på 10kW har en installationskostnad på 9000 euro. En total årsproduktion på 8022 kWh varav 35% används och resten säljs ut till elnätet, enligt Nord Pools börspris som mellan januari och november år 2023 hade ett medeltal på 6,8 cent per kWh. Inköspriset på el enligt fastighetens avtal ligger på ett elpris på 15 cent/kWh. På den del energi som används för eget bruk sparas 421 euro, för den del som säljs ut till elnätet fås 355 euro. Totalt tjänas 771 euro per år av systemet. Återbetalningstiden för detta alternativ landar på 12 år.

Alternativ två som består av 27 solpaneler och en inverter på 10kW har en installationskostnad på 10 500 euro, årsproduktionen ligger på 9171 kWh. Med detta system hade 40% av energin kunnat användas för eget bruk och resten säljas till elnätet. Med ett börspris på 6,8 cent/kWh på den energi som säljs till elnätet och ett inköspris på 15 cent/kWh hade den del energi som används för eget bruk sparat in 550 euro. Den del energi som sålts ut till elnätet hade tjänat in 374 euro. Totalt tjänas 924 euro per år av systemet och återbetalningstiden ligger på 11 år.

Alternativ tre som består av 21 solpaneler, ett horisontalt vindkraftverk på 2kW och en inverter på 10kW har en installationskostnad på 13 200 euro, årsproduktionen ligger på 9295 kWh. Med detta system hade 48% av energin kunna användas för eget bruk och resten säljas till elnätet. Med ett börspris på 6,8 cent/kWh på den energi som säljs till elnätet och ett inköspris på 15 cent/kWh hade den del energi som används för eget bruk sparat in 669 euro. Den del energi som sålts ut till elnätet hade tjänat in 329 euro. Totalt tjänas 998 euro per år av systemet och återbetalningstiden ligger på strax över 13 år.

Säkraste alternativet är att välja solpaneler eftersom hållbarheten och garantin är väldigt lång på dem, man brukar räkna med 10–15 år gratis produktion av el efter systemet återbetalat sig.

9 Hur man tillvaratar den producerade energin på bästa sätt

Det lönar sig att använda energin då det producerar som bäst, men till nödvändiga ändamål. Under tiden det producerar mycket kan till exempel varmvattenberedare slås på så att energin används till att värma dusch och kranvatten. Om det är kallt väder ute lönar det sig att köra golvvärmen så att golvet i huset värms upp med den egenproducerade energin.

10 Diskussion

Solpanelsinstallationen på fastigheten gick smidigt och blev i slutändan snyggt och bra. Om något skulle göras annorlunda ifall installationen upprepades skulle det nog vara att utföra installationen sommartid eller i alla fall då taket är snöfritt. Det hala taket gjorde jobbet mer utmanande än vad det egentligen kunde ha varit.

Enligt mig är sol- och vindenergi inte bara nödvändigt för att bekämpa klimatförändringarna utan även en möjlighet att främja hållbar utveckling och ett sätt att skapa en mer robust och säker energiframtid. Men i dagsläget tycker jag att man främst bör satsa på solenergi eftersom det är ett säkrare kort som privatperson med tanke på garantier och återbetalningar av anläggningssystem. Här i Finland har vi även ett väldigt bra klimat för att skapa solpanelsanläggningar. Det är mer lönsamt här än exempelvis i Tyskland. Vårt svala klimat gör att verkningsgraden på solpanelerna ökar rejält. Vi har också stora ytor som för en relativt billig peng kan omvandlas och öppnar möjligheter till att bygga större solpanelsanläggningar. Solpanelsanläggningar har en mycket mindre motståndsrörelse jämfört med vindkraft och är därför också en vettig orsak till att satsa mer på solpaneler.

Att investera i solpaneler för hemmet är ofta en smidigare process och kan vara en tillgänglig lösning för många husägare utan att påverka omgivningen i samma utsträckning

som vindkraft kan göra. Om man som husägare har en extra slant att lägga ut i en solpanelsanläggning för hemmet tycker jag att man skall göra det. Man kan se det som en långtidsinvestering samtidigt som man bidrar med en god gärning för miljön.

11 Källförteckning

Alegsa, L. (den 17 September 2022). *Tellur*. Hämtat från AlegsaOnline:
<https://sv.alegsaonline.com/art/96867>

ara Finansierings- och utvecklingscentralen för boendet. (den 19 augusti 2020).
Energiunderstöd för personkunder. Hämtat från Ara: https://www.ara.fi/sv-FI/Lan_och_bidrag/Energiunderstod/Personkunder

Aschan, M. (den 17 februari 2022). *Vindkraft – allt större och effektivare*. Hämtat från Warp News: <https://www.warpnews.se/energi/vindkraft-allt-storre-och-effektivare/>

DS new energy. (den 6 november 2018). *MPPT Solar Charge Controller*. Hämtat från DS new energy: <https://www.electricity-magnetism.org/pulse-width-modulation-pwm-inverter/>

Electricity-magnetism. (2023). *Pulse Width Modulation (PWM) Inverter*. Retrieved from Electricity-magnetism: <https://www.electricity-magnetism.org/pulse-width-modulation-pwm-inverter/>

Energimyndigheten. (den 24 mars 2021). *Solcellers miljöpåverkan*. Hämtat från Energimyndigheten:
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/solcellers-miljopaverkan/>

Fahlman, F. (den 3 maj 2021). Rapport: Vertikal vindkraft är mest effektiv. *Branchaktuellt*.

Finnish Wind Power Association. (2022, augusti 31). *The first wind turbine blades were successfully recycled in Finland – a new domestic solution was created in a joint project of several actors*. Retrieved from Finnish Wind Power Association:
<https://tuulivoimayhdistys.fi/en/ajankohtaista/press-releases/the-first-wind-turbine-blades-were-successfully-recycled-in-finland-a-new-domestic-solution-was-created-in-a-joint-project-of-several-actors>

Grahn, M. (den 24 oktober 2019). *Kan sol- och vindkraft bidra till jordens uppvärmning?* Hämtat från Forskning & Framsteg: <https://fof.se/artikel/2019/9/kan-sol-och-vindkraft-bidra-till-jordens-uppvarmning/>

Hemming, S. (den 7 September 2023). *Olika typer av solceller*. Hämtat från HemSol:
<https://hemsol.se/solceller/olika-typer/>

Jeffery, A. (den 20 september 2021). *En guide till halvledare och deras roll i att forma framtidens moderna teknik*. Hämtat från KnowHow:
<https://knowhow.distrelec.com/sv/tillverkning/en-guide-till-halvledare-och-deras-roll-i-att-forma-framtidens-moderna-teknik/>

- Juang, H., Li, J., & Li, G. (2023, juni 1). *Improving the self-starting and operating characteristics of vertical axis wind turbine by changing center distance in part of blades*. Retrieved from Science direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223001535>
- Komp, R. (2016, Januari 5). *How do solar panels work? - Richard Komp*. Retrieved from Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=xKxrkht7CpY&t=2s>
- LDSreliance. (2018, Februari 28). *Youtube*. Retrieved from Cadmium Telluride (CdTe) Solar Panels: <https://www.youtube.com/watch?v=G-IW4VXtEHY&t=242s>
- Marybarnes, R. (2021, mars 18). *Vertical Axis Wind Turbine Aerodynamics and Design*. Retrieved from Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=ldt405jIROE>
- Naturskyddsföreningen. (den 4 april 2023). *Hur kan el från vindkraft kallas "grön"?* Hämtat från Naturskyddsföreningen: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vanliga-fragor-om-vindkraft/>
- Närings-, t. o. (den 23 maj 2023). *Små vindkraftverk för hemmabruk*. Hämtat från Närings-, trafik- och miljöcentralen: <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuuan-energian-lupaneuvonta/maatuulivoima>
- Närings-, trafik- och miljöcentralen. (den 23 maj 2023). *Medelstora system och hushållsbruk: Tillstånd och förfaranden*. Hämtat från Närings-, trafik- och miljöcentralen: <https://www.ely-keskus.fi/sv/web/uusiutuuan-energian-lupaneuvonta/aurinkoenergia>
- Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (18. januari 2023). *Kohdekortti ja -tiedot pelastuslaitokselle*. Noudettu osoitteesta Pelastuslaitokset: https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_180_12023.pdf
- Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. (18. januari 2023). *Pelastuslaitokest*. Noudettu osoitteesta Sähköturvallisuuslain vaatimukset: https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_180_12023.pdf
- Penthon. (u.d.). *Hur fungerar solceller – en enkel förklaring*. Hämtat från Penthon: <https://www.penthon.com/solceller/hur-fungerar-solceller-en-enkel-forklaring/>
- Rollet, C. (2020, augusti 26). *Recycling PV panels: Why can't we hit 100%?* Retrieved from pv-magazine: <https://www.pv-magazine.com/2020/08/26/recycling-pv-panels-why-cant-we-hit-100/>
- Shepard, J. (den 10 december 2020). *Hur man förenklar motordrivningar och växelriktare med IGBT-moduler*. Hämtat från DigiKey: <https://www.digikey.se/sv/articles/how-to-simplify-motor-drive-and-inverter-designs-using-igbt-modules>
- tukes säkehtes- och kemikalievärket. (u.d.). *Besiktning vid elinstallationers ibruktagningsskede*. Hämtat från tukes: <https://tukes.fi/sv/elektricitet/elarbeten-och-elentreprenader/besiktning-vid-elinstallationers-ibruktagningsskede>

Vero Skatt. (den 12 april 2023). *Hushållsavdrag*. Hämtat från Vero Skatt:
<https://www.vero.fi/sv/privatpersoner/skattekort-och-skattedeklaration/avdrag/hushallsavdrag/>

Vindkraften.se. (u.d.). *Konstruktion och funktion*. Hämtat från Vindkraften.se:
<https://vindkraften.se/konstruktion-funktion-2/>

Wallnér, E. (den 1 november 2021). *Så väljer du en bra växelriktare*. Hämtat från Solcellskollen: <https://www.solcellskollen.se/blogg/sa-valjer-du-en-bra-vaxelriktare>

Hi-MO 5m

LR5-54HIH 400~420M

- Suitable for distributed projects
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M10 Gallium-doped Wafer
 - Integrated Segmented Ribbons
 - 9-busbar Half-cut Cell
- Excellent outdoor power generation performance
- High module quality ensures long-term reliability

12 12-year Warranty for Materials and Processing

25 25-year Warranty for Extra Linear Power Output

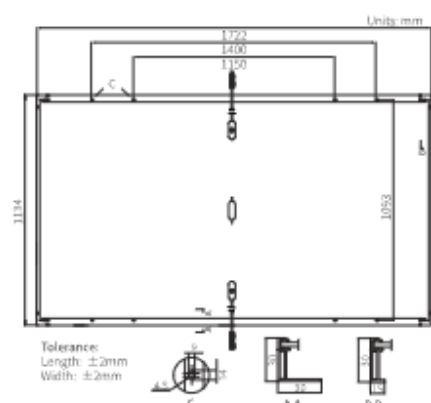
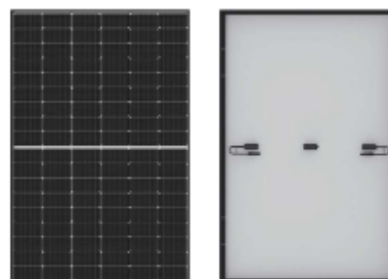
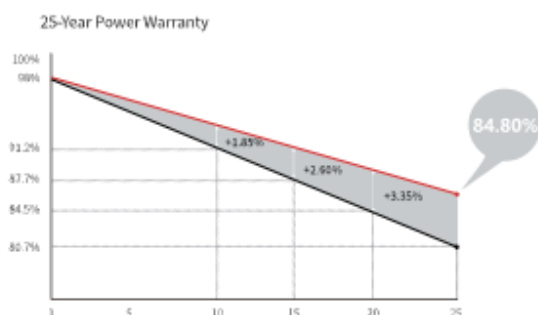
Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730
 ISO9001:2015: ISO Quality Management System
 ISO14001:2015: ISO Environment Management System
 ISO45001:2018: Occupational Health and Safety
 IEC62941: Guideline for module design qualification and type approval

LONGI



Figur 22: Datablad sida 1, longi solpaneler.

Hi-MO 5m**LR5-54HIH 400~420M****21.5%**
MAX MODULE
EFFICIENCY**0~3%**
POWER
TOLERANCE**<2%**
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION**0.55%**
YEAR 2-25
POWER DEGRADATION**HALF-CELL**
Lower operating temperature**Additional Value****Mechanical Parameters**

Cell Orientation	108 (6×18)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , 1200mm
Connector	MC4 EVO2
Glass	Single glass, 3.2mm coated tempered glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	20.8kg
Dimension	1722×1134×30mm
Packaging	36pcs per pallet / 216pcs per 20' GP / 936pcs per 40' HC

Electrical CharacteristicsSTC: AM1.5 1000W/m² 25°C NOCT: AM1.5 800W/m² 20°C 1m/s Test uncertainty for P_{max}: ±3%

Module Type	LR5-54HIH-400M		LR5-54HIH-405M		LR5-54HIH-410M		LR5-54HIH-415M		LR5-54HIH-420M	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max} /W)	400	299.0	405	302.7	410	306.5	415	310.2	420	313.9
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	36.75	34.55	37.00	34.79	37.25	35.02	37.50	35.26	37.75	35.49
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	13.76	11.13	13.83	11.19	13.88	11.22	13.94	11.27	14.01	11.32
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	30.75	28.56	31.00	28.80	31.25	29.03	31.49	29.25	31.73	29.47
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	13.01	10.47	13.07	10.52	13.12	10.56	13.18	10.60	13.24	10.65
Module Efficiency(%)	20.5		20.7		21.0		21.3		21.5	

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
V _{oc} and I _{sc} Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	25A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Fire Rating	UL type 1 or 2 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of I _{sc}	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.340%/°C

LONGINo.8369 Shangyuan Road, Xi'an Economic And
Technological Development Zone, Xi'an, Shaanxi, China.
Web: www.longi.comSpecifications included in this datasheet
are subject to change without notice.
LONGI reserves the right of final
interpretation. (20220816V16)

Figur 23: Datablad sida 2 longi solpaneler.



S5-GR3P(3-20)K

Solis Three Phase Inverters



360 degree

Model:

S5-GR3P3K S5-GR3P4K S5-GR3P5K S5-GR3P6K S5-GR3P8K S5-GR3P9K S5-GR3P10K
S5-GR3P12K S5-GR3P13K S5-GR3P15K S5-GR3P17K S5-GR3P20K



Efficient

- ▶ Max. efficiency 98.7%
- ▶ String current up to **16A**
- ▶ Wide voltage range and low startup voltage



Safe

- ▶ IP66
- ▶ AFCI protection, proactively reduces fire risk
- ▶ Automatic voltage stabilization technology in weak grid conditions



Smart

- ▶ Supports export power control
- ▶ Supports RS485, WiFi, GPRS
- ▶ Scan to register on SolisCloud, supports remote upgrade and control



Economic

- ▶ Compact design, simple installation and maintenance
- ▶ > 150% DC/AC ratio
- ▶ Supports high power modules for lower installation costs

Figur 24: Datablad sida 1 solis inverter.

Datasheet

Model Name	SS-GR3P3K	SS-GR3P4K	SS-GR3P5K	SS-GR3P6K	SS-GR3P8K	SS-GR3P9K	SS-GR3P10K	SS-GR3P12K	SS-GR3P13K	SS-GR3P15K	SS-GR3P17K	SS-GR3P20K
Input DC												
Recommended max. PV power	4.5 kW	6 kW	7.5 kW	9 kW	12 kW	13.5 kW	15 kW	18 kW	19.5 kW	22.5 kW	25.5 kW	30 kW
Max. input voltage	1100 V											
Rated voltage	600 V											
Start-up voltage	180 V											
MPPT voltage range	160-1000 V											
Max. input current	16 A / 16 A						32 A / 32 A					
Max. short circuit current	25 A / 25 A						50 A / 50 A					
MPPT number/Max. input strings number	2/2						2/4					
Output AC												
Rated output power	3 kW	4 kW	5 kW	6 kW	8 kW	9 kW	10 kW	12 kW	13 kW	15 kW	17 kW	20 kW
Max. apparent output power	3.3 kVA	4.4 kVA	5.5 kVA	6.6 kVA	8.8 kVA	9.9 kVA	11 kVA	13.2 kVA	14.3 kVA	16.5 kVA	18.7 kVA	22 kVA
Max. output power	3.3 kW	4.4 kW	5.5 kW	6.6 kW	8.8 kW	9.9 kW	11 kW	13.2 kW	14.3 kW	16.5 kW	18.7 kW	22 kW
Rated grid voltage	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V											
Rated grid frequency	50 Hz / 60 Hz											
Rated grid output current	4.6 A / 4.3 A	6.1 A / 5.8 A	7.6 A / 7.2 A	9.1 A / 8.7 A	12.2 A / 11.5 A	13.7 A / 13.0 A	15.2 A / 14.4 A	18.2 A / 17.3 A	19.8 A / 18.8 A	22.8 A / 21.7 A	25.8 A / 24.6 A	30.4 A / 28.9 A
Max. output current	4.7 A	6.4 A	7.9 A	9.5 A	12.7 A	14.3 A	15.9 A	19.1 A	20.7 A	23.8 A	27 A	31.8 A
Power Factor	>0.99 (0.8 leading - 0.8 lagging)											
THDi	<2%											
Efficiency												
Max. efficiency	98.3%		98.3%		98.5%		98.6%		98.7%			
EU efficiency	97.7%		97.7%		97.9%		98.0%		98.1%			
Protection												
DC reverse-polarity protection	Yes											
Short circuit protection	Yes											
Output over current protection	Yes											
Surge protection	Yes											
Grid monitoring	Yes											
Anti-islanding protection	Yes											
Temperature protection	Yes											
Integrated AFCI (DC arc-fault circuit protection)	Yes ⁽¹⁾											
Integrated DC switch	Optional											
General Data												
Dimensions (W*H*D)	310*563*219 mm											
Weight	17.8 kg						18.8 kg			20 kg		
Topology	Transformerless											
Self consumption (night)	<1 W											
Operating ambient temperature range	-25 ~ +60°C											
Relative humidity	0-100%											
Ingress protection	IP66											
Cooling concept	Natural convection						Intelligent redundant fan-cooling					
Max. operation altitude	4000 m											
Grid connection standard	G98 or G99, VDE-AR-N 4105 / VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126 / UTE C 15 / VFR:2019, RD 1699 / RD 244 / UNE 206006 / UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, TOR, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530											
Safety/EMC standard	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-1/-2/-3/-4											
Features												
DC connection	MC4 connector											
AC connection	Quick connection plug											
Display	LCD											
Communication	RS485, Optional: Wi-Fi, GPRS											

Figur 25: Datablad sida två solis inverter.