



Monokristallina eller polykristallina
solceller?
Delrapport

21 maj 2024

Amanda Terlinder

Innehåll

1 Inledning	2
1.1 Frågeställning	2
1.2 Terminologi	3
2 Teoretisk bakgrund	4
2.1 Monokristallina solceller	4
2.2 Polykristallina solceller	4
2.3 Funktion	4
2.4 Förutsättningar	5
2.4.1 Lutning och riktning	5
2.4.2 Vinterhalvår	6
3 Metod	6
3.1 Beräkningar	6
4 Diskussion och slutsats	7
A Kompletterande kod till UUBEM	9

1 Inledning

Vid installation av solceller för privat bruk önskas solceller med hög effektivitet på en begränsad yta ty de i majoriteten av fallen installeras på hustak. Det händer att de även installeras på marknivå om taket inte uppfyller de krav som ställs för optimalt effektuttag (Energimyndigheten 2024). Dessa krav kan vara till exempel solcellernas lutning samt riktning mot solen - eftersom den går upp i öst och ned i väst (ibid.). Det finns idag olika sorters solceller på marknaden men de populäraste är de kristallina som idag står för ungefär 95 procent av alla solcellsinstallationer (Solexperter u.å[b]). Dessa kristallina solceller delas in i monokristallina- samt polykristallina solceller. Dessa två typer av solceller skiljer sig åt i dess kristallstruktur vilket påverkar dess effektivitet samt utseende (Hemming 2023a).

1.1 Frågeställning

Vilken kristallin solcellstyp är bäst att välja vid installation av solenergi i privat bruk?

1.2 Terminologi

Term	Definition
STC	Standard test condition- det standardförhållande som olika solceller utsätts för med syftet att frambringa ett referensvärde, vilket underlättar jämförelse med andra typer (Thelin 2023).
NOCT	Nominal cell operation temperature- likt STC men under mer verklighetstroga förhållanden (ibid.).
P	Effekt [W]
η_0	Modulens verkningsgrad vid STC
η_{inv}	Växelriktarens verkningsgrad
μ	Effektens temperaturkoefficient - beskriver hur verkningsgraden minskar med ökad temperatur och tvärtom (Ecokraft u.å) [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]
T_c	Modultemperaturen [$^{\circ}\text{C}$]
T_a	Omgivningens temperatur/luftens temperatur [$^{\circ}\text{C}$]
T_{NOCT}	Modultemperatur vid NOCT
N	Antal moduler
A	Modularea [m^2]
G_T	Global solinstrålning/infallande solinstrålning - den sammanlagda solinstrålningen som når en horisontell yta [W/m^2] (Hemming 2023b)(Hemming, 2023).
G_d	Diffus solinstrålning - den solinstrålning som reflekteras av partiklar i atmosfären som till exempel moln och har då annorlunda riktning än den direkta [W/m^2] (SMHI 2023).
G_b	Direkt solinstrålning - strålning direkt från solen [W/m^2] (ibid.).
θ	Infallsvinkel mot vinklat plan [$^{\circ}$]
Z	Infallsvinkel mot horisontellt plan [$^{\circ}$]
θ_p	Planets infallsvinkel [$^{\circ}$]
ρ	Reflektans från mark

2 Teoretisk bakgrund

Monokristallina- och polykristallina solceller skiljer sig åt i dess kristallstruktur vilket påverkar utseende och effektivitet. Trots denna skillnad så fungerar de på samma sätt men med olika förutsättningar (sol u.å.).

2.1 Monokristallina solceller

Monokristallina solceller är solceller som gemensamt med andra typer av solceller är gjorda av kisel (TRITEC u.å.). Den monokristallina består av en enda kristall vilket gör att dess elektroner kan röra sig mer fritt vilket underlättar friheten hos elektronerna som rör sig i panelen (savy 2024). Att elektronerna kan röra sig mer fritt i panelen gör att monokristallina solceller har en hög verkningsgrad på 17 - 23% (Solexperter u.å[a]). Solcellen är också svart i färgen till skillnad mot en polykristallin som antar en blå färg ty olika integrationer med solljus på grund av skillnader mellan dess kristalluppbyggnad i samverkan med ljusreflektion (savy 2024). En monokristallin solcell påverkas negativt av för höga temperaturer vilket gör cellen till en optimal kandidat för nordiskt klimat ty kallare utomhustemperaturer.

2.2 Polykristallina solceller

Polykristallina solceller är solceller som består av flera silikonfragment av kisel som smälts ihop och bildat skivor/plattor - därav namnet polykristallina där "poly" står för "fler" till skillnad mot "mono" som står för "en" (sol u.å.). På grund av att det inte är en enda kiselkristall i solcellen påverkas dess effektivitet av elektronöverföring vilket i sin tur har inflytande på cellens verkningsgrad. En polykristallin solcell har en verkningsgrad på 15-19% . En polykristallin solcell ett bättre pris men det krävs fler celler för att uppnå samma effekt som den monokristallina så i slutändan tenderar den polykristallina vara ineffektiv till kostnad och yta. En polykristallin solcell genererar ungefär 170 W per kvm medan en monokristallin solcell genererar ungefär 200 W per kvm (Solexperter u.å[b]). Polykristallina solcellerna är inte lika känsliga för värme och är därmed också en bra kandidat för solceller i nordiskt klimat (King 2022).

2.3 Funktion

Gemensamt för alla olika typer av solceller är att de är uppbyggda på ungefär samma sätt till grunden då de har (utan inbördes ordning) ett antirefleterande skydd, glas, bindande medel (EVA), själva kiselcellen och ett baksstycke. I kiselcellen av den monokristallina solcellen så finns det två kiselkikt i form av en enda stor kiselkristall. En polykristallin har då skillnaden att det är flera så kallade silikon fragment som smälts samman för att bilda en kiselkristall (sol u.å.). De olika skikten har unika egenskaper för att förbättra

solcellens prestanda då de är behandlade på olika sätt. Eftersom kisel är en halvledare kan den lätt manipuleras med tillsatser av andra grundämnen för att anta andra elektriska egenskaper. De två skikten består av kisel som har dopats med två olika ämnen - det vill säga att ämnen har tillsatts till kisel för att ändra dess egenskaper. Ämnet kisel har fyra valenselektroner vilket innebär att atomen har fyra stycken elektroner i sitt yttersta skal och vid tillsats av ämnen med olika många valenselektroner kommer detta manipulera kiselns egenskaper - vilket gör ämnet så bra i elektriska komponenter. I en solcell tillsätts ämnena fosfor (P) och bor (B) för att påverka kiselns halvledande förmåga. När kisel dopas med fosfor kallas det N-dopad och antar en positiv laddning och när kisel dopas med bor kallas det P-dopad och antar en negativ laddning. Att ämnet antar en positiv respektive negativ laddning beror på antal valenselektroner vid reaktion mellan kisel och fosfor respektive bor (energy u.å). Det uppstår nu en skillnad i laddningar i kiselns skikt och ett elektriskt fält har genererats. När solstrålar träffar solcellen så frigörs elektroner och elektrisk ström genereras (Sunvio u.å).

2.4 Förutsättningar

För att en solcell ska kunna generera tillräckligt med elektricitet krävs det bra förutsättningar i form av skuggning, instrålning, lutning, riktning samt elnätets kapacitet vid installationsplats (Energimyndigheten 2024). Syftet med solceller är att de ska generera el utav solstrålning. För att solstrålarna ska kunna nå solcellen krävs det att dessa celler varken skuggas eller har icke optimal riktning och lutning för att få ut så mycket energi ur solstrålarna som möjligt.

2.4.1 Lutning och riktning

Solcellernas lutning och riktning har stor betydelse för hur solstrålarna når cellernas yta och solel kan genereras. Till exempel solceller som installeras med en lutning på 30° - 50° samt riktad åt söder producerar som mest. Solceller installeras med fördel riktade mot syd, sydost eller sydväst men kan även installeras åt öst eller väst. Det som skiljer sig är den infallande solstrålningen som träffar solcellernas yta i olika utsträckning (ibid.). Solceller rekommenderas inte vara riktade åt norr då solinstrålningen halveras (solar u.å). Det är inte enbart lutning och riktning på taket som det ställs krav på - det ställs även krav på takets hållbarhet. Det är Boverkets bygg- och konstruktionsregler som bestämmer ifall solceller får installeras på ett tak. Anledningen till att denna reglering existerar grundar sig i ifall hustaket i fråga inte klarar av att hålla upp vikten som en panel erhåller kan taket gå sönder eller rasa in - alltså en säkerhetsåtgärd. För att göra en takhållfasthetsutredning krävs det bland annat konstruktionsriktningar över takets bärande strukturer (Alight-energy 2019). En solcellsanläggning på ett tak

innehåller ungefär 26 stycken paneler à 10 - 30 kg vilket resulterar i mycket extra vikt för taket att hålla upp (Fastighetsägarna u.å). Ibland lämpar sig inte ett hustak för installation av solceller. Markinstallerad solenergi kan då vara ett alternativ eftersom det är mer flexibelt att bestämma lutning och riktning på solcellerna för att få ut så mycket solenergi som möjligt (Energimyndigheten 2024).

2.4.2 Vinterhalvår

Vinterhalvåret i Sverige bjuder på många dagar där solen inte lyser samt att snö är ett faktum. Det kan tänkas att solcellerna presterar sämre på vintern ty mindre solinstrålning och kallare klimat vilket fallet är men faktum är att verkningsgraden ökar då solceller presterar bäst när cellerna inte är uppvärmda (Solexperter u.å[c]). Eftersom solinstrålningen på vinterhalvåret inte är lika hög som under sommarhalvåret ställs det högre krav på solcellernas upptagningsförmåga. De monokristallina solcellerna har högre upptagningsförmåga än de polykristallina vilket gör att de kan producera sol vid molnigt väder samt vid lägre solstånd vilket fallet är under vinterhalvåret. I norra Sverige tenderar snömängden vara betydligare än i resterande delar av landet. Solcellerna installeras med en brantare lutning för att snön enklare ska kunna glida av cellerna för att inte skymma solstrålarna (Energimyndigheten 2024).

3 Metod

Att förutspå exakt hur mycket effekt som kommer fås ut från solceller är omöjligt att veta ty det inte går att prognosera till 100%. Detta gäller för samtliga solcellstyper. Att analysera tidigare väderdata, inklusive direkt och diffus solinstrålning, är en bra idé för att kunna approximera och förutspå ett framtida scenario som kan användas som underlag för att se hur mycket effekt som kommer kunna fås ut. Till exempel kan ett medelvärde för väderdata under flera år tas fram och användas som underlag. För att beräkna den möjliga effektproduktionen baserat på den insamlade väderdatan krävs formler som kan ta hänsyn till olika parametrar (se avsnitt 1.2 för terminologi).

3.1 Beräkningar

För att beräkna möjligt effektuttag [P] från given solcell appliceras följande formel:

$$P = \eta_0(1 + \mu(T_c - 25))NAG_T\eta_{inv} \quad (1)$$

(1) är en kombinerad formel med ursprung från ekvation [1] och [2] på sida 36 ur Joakim Widén 2011 samt från ekvation (3).

G_T (global solinstrålning) beräknas utifrån följande formel (med antagande om att den diffusa solinstrålningen är isotopisk dvs $A_i = 0$) Joakim Widén och Munkhammar 2019, s. 37:

$$G_T = G_b \left(\frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right) + G_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) (G_b + G_d) \quad (2)$$

T_c (modultemperaturen) beräknas utifrån följande formel Joakim Widén 2011, s. 35:

$$T_c = T_a + G_T \left(\frac{T_{\text{NOCT}} - 20}{800} \right) (1 - \eta_0) \quad (3)$$

Sammantaget fås effekten ut från ekvation (1). Formlerna gäller både för polykristallina och monokristallina solceller - endast dennes unika parameter förändras. Sammantaget kan det utföras simuleringar av solenergi i form av python-kod. Formler för beräkning av effekt ingår i Python-scriptet Uppsala Urban Building Energy Model, UUBEM, där alla simuleringar tillhörande solceller körs (J. Widén u.å). För att få ut önskad data från solcellerna har en egenskriven kod skapats som kan hittas under appendix som kompletterar UUBEM.

4 Diskussion och slutsats

I rapporten har två olika kristallina solcellstyper tagits upp: polykristallina och monokristallina. Solcellstyperna skiljer sig åt i kristallstrukturerna på så sätt att den monokristallina solcellerna består av en enda stor kristall medan den polykristallina består av flera små kristaller i form av plattor/stavar. Detta gör att elektronerna rör sig olika bra i respektive solcell vilket påverkar dess effektivitet och därmed verkningsgraden. Den monokristallina solcellen har högre verkningsgrad och den polykristallina har sämre verkningsgrad. Den monokristallina solcellen har även högre upptagningsförmåga vilket gör att den lämpar sig bättre totalt sett i nordiskt klimat eftersom solinstrålningen både är lägre ty solhöjd och mindre till mängd. Båda solcellstyperna lämpar sig till det nordiska klimatet då de presterar bättre i kallare temperaturer och får högre verkningsgrad än vid uppvärmda celler. Det skiljer sig också i pris mellan solcellstyperna då den monokristallina är mer komplicerad att tillverka än den polykristallina som därmed är billigare. Sett från skillnad i effekt från respektive solcell så fås det ut ungefär (i snitt) 200 W per kvm från den monokristallina medan det fås ut ungefär 170 W per kvm från den polykristallina. Detta bevisar skillnaden i effekt hos de olika cellerna och att det krävs fler polykristallina solceller för att uppnå samma effekt hos en monokristallin. För att återkoppla till frågeställningen som lyder: "Vilken kristallin solcellstyp är bäst att välja vid installation av solenergi i privat

bruk?" så kan den besvaras med att en monokristallin lämpar sig bäst. Argumentet styrks av vetenskapen att en monokristallin solcell är mer effektiv till storlek än de polykristallina och lämpar sig till begränsade ytor som till exempel hustak - det vill säga få ut så mycket solex på så begränsad yta som möjligt.

A Kompletterande kod till UUBEM

```
1  ### Simulera
2  import uubem.readinput as r
3  import uubem.analysis as a
4  import uubem.simulator as s
5  import uubem.kmlexport as kml
6  import pickle
7  import matplotlib.pyplot as plt
8  import numpy as np
9  ###
10 input_file_sun = 'uubem_input_data_(kandidat_sol)_(1)
    .xlsx'
11 ###
12
13 data, system, types = r.read_input(input_file_sun)
14
15 ###
16
17 with open('Occupancy.pickle', 'rb') as f:
18     occupancy = pickle.load(f)
19
20 irradiance, power_generation \
21     = s.simulate_pv_systems(data, system, types)
22
23 power_output_hustak = power_generation[1]
24 power_output_mark = power_generation[2]
25
26 ###
27 plt.plot(range(len(power_output_mark)),
28          power_output_mark, color='green', label='
    Markbaserad')
29
30 plt.plot(range(len(power_output_hustak)),
31          power_output_hustak, color='orange', label='
    Takbaserad')
32
33 plt.xlabel('Tid_(timme)')
34 plt.ylabel('Effekt_(W)')
35 plt.ylim(0, 12000)
36 plt.title('Approximerad_solenergiproduktion_(mark-
    och_takbaserade_solceller)')
```

```
36 # %%  
37 power_output_hustak.to_excel('  
    power_output_solceller_hustak.xlsx')  
38 power_output_mark.to_excel('  
    power_output_solceller_mark.xlsx')  
39  
40 # %%
```

Referenser

- Alight-energy (2019). *Håller ert tak för solceller?* Hämtad 2024-05-02. URL: <https://www.alight-energy.com/sv/insikter/haller-ert-tak-for-solceller>.
- Ecokraft (u.å). *Vad innebär temperaturkoefficient på solceller?* Hämtad 2024-04-26. URL: <https://www.ecokraft.se/svar/vad-innebar-temperaturkoefficient-pa-solceller>.
- Energimyndigheten (2024). *Så undersöker du förutsättningarna för solet.* Hämtad 2024-04-17. URL: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/>.
- energy, Electrotec (u.å). *Så här fungerar kristallina solceller.* Hämtad 2024-04-18. URL: <https://electrotecenergy.se/solcells-teknik/>.
- Fastighetsägarna (u.å). *Det här behöver du som fastighetsägare veta om solceller.* Hämtad 2024-05-02. URL: <https://www.fastighetsagarna.se/fakta/fakta-for-fastighetsagare/energi-miljo-klimat/solceller/>.
- Hemming, Sara (2023a). *Monokristallina vs polykristallina solceller: Välj mono eller poly?* Hämtad 2024-04-17. URL: <https://hemsol.se/solceller/olika-typer/mono-poly/>.
- (2023b). *Solceller i Sverige: Statistik på svensk solinstrålning och solenergi.* Hämtad 2024-04-26. URL: <https://hemsol.se/solceller/olika-typer/mono-poly/>.
- King, Johanna (2022). *Vilka olika typer av solceller finns det?* Hämtad 2024-04-18. URL: <https://www.elskling.se/tips-rad/solenergi/vilka-olika-typer-av-solceller-finns-det>.
- savy, Solar living (2024). *Why are solar panels blue? - Black solar panels vs blue.* Hämtad 2024-04-17. URL: <https://solarlivingsavvy.com/why-are-solar-panels-blue/>.
- SMHI (2023). *Klimatindikator - solinstrålning.* Hämtad 2024-04-26. URL: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/stralning-1.17841>.
- sol, El av (u.å). *Monokristallina eller polykristallina paneler?* Hämtad 2024-04-17. URL: <https://www.elavsol.se/monokristallina-eller-polykristallina-paneler/>.
- solar, Svea (u.å). *Välj solceller för en ljusare framtid.* Hämtad 2024-04-18. URL: <https://sveasolar.se/sv-se>.
- Solexperter (u.å[a]). *För- och nackdelar med monokristallina solceller.* Hämtad 2024-04-17. URL: <https://www.solexperter.se/solcellstyper/monokristallina-solceller-for-och-nackdelar>.
- (u.å[b]). *För- och nackdelar med polykristallina solceller.* Hämtad 2024-04-17. URL: <https://www.solexperter.se/solcellstyper/polykristallina-solceller-for-och-nackdelar>.

- Solexperter (u.å[c]). *Hur fungerar solceller på vintern?* Hämtad 2024-04-18. URL: <https://www.solexperter.se/solceller/solceller-pa-vintern>.
- Sunvio (u.å). *Så fungerar solceller och solpaneler*. Hämtad 2024-04-18. URL: <https://sunvio.se/solceller/sa-fungerar-solceller/>.
- Thelin, Kristian (2023). *Tyda datablad solpaneler/solceller*. Hämtad 2024-04-26. URL: <https://sollagret.se/blogs/nyheter/tyda-datablad-solpaneler-solceller>.
- TRITEC (u.å). *Solceller - typer, funktion och effektivitet*. Hämtad 2024-04-15. URL: <https://www.tritec-energy.com/sv/r%C3%A5dgivare/solcellsfunktion>.
- Widén, J. (u.å). *Uppsala Urban Building Energy Model (UUBEM)*.
- Widén, Joakim (2011). "Beräkningsmodell för ekonomisk optimering av so-
lelanläggningar". I: s. 35. URL: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21077/10-103-berakningsmodell-for-ekonomisk-optimering-av-solelanlaggningar.pdf>.
- Widén, Joakim och Joakim Munkhammar (2019). "Solar radiation theory". I: s. 37. URL: <https://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1305017&dsid=-4310>.