



Flytande solkraft

Daniel Andersson

Lärdomsprov

Energi och miljöteknik

2024

Lärdomsprov

Daniel Andersson

Flytande solkraft

Yrkeshögskolan Arcada: Energi- och miljöteknik, 2024.

Identifikationsnummer:

047701760

Uppdragsgivare:

Arcada

Sammandrag:

Detta examensarbete behandlar solceller och lämpligheten för dem att installeras på vatten samt miljöpåverkan och beräkning av verkningsgraden. Arbetets motivation är att undersöka användandet av solkraft på vatten för att spara värdefulla markytor. Arbetets syfte är att genom litteraturgranskning av främst elektroniska källor undersöka huruvida flytande solkraft är, och kan vara en viktig del mot en mer hållbar energiproduktion. Fokus ligger på de tekniska aspekterna och potentialen samt de fördelar flytande solkraft medför, därför behandlas inte den ekonomiska aspekten. Resultatet av undersökningen visar att flytande solkraft fortfarande är ännu installerat i relativt liten utsträckning. Den globala installerade effekten för flytande solkraft var år 2022 13 000 MW installerad i bland annat södra och central Europa samt i länder som Kina. Flytande solkraft erbjuder många attraktiva fördelar såsom mindre markanvändning och bättre verkningsgrad genom vattnets kylande effekt. Några av utmaningarna är att hålla cellerna fria från smuts samt att bygga konstruktioner som är korrosionståliga. Dessa hinder går att överkomma genom att man antingen städar av panelerna eller använder sig av städrobotar, samt att man bygger konstruktionerna av korrosionståliga material. Flytande solkraft kommer bara bli växa och bli större, mellan år 2020 och 2022 växte den totala installerade kapaciteten av flytande solkraft med 10 000 MW och den förväntas uppnå 30 000 MW år 2030. Skulle man installera flytande solkraft på alla lämpliga havsytor där vågorna aldrig överstiger 4 meter höga, hade man teoretiskt sett kunnat förse hela jorden med energi. Jag anser att flytande solkraft kommer spela en stor roll i världens omställning mot en grönnare energiproduktion och detta återspeglas även genom den takt flytande solkraft växer med.

Nyckelord: Flytande solkraft, solceller, solkraft, förnybar energi, flytande solceller

Degree Thesis

Daniel Andersson

Floating Solar

Arcada University of Applied Sciences: Energy and Environmental Engineering, 2024.

Identification number:

047701760

Commissioned by:

Arcada

Abstract:

This thesis initially addresses solar panels and its suitability for being installed on water, as well as their environmental impact and the calculation of efficiency. The motivation for the thesis is to examine the use of solar power on water to save valuable land surfaces. The aim is to examine through a literature review of mainly electronic sources whether floating solar power can be a significant part towards a more sustainable energy production. The focus is on the technical aspects and potential as well as the advantages of floating solar hence the economic aspect is not addressed. The results of the thesis show that floating solar power is still installed in a relatively small extent. The global installed capacity for floating solar power in 2022 was 13 000 MW, installed in various locations including southern and central Europe and countries such as China. Floating solar offers many advantages such as reduced land use and improved efficiency due to water cooling the cells. Some challenges include keeping the cells clean and constructing corrosion resistant structures. These obstacles can be overcome by cleaning the panels or using cleaning robots and constructing the plant using corrosion resistant materials. Floating solar power expected to grow significantly, between 2020 and 2022 the total installed capacity increased by 10 000 MW and is projected to reach 30 000 MW by 2030. If floating solar were to be installed on all suitable ocean surfaces where waves never exceed 4 meters high, it could supply the entire earth with energy. I believe that floating solar power will play a significant role in the world's transition to a greener energy production and this is resembled by how fast floating solar is growing.

Keywords: Floating solar, solar cells, solar power, renewable energy, Floating solar cell

Innehåll

1	Introduktion	7
2	Solcellens funktion och konstruktion.....	8
2.1	Uppbyggnad av en solcell.....	8
2.2	Uppbyggnad av solcellssystem	11
2.3	Solcellers verkningsgrad.....	12
2.4	Solstrålningsenergin på jorden.....	15
2.5	Tillgängliga solceller och begränsningar	18
2.6	Solcellers miljöpåverkan	21
3	Flytande solpanelanläggningar.....	22
3.1	Koncept och grundläggande principer.....	24
3.2	Fördelar med flytande solkraft.....	25
3.3	Nackdelar och utmaningar med flytande solkraft.....	26
3.4	Tillämpningar	27
3.4.1	Dammar	28
3.4.2	Hav och sjö	29
3.5	Globala installationer	30
3.5.1	Queen Elizabeth II Reservoir	30
3.5.2	Oostvoornse Meer	31
3.5.3	Dezhou Dingzhuang	32
3.5.4	Les Ilots Blandin	33
3.5.5	Kyrholmen och Skaftå	34
3.6	Tillämpningar i Norden och Finland	36
4	Slutsats.....	36
5	Diskussion.....	38
6	Källor.....	39
7	Bilagor	48

Figurer

Figur 1. Visualisering av funktion PN-övergång.....	9
Figur 2. Visualisering av uppbyggnaden av en solcell	9
Figur 3. Tunnfilmssolpanel.	10
Figur 4. Monokristallina och Polykristallina solceller.	11
Figur 5. Tabell över påverkan av väderstreck och lutning.	13
Figur 6 Urklipp ur bilaga 1 för temperaturkoefficienter	14
Figur 7. Visualisering av våglängden av de ljus människoögat kan se.	16
Figur 8. Visualisering av solenergi som träffar Europa.	17
Figur 9. Visualisering av de olika typerna av solstrålning.	18
Figur 11. Shockley - Queisser gränsen visualiserad.	19
Figur 12. Top10 lista med tillverkare och modeller på solceller med deras effekt och verkningsgrad (senast uppdaterad februari 2024).	20
Figur 13. En visualisering av en solcell med tre olika PN-övergångar och de olika de olika bandgapen i varje lager.....	21
Figur 14. Visualisering av energiåterbetalningstiden.	22
Figur 15. Visualisering av installerad effekt och framtidsprognos för flytande solkraft.....	23
Figur 16. Exempel på uppbyggnad av en flytande solpanelsanläggning.	24
Figur 17. Baksidan av tvåsidiga solceller i en solcellspark.	25
Figur 18. En tvätt robot av märket TG hylift.....	27
Figur 19. I-V visar de bäst lämpade områdena för flytande solkraft utifrån väderförhållanden, de röda linjerna illustrerar tropiska stormar över de senaste 40 åren.....	29
Figur 20. Anläggningen på Queen Elizabeth II Reservoir.	31
Figur 21. Den flytande anläggningen Proteus.	32
Figur 22. En del av anläggningen i Dezhou.....	33
Figur 23. Platsen där Les Ilots Blandin är planerad.	34
Figur 24. Anläggningen belägen i Skaftå.....	35
Figur 25. Anläggningen i Kyrholmen.	35

Storheter och förkortningar

V	=	Volt, enhet för spänning
W	=	Watt, enhet för effekt
kWh	=	Kilowatt timmar, enhet för effekt under en period
P_{max}	=	Max effekt (W) hos i detta fall solceller
V_{oc}	=	Den maximala spänningen hos en solcell
I_{sc}	=	Kortslutningsströmmen hos en solcell dvs. den strömmen cellen ger om den kortsluts

1 Introduktion

I takt med att världen strävar mot en mer hållbar energiomställning, ställs fler krav på hur man ska producera elenergi på ett så miljövänligt sätt som möjligt för att nå alla miljömål. Solceller har visat sig vara ett väldigt lovande sätt att producera elenergi medan man samtidigt håller miljöpåverkan så liten som möjligt.

Syftet bakom arbetet är att undersöka solkraft och dess lämplighet att installeras på vatten jämfört mot på mark samt att utvärdera ifall flytande solkraft är en viktig del av omställningen mot en mer miljövänlig elproduktion. Motivationen till flytande solkraft är främst att kunna använda ytor som annars är helt outnyttjade och eftersom majoriteten av jorden består av vatten skulle flytande solkraft kunna utnyttjas i stor utsträckning. (European Environment Agency, 2023)

Detta lärdomsprov behandlar dels den grundläggande funktionen och konstruktionen av solceller och deras miljöpåverkan. Men främst behandlas möjligheten att installera solpaneler på flytande anläggningar, samt ifall detta skulle kunna vara en bra lösning för förnybar energi i framtiden. Detta arbete kommer också grundligt behandla den teoretiska möjligheten till att använda flytande solkraftsanläggningar i Norden och Finland.

Arbetet kommer med hjälp av främst elektroniska källor analysera den grundläggande funktionen för en solcell för att öka förståelsen för solpanelssystem i allmänhet. Arbetet kommer även analysera hur flytande solkraft fungerar och är uppbyggt, samt visa olika system och projekt där flytande solpanelsanläggningar med framgång installerats på världen över.

Flera flytande solkraftsanläggningar har installerats världen över med framgång och hade år 2022 en global installerad effekt på 13 000 MW. I arbetet tas fem olika exempel på installerade projekt i olika storlekar och utföranden, för att visa hur man installerat solpaneler på vatten tidigare.

2 Solcellens funktion och konstruktion

En solpanel omvandlar solenergi till elenergi, solpanelen är däremot begränsad av sin relativt låga uteffekt i förhållande till energin från solstrålningen. I detta kapitel behandlas uppbyggnaden av både en solcell och ett solpanelssystem samt verkningsgraden av solpaneler och hur den beräknas.

Den viktigaste komponenten för en solcells funktion är halvledaren vilket i de flesta fall är kisel. En halvledare är ett kristallint material som inte leder ström lika bra som en ledare men inte heller isolerar strömledning som en isolator. Man använder halvledare eftersom man själv kan bestämma deras ledningsförmåga genom att dopa dem. (Penthon, 2017)

2.1 Uppbyggnad av en solcell

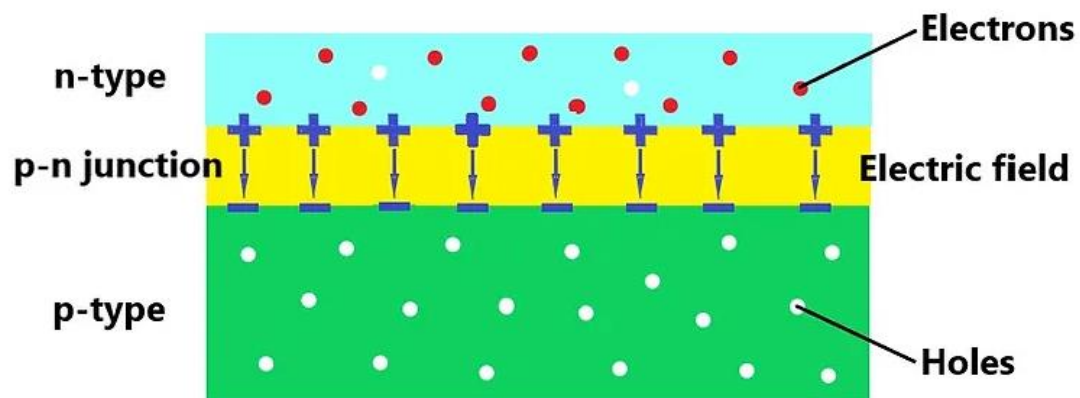
Solcellen i sig är, simpelt förklarad uppbyggd av fem lager där det första lagret består av glas. Glaset är främst där för att skydda de inre komponenterna av solcellen men ändå släppa igenom den största delen av ljuset som träffar glasytan. Det andra lagret är en antireflektiv beläggning som finns där eftersom halvledarna under är blanka. Utan en antireflektiv yta hade cirka 30% av ljuset som träffar halvledarna bara reflekterats bort vilket skulle reducera verkningsgraden avsevärt. Det är även denna antireflektiva yta som bestämmer färgen på solcellen. (The Science Asylum, 2019)

Det tredje lagret består av ett rutnät av metall som fungerar som en ledare för ena sidan av kisellagret. Rutnätsutformningen kommer från att man måste kunna leda ström genom metallen men fortfarande släppa genom solljus som ska nå halvledarna. Det femte lagret fungerar som ledare för den andra sidan av kisellagret, däremot är detta lager i många fall en hel metallplatta som inte är formad som ett rutnät eftersom denna inte behöver släppa genom solljus. (The Science Asylum, 2019)

För att faktiskt skapa energin används det fjärde lagret, vilket består av en halvledare som ofta är kisel. Man använder solljusets energi för att göra halvledaren ledande vilket behövs för att cellen ska skapa elektricitet. (The Science Asylum, 2019)

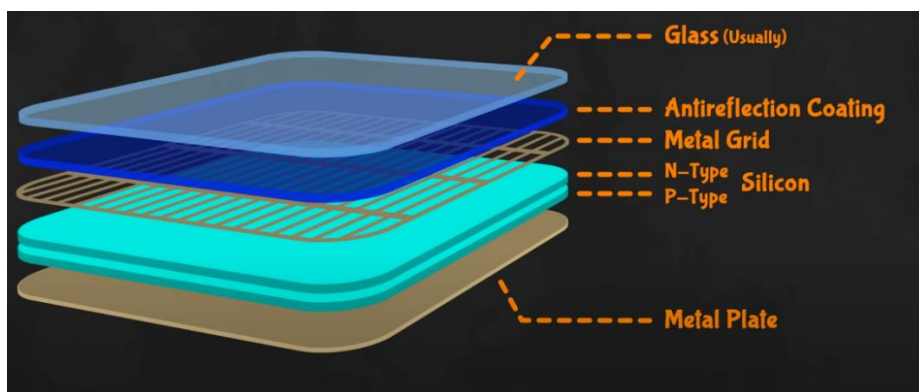
Däremot är inte ren kisel tillräckligt ledande för att skapa den elenergi man vill åt, och därför måste man dopa kiset med fosfor på den sidan av kisellagret som solen träffar. På den andra sidan dopar man kiset med bor. Detta gör man eftersom fosfor har en extra elektron jämfört med kisel och bor har en elektron mindre än kisel. (Aldous & Homer, 2023)

Elektroner från N-delen (fosfor-dopad) kommer fylla de positiva hålen i P-delen (bor-dopad) och hålen från P-delen vandrar över till N-delen och ta upp elektroner, och detta bildar en PN-övergång, som är grunden för hur en solcell fungerar. (Aldous & Homer, 2023)



Figur 1. Visualisering av funktion PN-övergång.

Science of Gadgets, 2023



Figur 2. Visualisering av uppbyggnaden av en solcell

The Science Asylum, 2019

En solcell producerar däremot bara cirka 0,5V vilket är en väldigt liten spänning, därför använder man flera seriekopplade solceller i en solpanel, och flera solpaneler seriekopplade i sin tur för att få ut en användbar likspänning som man sedan omvandlar till växelspanning. (The Science Asylum, 2019)

De mest populära typerna av solceller är kisel-solceller och tunnfilmssolceller. Tunnfilmssolceller är en typ av solcells som är uppbyggd av tunna ljusabsorberande lager i stället för kisel, detta gör dem tunnare och mer böjbara. Tunnfilmssolceller har länge haft en lägre verkningsgrad än kisel-solceller men har i dagens läge nästan uppnått samma verkningsgrad som kisel-solceller. (Hemming, 2023e) (Hemming, 2023c)

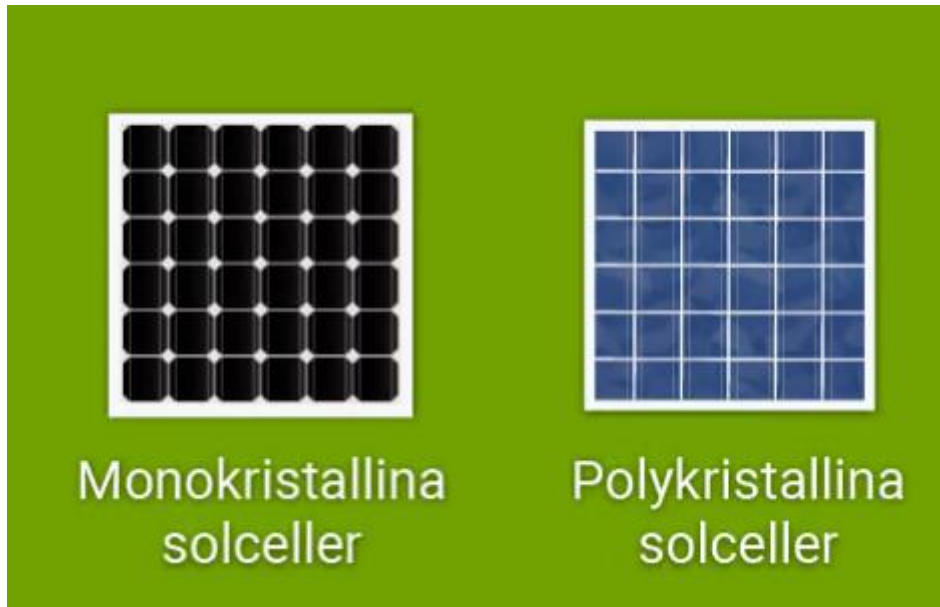


Figur 3. Tunnfilmssolpanel.

Solarni Paneli, u.å.

Man kan dela in kisel-solceller i två typer, monokristallina och polykristallina. Monokristallina solceller är i regel bättre än polykristallina. De är tillverkade av kisel med endast en kristall vilket resulterar i att verkningsgraden ökar. Eftersom kiset som används bara har en kristall får elektronerna i de två kisel-skikten mer rum att röra sig fritt vilket bidrar till en högre verkningsgrad och effekt per yta. Monokristallina solceller är också vanligare på grund av att de är svarta, vilket många tycker är mer estetiskt än polykristallina solceller som är blåa. Monokristallina paneler anses också vara mer kostnadseffektiva eftersom man får mer effekt för pengarna. (Hemming, 2023b)

Polykristallina solceller är en billigare än monokristallina paneler, tekniken som används vid tillverkningen resulterar i sämre verkningsgrad och lägre effekt per yta eftersom man använder kisel med flera kristaller. Eftersom cellen innehåller flera kristaller blir det svårare för elektronerna att röra sig fritt och det är detta som resulterar i lägre verkningsgrad och effekt. (Hemming, 2023b)



Figur 4. Monokristallina och Polykristallina solceller.

Greenmatch, 2024

2.2 Uppbyggnad av solcellssystem

Energien från solstrålning omvandlas till elektrisk effekt genom ett fenomen som heter fotovoltatik. Den fotovoltaiska effekten är fenomenet som uppvisas av vissa material som kan omvandla så kallade fotoner eller ljuspartiklar till elektricitet. I korthet absorberar materialet fotonerna och skapar ett flöde av elektroner som i sin tur bildar en elektrisk ström. (Basengreen, 2023)

Ett solcellssystem är uppbyggt av flera solpaneler, som var och en består av ett antal solceller som genererar den elektriska effekten. Solpanelerna går att montera på flera olika sätt för att få ut den maximala effekten eller för att använda platsen man har på bästa sätt. De vanligaste monteringsätten är: markmonterade, takmonterade, väggmonterade eller flytande. Monteringen kan vara fast, men är man ute efter att utvinna maximal effekt bör panelerna monteras på så kallade solföljare för att kunna justera

panelernas vinkel mot solen. Genom att man vinklar panelerna efter solen kommer man kunna följa solen under dagen för att alltid ha maximal täckning av solstrålning. (Lo Pivano & Mayumi, 2017)

2.3 Solcellers verkningsgrad

Solpanelers verkningsgrad betyder i enkelhet hur stor andel av solljuset eller solinstrålningen som omvandlas till elenergi. Det finns många faktorer som påverkar verkningsgraden av solpaneler, och några av de viktigaste är:

- **Solstrålning** - den kanske viktigaste faktorn när det kommer till verkningsgrad hos solceller är mängden solstrålning. Solstrålningen är en geografisk begränsning och beror helt på hur mycket solenergi en viss plats får per år till exempel i södra Finland får man ungefär 1000kWh/ m² årligen. (Vattenfall, 2022)
- **Temperatur** - ju varmare solcellerna blir desto sämre blir verkningsgraden, solcellerna fungerar bäst med temperaturer på under 25 °C. Man kan räkna med att man förlorar 0,34–0,36% verkningsgrad per °C man överstiger 25°C. (Mn, 2024)
- **Väderstreck** - väderstreck har en stor inverkan på verkningsgraden, det absolut bästa väderstrecket att installera solpaneler i är söderut enligt *figur 5*.
- **Lutning** - lutningen är också en viktig parameter. För att uppnå högsta verkningsgrad bör solpaneler monteras med en 40° vinkel från marken, enligt *figur 5*.
- **Underhåll** - rengöring och skuggning, eftersom cellerna och panelerna är seriekopplade är det viktigt att hålla dem fria från till exempel snö, mossa, löv och skugga för att upprätthålla maximal effekt. Det räcker med att en liten del av cellerna är täckta för att förlora en stor del av spänningen. (Mn, 2024)
- **Solcellstyp** - alternativen för kommersiellt bruk av solpaneler på fastigheter är oftast antingen monokristallina eller polykristallina solceller. Skillnaden är att monokristallina solceller har en högre renhet i halvledaren vilket resulterar i en högre verkningsgrad. (Mn, 2024)
- **Ålder** - med åldern på en solcell sjunker också verkningsgraden på grund av orsaker som bland annat att panelen är utsatt för klimat och väderförhållanden som kan vara ogynnsamma för materialen som används. Man brukar räkna med att

solcellen förlorar cirka 0,5–3% av sin verkningsgrad per år under hela sin livstid. (Roofit.Solar, 2023) En solpanel ska ha en garanterad livslängd på 25–30 år och de flesta tillverkare lovar att panelen bibehåller åtminstone 80% av effekten efter 25 år. Den förväntade livslängden är däremot 50 år men då finns inga garantier på verkningsgrad. (Hemming, 2023a)

- **Övriga förluster** - Med övriga förluster menar man förlusten som finns i kablar, kontaktstycken och växelriktare. Detta är helt beroende av kabelarea, kabellängd och växelriktarens verkningsgrad. (Bengt, 2019)

Platt	Väst		Sydväst			Söder			Sydost			Öst		
	90	75	60	45	30	15	0	-15	-30	-45	-60	-75	-90	
0°	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	
10°	80	82	84	86	87	88	88	88	87	86	84	82	80	
20°	79	83	87	90	93	94	94	94	93	90	87	83	79	
30°	78	83	88	92	96	98	98	98	96	93	89	84	78	
40°	76	82	88	93	97	99	100	99	97	94	89	83	76	
50°	73	80	86	92	96	98	99	99	96	93	87	81	73	
60°	69	76	83	89	93	95	96	96	94	89	84	77	69	
70°	64	71	78	83	88	90	91	91	88	84	79	72	64	
80°	57	65	71	77	80	83	84	84	82	78	72	65	58	
Väggmonterat	90°	51	57	63	68	72	74	84	74	73	69	64	58	50

Figur 5. Tabell över påverkan av väderstreck och lutning.

Hemsol, 2023

Då solcellstillverkare räknar ut verkningsgraden av sin solpanel använder man sig av **STC** vilket står för ”Standard Test Conditions”. STC utgår från en solcellstemperatur på 25°C, en solstrålning på 1000W/m² under 2,74 timmar. I vanliga fall exponeras solpaneler för solstrålning under en längre period än 2,74 timmar men då är solstrålningen ofta mindre än 1000W/m² under den större delen av dagen. För att räkna ut verkningsgraden med hjälp av STC används formel nummer 1. (Svarc, 2024)

(1)

$$\text{Verkningsgrad (\%)} = \frac{P}{(A \cdot 1000\text{W/m}^2)} \cdot 100$$

Där P är solpanelens uppmätta uteffekt (W) och A är arean av solpanelen (m²).

Ett räkne exempel med en LONGi solpanel på 420W och med en area om cirka 1,95m².

$$\frac{420}{(1,95 \cdot 1000)} \cdot 100 = 21,53$$

Detta visar att panelen ska ha en verkningsgrad på cirka 21,5% vilket stämmer överens med tillverkarens datablad. Se *bilaga 1* för datablad.

Problemet som uppstår då man använder **STC** beräkning är att förhållandena man använder för att räkna verkningsgraden sällan uppvisas i verkligheten. Därför kan man i stället använda sig av **NOCT** vilket står för ”*Nominal Operating Cell Temperature*”. Använder man värdena givna i **NOCT** är de i stället, 800 W/m² solinstrålning, omgivningstemperatur på 20°C med en celltemperatur på 45°C och vindhastighet på 1m/s. Anledningen till att celltemperaturen är högre än omgivningstemperaturen beror på att solcellens temperatur i regel är 20–30°C varmare än den faktiska omgivningstemperaturen. Prestandan mellan **STC** och **NOCT** brukar skilja med cirka 25%, så en panel med 400W effekt räknat med **STC**-värden kommer i regel bara ha en effekt på cirka 300W med **NOCT**-beräkningen. (Hemming, 2023f)

Då man vill veta hur mycket effekten faktiskt försämras vid högre arbetstemperaturer kan man avläsa den i databladet som behandlar panelens prestanda. Det är främst tre olika värden man då är ute efter, αP_{max} vilket visar temperaturkoefficienten för max effekten på solpanelen, αV_{oc} vilket visar temperaturkoefficienten för spänningen i en öppen krets- och αI_{sc} vilket visar temperaturkoefficienten för kortslutningsströmmen i kretsen. Till exempel om en solpanel har en P_{max} temperaturkoefficient på -0,35% visar detta att max effekten kommer sjunka med 0,35% för varje 1°C solpanelen blir varmare än 25°C. Det samma gäller för V_{oc} och I_{sc} . Detta går att avläsa ur databladet i *bilaga 1* som behandlar samma panel som använts i tidigare räkneexempel. (Maysunsolar, 2023)

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.340%/°C

Figur 6. Urklipp ur bilaga 1 för temperaturkoefficienter

Vill man räkna ut effektförlusten måste man veta solpanelens arbetstemperatur först, annars kan man som tidigare avgivet anta att arbetstemperaturen är 20–30°C varmare än omgivningstemperaturen, eller räkna ut den. En formel man kan använda för att räkna ut detta är formel nummer 2. (Maysunsolar, 2023)

(2)

$$T_{solcell} = \frac{(T_{luft} + (NOCT - 20)) \cdot 800}{G}$$

Där T_{luft} är omgivningstemperaturen, $NOCT$ är nominal operating cell temperature som avläses i databladet, 20°C används då det är den temperaturen som används vid **NOCT** uträkningar, 800W/ m² då detta är solstrålningen man använder vid **NOCT** uträkning och, G som är instrålningen på modulens yta mätt i W/ m².

Vi antar att utetemperaturen är 22°C och instrålningen är 760 W/ m², $NOCT$ kan avläsas ur databladet i *bilaga 1* som 45°C +-2°C så vi använder oss av 45°C. Detta ger:

(2)

$$T_{solcell} = \frac{(22 + (45 - 20)) \cdot 800}{760}$$

$$T_{solcell} \approx 49,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Från databladet går att avläsa att P_{max} sjunker med -0,34% per 1°C över 25°C alltså:

(3)

$$\text{Verkningsgradförsämring} = (49,5 - 25) \cdot -0,34$$

$$\text{Verkningsgradförsämring} = 8,33\%$$

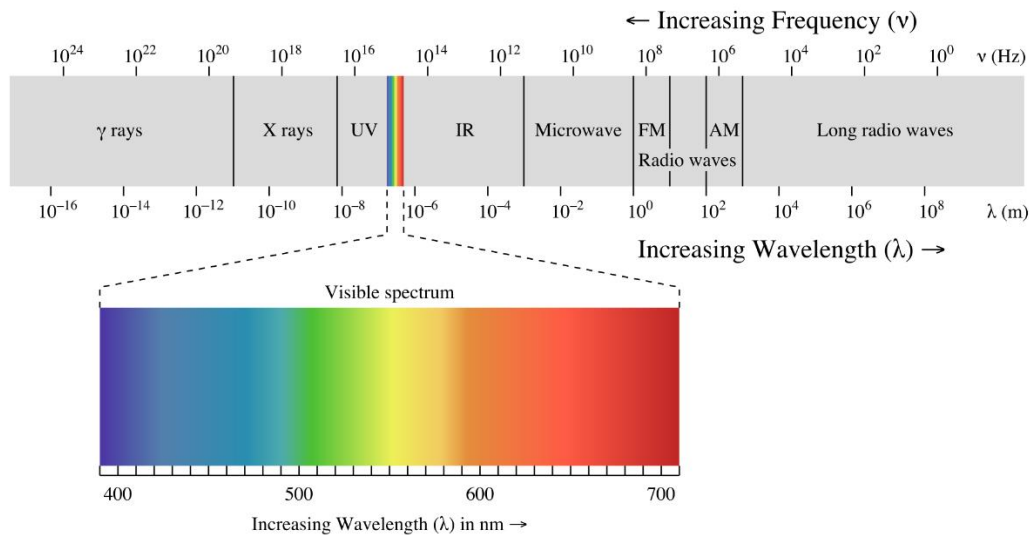
Alltså blir effekten 8,33% sämre, antar vi då att effekten är 420W som definieras vid **STC** förhållanden blir den verkliga effekten snarare 385W vid dessa förhållanden. (Hemming, 2023f)

(4)

$$420W \cdot (1 - 0,0833) = 385W$$

2.4 Solstrålningsenergin på jorden

Solstrålning är en elektromagnetisk strålning som består av cirka 48% synligt ljus, 44% infrarött-ljus och 8% ultraviolett-ljus. Den största delen av energin i solstrålning kommer från ljuset med mellan 300 – 4000nm i våglängd. (SMHI, 2022)



Figur 7. Visualisering av våglängden av de ljus människoögat kan se.

Leader Tech, u.å.

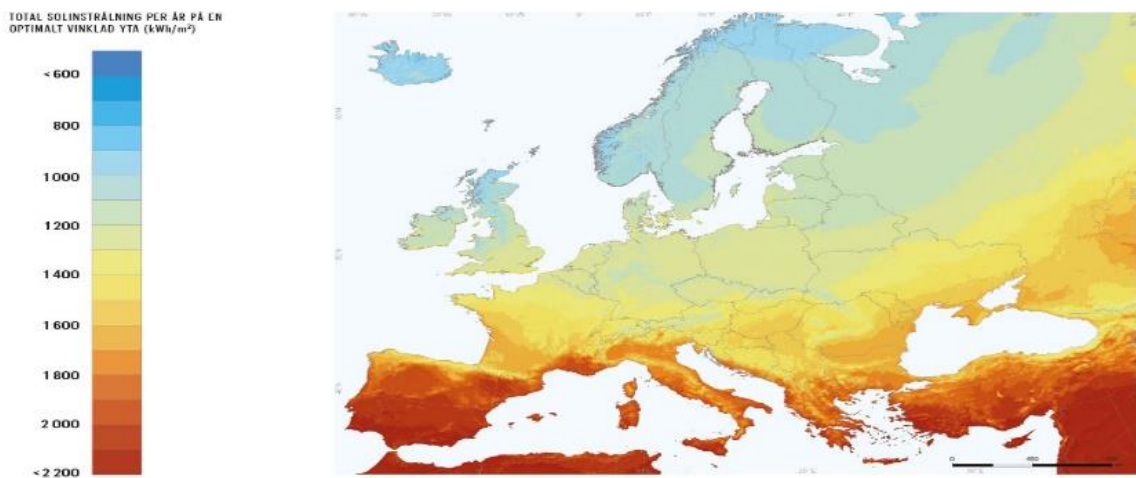
För att en solcell ska kunna generera elektrisk energi krävs det att solstrålning når jorden, solstrålning är främst mätt i W/m^2 . Spritt över hela jorden strålar konstant cirka $1kW/m^2$ vilket över hela jorden motsvarar cirka 170 000 TW. (Hägen, 2018)

Solceller har däremot som tidigare nämnts en relativt låg verkningsgrad och man skulle enligt Hägen (2018) aldrig kunna bygga tillräckligt med solceller för att kunna försörja hela jorden med enbart solenergi. Så även fast man i teorin skulle kunna producera tillräckligt med energi är det långt ifrån hållbart sett ur ett ekosystems perspektiv eftersom stora ytor skulle behöva användas enligt Hägen (2018). (Hägen, 2018)

För att uppskatta energin en solcell kommer producera används ofta uttrycket ”soltimmar” eller ”solskenstid” som i korthet betyder antalet timmar solstrålningen överstiger $120 W/m^2$ på en yta. (Bengt, 2015)

Detta sätt att uppskatta energi är däremot helt felaktigt och opålitligt, detta eftersom det inte spelar någon roll om solstrålningen är $900W/m^2$ eller $120W/m^2$ båda räknas som en soltimme. Även molniga och dimmiga dagar produceras solenergi, men denna räknas inte heller med då man räknar soltimmar. På grund av detta berättar uttrycket soltimmar ingenting om den faktiska elproduktionen. Man bör i stället beräkna andelen

solstrålning som faktiskt träffar ytan av solcellerna. I södra Finland får man i snitt 1000 kWh/ m² solstrålning per år enligt bilden nedan. (Bengt, 2015)



Figur 8. Visualisering av solenergi som träffar Europa.

Forskning och framsteg, 2014

Solinstrålningen kommer i flera olika former eftersom den påverkas av yttre faktorer.

De främsta olika typerna av solinstrålning man brukar prata om är:

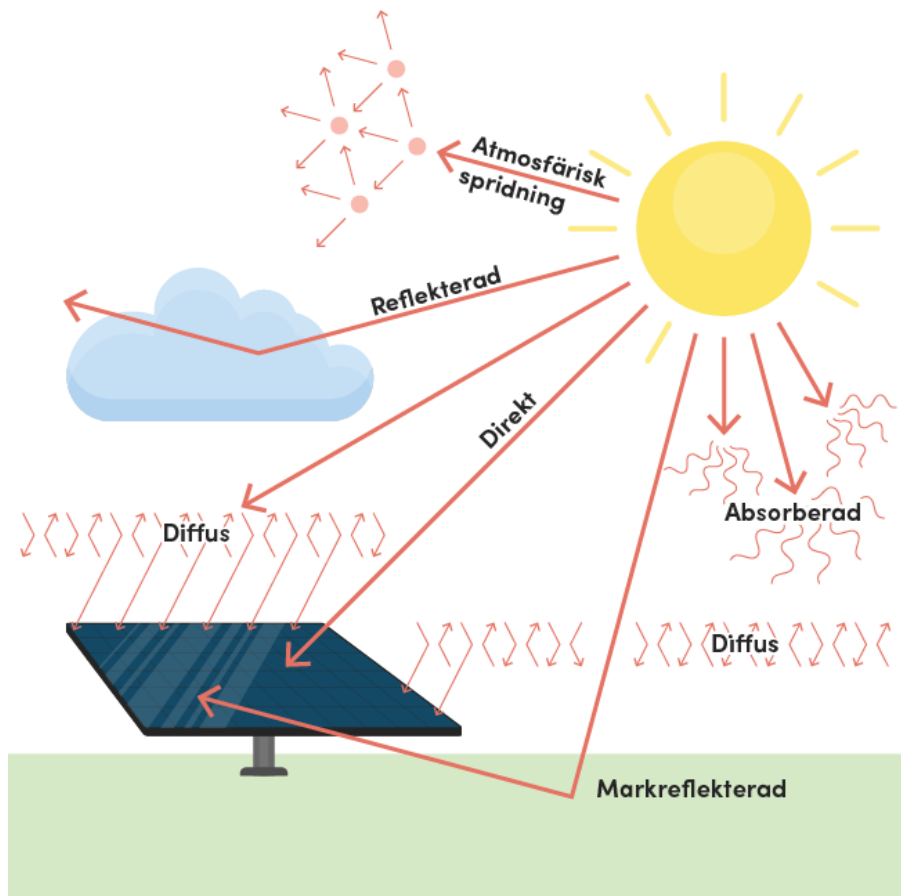
- **Direkt solstrålning** - detta innebär solstrålning vid klar himmel, alltså att solens strålar strålas direkt från solen till jordens yta utan att reflekteras. Direkt solstrålning minskar till nästan 0 då det är tjocka moln på himlen. För denna typ av strålning är det viktigt att solcellerna är i bra vinkel till solen. För att mäta den direkta solstrålningen används en yta som är vinklad horisontellt mot solen. (Hemming, 2023d)
- **Diffus solstrålning** - denna typ av strålning har reflekterats mot de molekyler och partiklar som finns i vår atmosfär vilket främst är vattenånga. Detta fenomen är varför det kan vara ljus ute trots att det är molnigt och man inte får någon direkt solstrålning. (Hemming, 2023d)
- **Globalstrålning** - den globala solstrålningen är den sammanlagda strålningen bestående av direkt och diffus strålning som träffar en horisontell yta. Man kan räkna ut denna genom att addera den diffusa solstrålningen med den direkta. (Hemming, 2023d)
- **Indirekt solstrålning** - reflekterad eller indirekt strålning är den strålning som träffar en yta efter att ha reflekterats från exempelvis naturen, närliggande byggnader eller marken. Eftersom den indirekta strålningen är väldigt beroende av

närliggande byggnader och natur räknar man inte med den då man räknar ut den globala strålningen. Denna typ av strålning är främst lönsam för solceller då det är snö ute som kan reflektera ljuset mot cellen. Sambandet mellan direkt, diffus- och direktstrålning kan bevisas med formel nummer 5. (Hemming, 2023d)

(5)

$$G = I \cdot \sin(h) + D$$

Där G = globalstrålning, I = direktstrålning, h = solenshöjd, D = diffus strålning. (Hemming, 2023d)



Figur 9. Visualisering av de olika typerna av solstrålning.

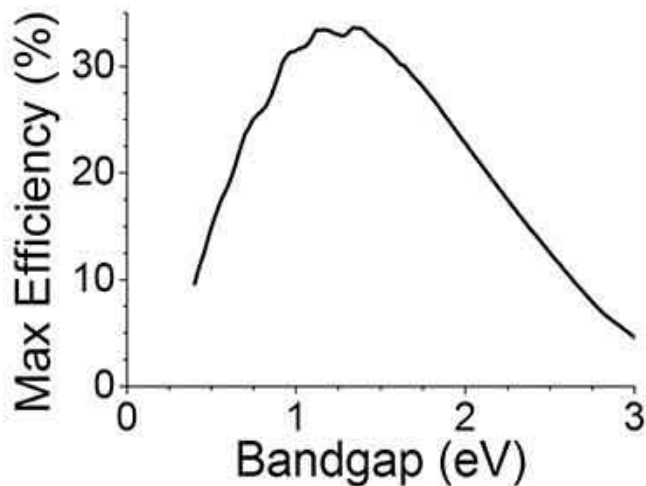
Hemsol, 2023b

2.5 Tillgängliga solceller och begränsningar

Verkningsgraden hos solceller är som tidigare nämnt väldigt begränsad och beroende av flera olika faktorer. Nuvarande kommersiella solpaneler har i regel alltid en mindre verkningsgrad än 25%. Traditionella solceller som använder sig av fotovoltaisk effekt

för att bilda elenergi använder bara en PN-övergång och har därför en lägre möjlig verkningsgrad än ifall man använder flera PN-övergångar. (Marsh, 2023) (Svarc, 2024)

De traditionella solcellerna som bara använder en PN-övergång med ett optimalt bandgap har en maximal teoretisk verkningsgrad på cirka 33%. Denna maximala verkningsgrad kallas för Shockley – Queisser gränsen, eftersom det var William Shockley och Hans-Joachim Queisser som räknade ut detta år 1961. (University wafer, 2018b)



Figur 10. Shockley - Queisser gränsen visualiserad.

University wafer, 2018a.

De solceller som idag tillverkas och säljs på den kommersiella marknaden har uppnått en maximal verkningsgrad på cirka 24% i dagens läge. För att uppnå den högsta teoretiska verkningsgraden krävs det att man använder sig av en halvledare med ett väldigt smalt bandgap. (Svarc, 2024)

Tillverkarna som lyckats bäst i dagens läge är:

- **Sunpower**, som tillverkar en solpanel med 445W effekt och en verkningsgrad på 24,1% (Svarc, 2024)
- **Aiko Solar**, som har en panel med 470W effekt och en verkningsgrad på 23,8% (Svarc, 2024)
- **Recom Tech**, som har en panel med 460W och verkningsgrad på 23,6% (Svarc, 2024)
- **AEG**, med en panel på 460W och en verkningsgrad på 23,6% (Svarc, 2024)

- **Longi solar**, med en panel på 450W och verkningsgrad på 23,3% (Svarc, 2024)

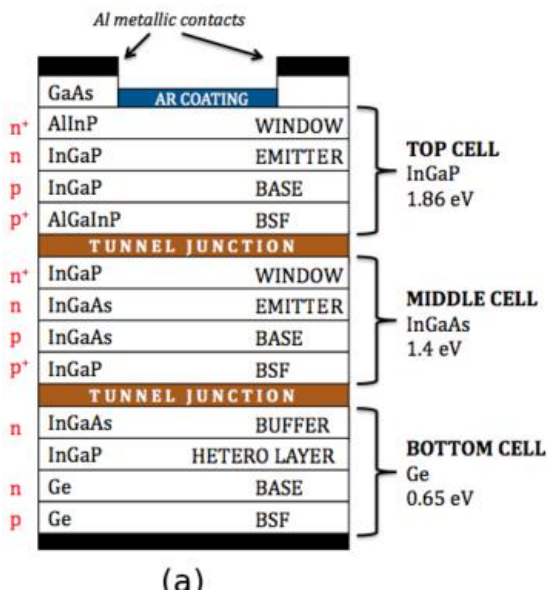
#	Make	Model	Power	Efficiency
1	SunPower	Maxeon 7	445 W	24.1 %
2	Aiko Solar	Black Hole series	470 W	23.8 %
3	Recom Tech	Black Tiger	460 W	23.6 %
4	AEG	BC Premium	460 W	23.6 %
5	Longi Solar	Hi-Mo 6 Scientist	450W	23.3 %
6	Huasun Solar	Himalaya G1	450 W	23.0 %
7	Canadian Solar	TOPHiKu6	470 W	23.0 %
8	TW Solar	Repower N	455 W	22.8 %
9	Astronergy	AstroN5s	445 W	22.8 %
10	Trina Solar	Vertex N	505 W	22.7 %

Figur 11. Top10 lista med tillverkare och modeller på solceller med deras effekt och verkningsgrad (senast uppdaterad februari 2024).

Clean energy reviews, 2024

Genom att använda solceller som använder flera PN-övergångar till exempel tre övergångar, kan man uppnå en högre teoretisk verkningsgrad än solceller som bara använder en PN-övergång. Teoretiskt sett skulle en solcell med flera PN-övergångar kunna ha en maximal verkningsgrad på 86,3% jämfört med 33% för en traditionell panel med endast en PN-övergång. (Green, 2003)

Den högre teoretiska verkningsgraden beror på att man kan ha flera celler med olika egenskaper och bandgap. Detta eftersom man använder olika halvledare för att kunna ta vara på fotoner inom ett bredare bandgap för att kunna använda energin som annars skulle gå förlorad i värme. (Marsh, 2023)



Figur 12. En visualisering av en solcell med tre olika PN-övergångar och de olika de olika bandgapen i varje lager.

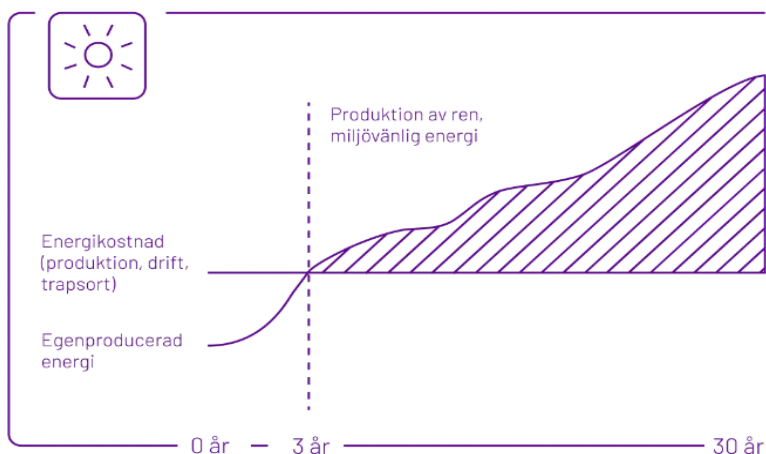
Fraunhofer Institute for Solar Energy Sytems, 2010

2.6 Solcellers miljöpåverkan

Att förstå solcellers miljöpåverkan är väldigt viktigt då man överväger hur miljövänlig solenergin man utvinnet är. Lyckligtvis kommer i stort sett den enda negativa miljöpåverkan från när man bryter mineralerna för tillverkningen, energiåtgången i tillverkningen av själva cellerna och transporten av solcellerna. Eftersom solceller ofta tillverkas i länder som använder sig av fossil energiproduktion, till exempel Kina måste även den miljöpåverkan räknas med. (1KOMMA5°, 2023)

Miljöpåverkan från svenska solceller vilket bör överensstämma med finska, är 28-40gCO₂ per producerad kWh. Man brukar däremot i regel säga att ”energiåterbetalningstiden”, alltså den tid det tar för solcellerna att producera den energi som släpps ut vid tillverkning, är mellan 2–3 år. Och eftersom man räknar med att solpaneler håller åtminstone 25–30 år betyder det att efter 2–3 år kommer solcellerna producera helt föroreningsfri energi. Detta gör solceller till ett väldigt miljövänligt alternativ för energiproduktion. (Bergmark, 2023)

Solceller energiåterbetalningstid



Figur 13. Visualisering av energiåterbetalningstiden.

1KOMMA5°, 2023b

Man bör också räkna med återvinningen av solpaneler. Innehållet i en solpanel tillverkad av kristallint kisel är cirka 75% glas, 10% plast, 8% aluminium, 5% kisel, 1% koppar och 1% övriga material såsom silver, tenn och bly. Man har som mest återvunnit 95% av en solpanel, detta gjordes i Frankrike. (Wallnér, 2022)

Som bäst skulle man realistiskt sett kunna återvinna 97% av en solpanel, de övriga 3% skulle främst vara damm och vattenblandningar vilka är svårt att göra något av. Detta visar att även om återvinningen måste utvecklas för att uppnå maximal återvinning finns möjligheterna att återvinna 97% av en solpanel vilket är väldigt miljövänligt. (Wallnér, 2022)

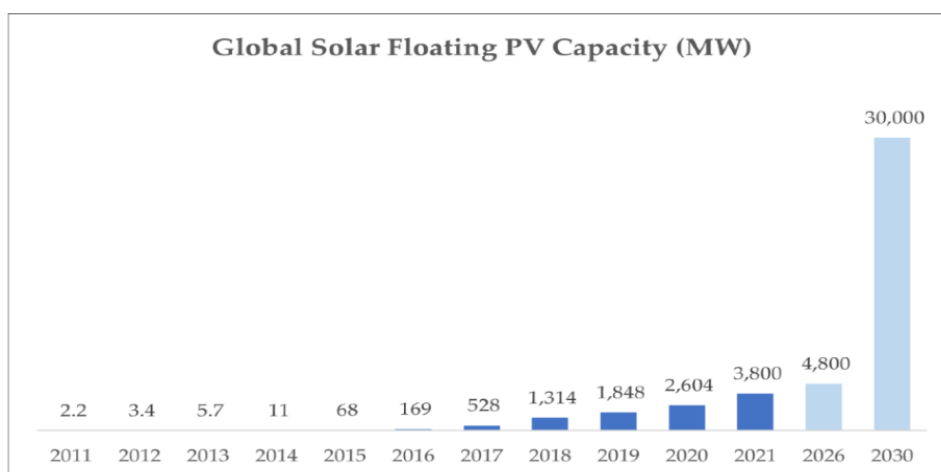
Utifrån dessa fakta kan man konstatera att solpaneler är ett väldigt miljövänligt alternativ för att producera elenergi. I slutändan beror det dock på många olika faktorer som hur energin som krävs för att tillverka panelerna framställs, hur de transporteras och hur de återvinns när livstiden är över. (Wallnér, 2022)

3 Flytande solpanelsanläggningar

En flytande solpanelsanläggning är ett innovativt sätt att producera förnybar elenergi med hjälp av solpaneler, genom att placera solpanelerna på en flytande konstruktion på vattenytan. Eftersom över 70% av världens yta är täckt av vatten öppnar flytande

solkraft upp en möjlighet för energiproduktion på en stor del av jorden man annars inte kunnat använda för detta ändamål. Dessa anläggningar kan byggas upp i flera olika former för att passa olika typer av vattenområden, till exempel sjöar, konstgjorda vattenreservoarer och dammar för att nämna några. Flytande solkraft hade 2013 en global installerad effekt av 6 MW och har år 2022 uppnått en installerad effekt på 13 000 MW. (Tirone, 2023) (European Environment Agency, 2023)

Den grundläggande idén och största fördelen med flytande solpanelsanläggningar är att man kan utnyttja annars helt outnyttjad yta, på vattnet och använda den för att producera energi. Även om det kan vara ett väldigt fördelaktigt sätt att installera solpaneler på, är det fortfarande väldigt nytt och outnyttjat, den globala kapaciteten för flytande solpanelsanläggningar nådde en total kapacitet på över 1 000 MW 2018 men förväntas uppnå en total kapacitet på 30 000 MW världen över år 2030 enligt Silalahi & Blakers (2023). Enligt Tirone (2023) växte den totala installerade effekten för flytande solkraft från år, 2020 på 3 000 MW till år 2022 en installerad effekt på 13 000 MW. Detta visar att flytande solkraft växer betydligt fortare än förväntat av MDPI och Silalahi & Blakers i *figur 15*. Däremot är detta fortfarande bara en bråkdel av hela världens installerade solkrafts kapacitet på cirka 1 050 GW år 2022. (Our world in data, 2023) (Silalahi & Blakers, 2023)



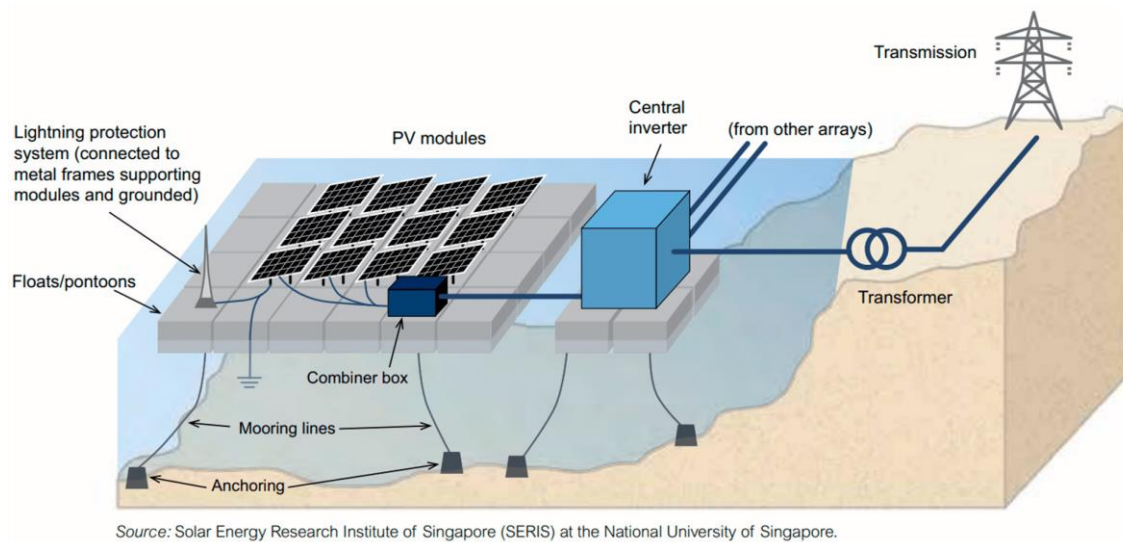
Figur 14. Visualisering av installerad effekt och framtidsprognos för flytande solkraft. MDPI, 2023c

3.1 Koncept och grundläggande principer

Flytande solpaneler eller innebär att installera solpaneler på flytanordningar på sjöar eller andra vattensamlingar. Denna teknologi möjliggör installation på ytor där energiproduktion annars hade varit omöjligt, med hjälp av detta kan man därför utöka solkraftskapaciteten utan att behöva nyttja landytor som annars hade varit bättre lämpade för annat. (Rwe, 2024)

Potentialen för flytande solceller världen över är enorm, skulle man täcka 30% av alla de artificiella vattenytorna på jorden skulle det vara möjligt att förse en tredjedel av jordens energibehov med bara flytande solceller enligt Fransson & Fransson (2023).

En flytande solkrafts anläggning är uppbyggd på liknande sätt som en vanlig mark- eller takmonterad anläggning, skillnaden är att de flytande solpanelerna monteras på skenor som är fästa i förankrade flytmoduler. Panelerna kopplas samman och kopplas sedan till en växelriktare för att göra om likspänningen till användbar växelspanning som man kan transformera till önskad spänning och skicka ut till elnätet. (Silalahi & Blakers, 2023)



Figur 15. Exempel på uppbyggnad av en flytande solpanelsanläggning.

MDPI, 2023a

Genom att använda sig av tvåsidiga solpaneler eller så kallade "bifacial-moduler" kan produktionen enligt Solkompaniet (2023) öka med cirka 4% eller mer. Det som gör

detta möjligt är att man ersatt baksidan av en traditionell solpanel med ett genomskinligt material som gör det möjligt för solcellen att ta vara på solenergi även på baksidan, och i och med det ta vara på en större del av den reflekterade solenergin. Svenska Solkompaniet har tillsammans med Raseborgs energi byggt en solcellspark med hälften traditionella ensidiga paneler och hälften två sidiga paneler och då kommit fram till dessa resultat. Denna typ av panel lämpar sig väldigt bra på flytande anläggningar eftersom vattnet reflekterar en del av solstrålningen på baksidan av panelerna. (Solkompaniet, 2023)



Figur 16. Baksidan av tvåsidiga solceller i en solcellspark.

Solkompaniet, 2022

3.2 Fördelar med flytande solkraft

Genom att använda sig av flytande solkraft jämfört med traditionella markbaserade solkraftslösningar, kan man dra nytta av flera fördelar. Några av de viktigaste fördelarna med flytande solkraft är:

- **Utrymme** - genom att installera solkraftsanläggningar på vatten sparar man plats på antingen mark, eller tak till exempel. Har man en konstgjord bevattningsdamm på en bondgård är möjligheten för en flytande anläggning utmärkt. Man kanske inte har tak i rätt riktning eller som håller bra nog för den extra vikten av solceller, eller så vill man ta vara på så mycket mark som möjligt för att kunna odla på för att nämna några exempel.

- **Verkningsgrad** - installationer som görs på vatten har även högre verkningsgrad eftersom vattnet har en kylande egenskap vilket ökar verkningsgraden genom att hålla panelerna svalare än ifall de hade varit monterade till exempel på ett tak. Enligt Selamutu (2021) kan den direkta kylförmågan från vattnet medföra 5–10% högre energiproduktion. (Otterheim, 2023)
- **Minskad avdunstning** - placeringen av solpaneler på vattenreservoarer och sjöar medför också fördelarna av att mindre vatten avdunstar vilket är fördelaktigt i områden som lider av perioder av torka eller vattenbrist. (Ahrberg, 2024)
- **Minskad algblomning** - genom att täcka delar av vattenytan minskas andelen solljus för alger vilket bidrar till att minska risken för algblomning och i sin tur bevarar vattnets ekosystem. (Ahrberg, 2024)
- **Albedoeffekten** - vattnet har reflektiva egenskaper som bidrar till albedoeffekten alltså den reflektiva effekten, albedo är ett mått på reflektionsförmåga. Genom att använda tvåsidiga solpaneler tar man tillvara på extra mycket av solstrålningen eftersom även den solstrålning som träffar vattenytan och reflekteras tas tillvara på. (Naturskyddsföreningen, 2021) (Mibet Energy, 2023)

3.3 Nackdelar och utmaningar med flytande solkraft

Även om fördelarna med flytande solkraft är många måste man även ta i beaktande några av de nackdelar och utmaningar som finns att övervinna för att kunna med framgång bruka denna typ av solkraft. Några av de viktigaste utmaningarna och nackdelarna som måste övervinnas är:

- **Städning**, eftersom flytande solkraftsanläggningar är stationerade på vatten och i stora ö – liknande formationer dras ofta fåglar dit för att antingen bara sitta där eller äta fisken som simmar runt kring anläggningen. Då många fåglar samlas på samma plats producerar de också mycket avföring som smutsar ner och försämrar verkningsgraden på panelerna vilket gör att man måste tvätta dem. Även om regn kan tvätta bort en del är det troligen nödvändigt att manuellt tvätta av panelerna, ett arbete som är väldigt tidskrävande och kan även vara krångligt. Lyckligtvis finns det företag som jobbar på att utveckla städrobotar för att åka över panelerna och tvätta av dem. (REGlobal, 2021)



Figur 17. En tvätt robot av märket TG hylift.

Pv magazine, 2021

- **Placeringsmöjligheterna är begränsade** - eftersom det ofta krävs större vattenytor för att installera en flytande solpanelsanläggning är det främst lämpat för större aktörer eller bondgårdar och industrier som har och använder olika typer av vattensamlingar. Systemet lämpar sig därför inte speciellt bra för privatpersoner, då skulle tak eller markinstallationer lämpa sig bättre i de allra flesta fallen. (Mibet Energy, 2023)
- **Risk för korrosion** - om en flytande solkraftsanläggning installeras på saltvatten måste man även tänka på att saltvattnet kan bidra till korrosion på materialen man använder. Därför måste man använda material som är mer korrosionsbeständiga än man hade behövt göra vid en traditionell installation. (Trace Software, 2019)

3.4 Tillämpningar

Eftersom flytande solcellsanläggningar har väldigt specifika användningsområden, är det viktigt att man noggrant utforskar dess potential och möjligheter. Systemens flexibilitet och skalbarhet gör dem till idealiska lösningar för områden där landandvändningsmöjligheterna är begränsade eller där det finns en anledning att inte vilja täcka markytan med solpaneler.

En av de mest intressanta aspekterna för flytande solkraft är förmågan att integrera den på en mängd olika typer av vattensamlingar. Allt från små dammar till stora sjöar, till

hav, detta öppnar för en rad tillämpningsområden där man kan utnyttja de många fördelar flytande solkraft erbjuder.

En av den mest fördelaktiga placeringen för flytande solceller är på dammar och andra vattenreservoarer, däribland dammar tillhörande vattenkraftverk, bevattningsdammar för jordbruk och dricksvattenreservoarer. Fördelarna med att använda solkraft i dessa specifika fall är bland annat, att man inte behöver ta upp värdefull markyta, man kan minska vattenavdunstningen och man kan minska bildningen av alger i vattnet.

Dessutom utforskas möjligheterna och utmaningarna med att installera flytande solkraft i sjö- och havsmiljöer. Även om denna typ av installationer är mycket mer utmanande på grund av hårdare väderförhållanden och svårare logistik vid installation, kan den stora potentialen för energiproduktion inte ignoreras.

3.4.1 Dammar

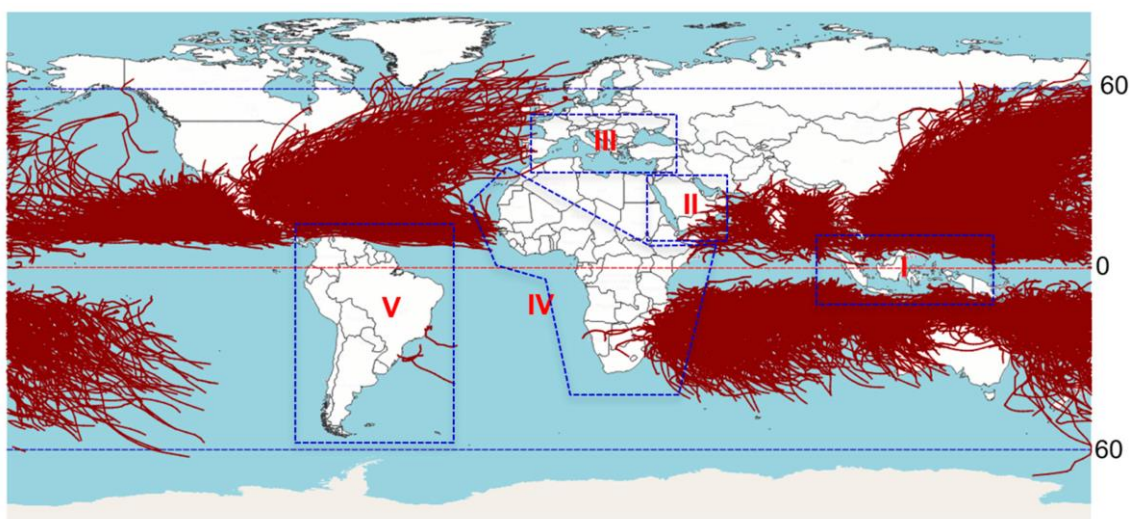
Den vanligaste platsen för flytande solkraft att installeras på, är på dammar av olika slag, till exempel dammar tillhörande vattenkraftverk eller andra annars oanvända dammar och vattenreservoarer. Flera flytande solcellsanläggningar är byggda i anslutning till vattenkraftverk vilket har flera fördelar utöver att bara bidra till en miljövänlig energiproduktion. I vattenkraftsdammar är det fördelaktigt att minska vattenavdunstningen och samtidigt minska tillväxten av alger i vattnet. I många fall finns också redan infrastrukturen för att skicka ut el till elnätet i anslutning till vattenkraftverk som också kan användas för flytande solkraft. (BBC News, 2023)

Fler småskaliga flytande solcellsanläggningar byggs också, ett svenskt nystartat företag som heter Sun Surf Solar tillverkar mindre flytmoduler på vilka solpaneler är installerade på, främst för bondgårdar och mindre industrier som har tillgång till bevattningsdammar. Deras system bygger på flera ihop kopplade flytmoduler med tre solpaneler var. På detta sätt bidrar man till mindre avdunstning och alg tillväxt i bevattningsdamarna och samtidigt får man en elproduktion som kan användas för att förse till exempel bevattningspumpen med energi. (Elektrikerpodden, 2023)

3.4.2 Hav och sjö

Att installera flytande solpaneler på dammar har redan vissa hinder och utmaningar som behöver ses över, men till skillnad från det relativt lugna vattnet på en damm öppnar steget ut till vågiga och salta hav eller större sjöar upp för ännu fler komplexa utmaningar. Många företag undersöker ändå möjligheterna att bygga flytande anläggningar till havs eftersom potentialen för energiproduktion är stor.

Eftersom vind och vågor är en så stor utmaning lämpar sig inte alla länder för att kunna ha flytande solkraft till havs, många länder upplever någon gång höga vindhastigheter och stora vågor vilket är det största hindret för solkraft till havs. Enligt Silalahi & Blakers (2023) är majoriteten av världens länder olämpliga för praktisk användning av flytande solkraft på deras hav. Efter att Silalahi & Blakers (2023) hade granskat väderdata för de senaste 40 åren har de kommit fram till att de mest lämpliga platserna för solkraft på havet är områdena I-V som illustreras i *figur 19*, bilden visar att lämpligast plats är kring ekvatorn men även medelhavet och områden kring röda havet.



Figur 18. I-V visar de bäst lämpade områdena för flytande solkraft utifrån väderförhållanden, de röda linjerna illustrerar tropiska stormar över de senaste 40 åren.

MDPI, 2023b

Även om stora delar av världen verkar vara olämplig för solkraft på havet skulle enligt Silalahi & Blakers (2023) den kombinerade energiproduktionen för regioner där vågorna inte överstiger 4 meter och vindarna inte är starkare än 15 m/s vara 220 000 TWh per år. Detta skulle enligt Silalahi & Blakers (2023) kunna täcka energibehovet för en global befolkning på 11 miljarder människor.

Ifall havsbaserade solkraftsanläggningar skulle kunna motstå maximala våghöjder på 6 meter skulle enligt Silalahi & Blakers (2023) den årliga globala energiproduktionen för havsbaserad solkraft kunna uppnå 1 000 000 TWh, vilket är betydligt mer än den årliga globala energiförbrukningen, som år 2022 enligt Our World in Data (2022) var 167 788 TWh.

3.5 Globala installationer

Flytande solkraftsanläggningar befinner sig fortfarande i ett tidigt skede av utvecklingen och är relativt ovanliga i förhållande till traditionella solpanelsanläggningar. Det finns därför flera utmaningar man ännu inte löst, från tekniska aspekter till miljöpåverkan och kostnadseffektivitet. Trots dessa hinder har många företag redan med framgång byggt och driftsatt flera anläggningar världen över, vilka har visat sig vara effektiva under en rad olika förhållanden och klimat.

Exemplen på dessa installationer är många och varierande, vilket visar på en bred potential för teknologin. Det finns i dagsläget allt från stora solkraftverk på vattenreservoarer i England till flytande öar med solföljare i Holland och gigantiska anläggningar i Kina.

3.5.1 Queen Elizabeth II Reservoir

Denna vattenreservoar rymmer hela 19 miljoner liter obehandlat vatten och ägs och drivs av Thames Water. Vattnet i reservoaren utnyttjas i ett reningsverk nära intill, där det till exempel filtreras och framställs till dricksvatten. (Barhale, 2022)

I mars 2016 blev man klar med bygget av flytande solkraft på Queen Elizabeth II Reservoir. Anläggningen man byggde hade en topp effekt på 6,3 MW vilket då gjorde den till Europas största flytande solkraftsanläggning då den byggdes. Installationen är kopplad direkt till Thames Waters privata anläggning för vattenrening, och tillgodosåg anläggningen med ungefär 20% av dess energibehov. (Lightsource bp, 2024)

Anläggningen är uppbyggd av 61 000 flytanordningar som formade plattformen på vilken 23 046 solpaneler monterades, förankrad med 177 ankarlinor som blivit förankrade av dykare. Arean av hela anläggningen är cirka 57 000 m² men täcker ändå mindre än 10% av hela reservoaren. Hela anläggningen kan producera 5 800 MWh vilket tekniskt sett skulle kunna förse 1 800 hem med elektricitet per år. (Lightsource bp, 2024b)



Figur 19. Anläggningen på Queen Elizabeth II Reservoir.

Lightsource bp, 2024a

3.5.2 Oostvoornse Meer

Vad som närmast kan beskrivas som en flytande rund ö i sjön Oostvoornse Meer i Nederländerna är faktiskt en flytande solkraftsanläggning som kallas Proteus byggd av det portugisiska företaget Solaris Float. (Askew, 2022)

Proteus har en diameter på 38 meter och är täckt av 180 tvåsidiga solpaneler som har en total topp effekt på 73 kW. Det som dock skiljer Proteus mot andra flytande solpanelsanläggningar är att anläggningen fungerar på samma sätt som en solros, det vill säga att den följer solens rörelse över himlen. (Askew, 2022) (Innovative Techs, 2023)

Solaris Float har designat ön så att den kan justera sig efter solens position i 2 olika riktningar med hjälp av elmotorer som förbrukar mindre än 0,5% av all energi producerad

av anläggningen. Hela ön roterar för att maximera solljuset den utsätts för men även panelernas vinkel justeras mellan $0^\circ - 45^\circ$. Med hjälp av detta system kan man enligt Solaris Float (u.å.) räkna med en ökning av energiproduktionen med hela 40%.



Figur 20. Den flytande anläggningen Proteus.

BBC News, 2022

3.5.3 Dezhou Dingzhuang

I Dezhou i nordöstra Kina 2020 byggde man på en reservoar intill Huaneng Powers värmekraftverk, världens just nu största flytande solkraftsanläggning. Den byggdes i två stadier där den första delen bestod av en 200 MW toppeffekts anläggning med tillhörande 8 MWh lagringsmöjlighet. Senare samma år lade man till en 120 MW del vilket tillsammans gjorde att anläggningen fick en toppeffekt på 320 MW. Anläggning är beräknad att kunna bidra med 550 GWh per år. (Bellini, 2022)

Utöver den flytande solkraftsanläggningen i Dezhou finns också i anslutning till solkraften en vindkraftspark med en toppeffekt på 100MW samt ett 2,65 GW kolvärmekraftverk. Alla dessa kraftverk använder samma infrastruktur för att förse elnätet med elektricitet. Den flytande solpanelsanläggningen ska kunna enligt plan förse snabbtågen mellan Beijing och Shanghai med elektricitet för de kommande 25 åren. (Genesis, 2022)



Figur 21. En del av anläggningen i Dezhou.

Shandong, 2023

3.5.4 Les Ilots Blandin

I nordvästra Frankrike planerar man just nu att bygga Europas största flytande solpanelanläggning. Anläggningen kommer byggas av Q Energy ovan på ett gammalt stenbrott i Haute-Marne regionen i Frankrike. (Q ENERGY, 2023)

Projektet är beräknat att börja tidigt under 2025 och kommer ha en elektrisk kapacitet på 74,3 MW vilket gör det till Europas största flytande anläggning. Man kommer bygga anläggningen i form av 6 flytande ”öar” med totalt cirka 134 650st solpaneler, som är tänkta att flyta på gamla oanvända grusgröpar som blivit fyllda av vatten.

(Q ENERGY, 2023)

Denna anläggning kommer kunna tillgodose elektricitet åt motsvarande 37 000 människor per år och skulle i så fall enligt Q ENERGY (2023) undvika ett utsläpp på ungefär 18 000 ton CO² per år. Materialen som kommer användas är hållbara för att minimera påverkan på miljön men samtidigt maximera energiproduktionen. (Q ENERGY, 2023)



Figur 22. Platsen där Les Ilots Blandin är planerad.

Q Energy, 2021

3.5.5 Kyrholmen och Skaftå

Det norska bolaget Ocean Sun utvecklar en annan typ av flytande solcellsanläggningar än deras konkurrenter. Deras anläggningar är baserade på ett tunt membran som flyter och rör sig med vågorna men fortfarande är styvt nog att gå på så att tekniker kan komma åt att underhålla och installera anläggningen. Ocean Sun har byggt flera anläggningar runt om i världen bland annat två i Norge, i Kyrholmen och i Skaftå. (Ocean Sun, u.å. b) (Matt Ferrell, 2023)

Enligt Ocean Sun (u.å.) är deras anläggningar billigare än andra konkurrenters anläggningar och med deras typ av system menar de också att anläggningarna har upp till 10% högre energiproduktion jämfört med markbaserad och pontonbaserad solkraft. Enligt tester som utförts har det visat sig att deras system med sina elastiska egenskaper kan klara vindhastigheter upp mot 275 km/h. (Ocean Sun, u.å. a)

Anläggningen i Skaftå var Ocean Suns första prototyp och installerades för Lerøy Sea-Food. Anläggningen har varit i drift i över 6 år och klarar det norska klimatet och

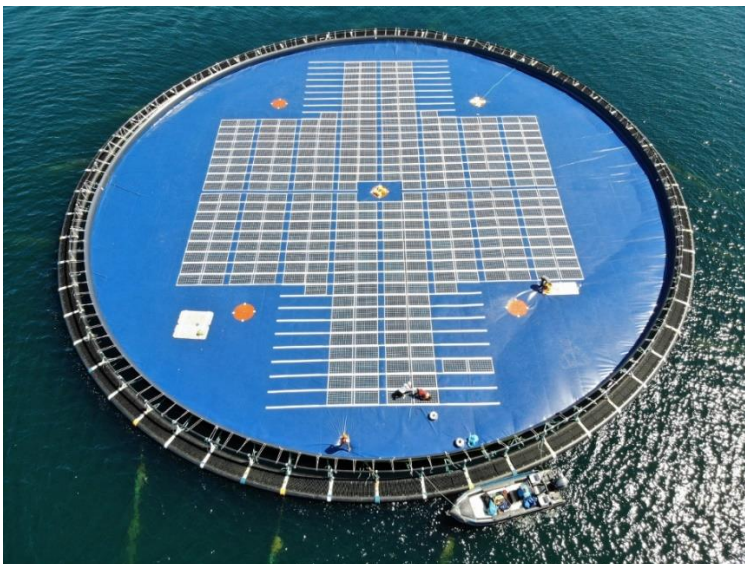
vågorna bra. Den installerade maxeffekten är däremot relativt liten jämfört med tidigare nämnda anläggningar, med en topp effekt på 6,6 kW. (Ocean Sun, 2017b)

En annan anläggning som Ocean Sun har installerat åt samma kund ligger i Kyrholmen och används för att ersätta en dieselgenerator på en av deras fiskodlingar. Denna runda anläggning har en diameter på 50 meter och en topp effekt på 100 kW. (Ocean Sun, 2018b)



Figur 23. Anläggningen belägen i Skaftå.

Ocean Sun, 2017a



Figur 24. Anläggningen i Kyrholmen.

Ocean Sun, 2018a

3.6 Tillämpningar i Norden och Finland

I Norden har flytande solkraft länge varit en relativt outnyttjad resurs jämfört med dess spridning i övriga delar av världen. Trots detta har det börjat ske en förändring, där företag som Sunsurf Solar bygger mer småskaliga anläggningar för främst bevattningsdammar riktat mot industri och jordbruk. Andra aktörer som det norska bolaget OceanSun har till exempel byggt anläggningarna på Skaftå och Kyrholmen för att producera energi till fiskodlingar.

I Finland däremot är flytande solenergi en i stort sett helt outnyttjad resurs trots potentialen för storskalig elproduktion. Finland har stora vattenresurser och precis som andra länder också ett betydande behov av förnybar energi. Med tanke på att det i Finland finns över 220 vattenkraftverk så skulle flytande solpanelsanläggningar med fördel kunna installeras flera av deras dammar. (Herrfors, u.å.)

Finland är dessutom allmänt känt som ”de tusen sjöarnas land”, vilket också återspeglas med sina cirka 187 000 insjöar och i förhållande till landets storlek är det världens mest sjö berikade land. Detta medför också en stor möjlighet för användning av flytande solceller främst för att spara på viktiga markområden som i stället kan användas till exempel för bostäder eller skogsbruk. (Styrman, 2024)

4 Slutsats

Detta examensarbete behandlar solcellers funktion och dess lämplighet att installeras på vatten. Arbetet fokuserar på hur verkningsgraden hos solceller påverkas av olika faktorer, samt hur solstrålningens energi påverkar solceller. Dessutom granskas miljövänligheten och återvinningen av solceller för att bedöma deras totala miljöpåverkan.

En betydande del av arbetet ägnas åt att undersöka möjligheterna till att installera solceller på vattentäckta områden såsom sjöar, hav och dammar. Arbetet utforskar fördelarna och även utmaningarna med denna installationsmetod, samt olika installationer världen över.

Huvudsyftet bakom arbetet är att undersöka solkraft och dess lämplighet att installeras på vatten jämfört mot på mark samt att utvärdera ifall flytande solkraft är en viktig del av omställningen mot en mer miljövänlig elproduktion. Resultaten av de samlade litteraturstudierna indikerar att flytande solpaneler kommer att spela en betydande roll i övergången till en mer miljövänlig elproduktion.

Den viktigaste motivationen till att installera flytande solkraft är främst att skapa möjligheten att utvinna elenergi producerad av solceller utan att använda värdefull markyta som i stället kan användas för till exempel bostäder livsmedelsproduktion. En annan stor fördel flytande solkraft har är att verkningsgraden är högre jämfört med markbaserad solkraft eftersom vattnet har en kylande effekt på solcellerna.

Fördelarna med flytande anläggningar gör dem särskilt lämpliga för större installationer, även om det fortfarande finns potential för mer småskaliga installationer, som till exempel på bevattningsdammar intill bondgårdar. Trots fördelarna finns det utmaningar som måste övervinnas för att man ska kunna använda flytande solkraftsanläggningar effektivt och hållbar.

Några av utmaningarna som kan uppkomma är bland annat att hålla solpanelerna rena från till exempel smuts som endast går att undkomma genom att antingen använda städrobotar eller att manuellt städa av panelerna. Man måste även använda sig av material som tål att omges av vatten och speciellt vatten som kan röra på sig. Även elnätet måste kunna klara av den extra belastningen som tillkommer av solpanelsanläggningar. Därför lämpar sig vattenkraftverk extra bra för att kombineras med flytande solkraft eftersom elnätet kring kraftverken är utvecklat för att klara av hög effekt. Detta problem kan däremot uppkomma vid flera produktionssätt och är inte enbart kopplat till flytande solkraft.

Även fast utmaningarna är många förväntas antalet flytande solcellsanläggningar öka med tiden, globalt på grund av att fördelarna överväger nackdelarna. Detta visas genom takten flytande solkraft växer i. Flytande solkraft växte från en installerad effekt på 3 000 MW till 13 000 MW på bara 2 år världen över (2020–2022). Finland, med sina

många vattenkraftverk och omfattande sjöar, erbjuder en särskilt gynnsam miljö för sådana installationer.

Med den ständigt ökande befolkningen blir marken alltmer värdefull för bostäder och livsmedelsproduktion. Att installera solceller på vatten blir då ett attraktivt alternativ för att spara mark till andra ändamål än energiproduktion speciellt då världen till över 70% av vatten.

Genom att använda sig av platser som gamla stenbrott som inte längre är i bruk som i projektet Les Ilot Blandin kan man ge nytt liv till annars helt outnyttjad landyta. På detta sätt hjälper man både klimatet genom en grönare energiproduktion medan man samtidigt inte inverkar ekosystemet på samma sätt som man hade ifall man installerat solpanelerna på en markyta där det tidigare varit till exempel en skog.

Trots utmaningarna förväntar jag mig att efterfrågan på denna teknik kommer att öka i framtiden på grund av de stora möjligheterna. Och att denna typ av solcellsinstallation kommer vara till stor hjälp för en mer miljövänlig omställning inom energiproduktion, inte bara i världen men även i Norden. De data jag har samlat in visar att flytande solkraft växer väldigt fort och förväntas fortsätta växa. Mellan 2013 och 2022 har den globala installerade effekten för flytande solkraft gått från 6 MW till 13 000 MW, och år 2030 förväntas flytande solkrafts anläggningar utgöra en installerad effekt på 30 000 MW världen över.

5 Diskussion

Flytande solkraft, trots sin stora potential, är ännu tidigt i sin utvecklingsfas. Denna nyhet inom förnybar energiproduktion öppnar upp för många möjligheter men medför samtidigt några utmaningar.

Resultatet av mitt arbete pekar mot att flytande solkraft har en betydande potential till att bidra till en mer hållbar energiproduktion i framtiden. Utöver flytande solkraft har mitt arbete även inkluderat undersökning av solcellers funktion och hur solceller bidrar

till en förnybar energiproduktion, för att ge en bredare uppfattning och förståelse för den flytande solkraften.

Sammanfattningsvis har mitt examensarbete gett en djupare förståelse av flytande solkraftssystem och dess potential, men även av dess utmaningar som hållbar energikälla för framtiden. Arbetet har framhävt den spännande möjligheten att flytande solkraft kan utgöra en väsentlig del av lösningen på vår tids energiutmaningar och miljömål inom energiproduktion.

6 Källor

1KOMMA5°. (2023a, Juli 18). *Solceller miljöpåverkan: Hur miljövänliga är solceller?*

1KOMMA5°. <https://1komma5.se/artiklar/hur-miljovanliga-ar-solceller>

1KOMMA5°. (2023b, Juli 18). *Visualisering av energiåterbetalningstiden.*

<https://1komma5.se/artiklar/hur-miljovanliga-ar-solceller>

Ahrberg, P. (2024, Mars 27). *Flytande solceller: Hur fungerar det? | SolcellsOfferter.*

SolcellsOfferter | Få Prisförslag På Installation Eller Solcellspaket.

<https://www.solcellsofferter.se/flytande-solceller/>

Aldous, S., & Homer, T. (2023, Augusti 30). *How do solar panels work?*

HowStuffWorks. <https://science.howstuffworks.com/environmental/energy/solar-cell.htm>

Askew, J. (2022, November 24). Chasing the sun: Dutch floating solar farm tracks sun's

rays to absorb more energy. *Euronews*. [https://www.eu-](https://www.euronews.com/green/2022/11/22/dutch-floating-solar-farm-tracks-suns-rays-to-absorb-more-energy-in-world-first)

[ronews.com/green/2022/11/22/dutch-floating-solar-farm-tracks-suns-rays-to-absorb-more-energy-in-world-first](https://www.euronews.com/green/2022/11/22/dutch-floating-solar-farm-tracks-suns-rays-to-absorb-more-energy-in-world-first)

Barhale. (2022, Oktober 26). *Queen Elizabeth II Reservoir (2022)*. Water Projects.

<https://waterprojectsonline.com/case-studies/qe2-reservoir-2022/>

- Basengreen. (2023, November 29). what is the definition of photovoltaic effect › ›
Basengreen Energy. *Basengreen-Quality LiFePO4 | 12V24V48V Solar lithium battery* ›. <https://www.basengreen.com/sv/vad-%C3%A4r-definitionen-av-fotovoltaisk-effekt-2/>
- BBC News. (2022, November 18). *Den flytande anläggningen Proteus*. BBC.
<https://www.bbc.com/future/article/20221116-the-floating-solar-panels-that-track-the-sun>
- BBC News. (2023, Mars 5). *Are floating solar farms the future of clean energy?* - BBC News [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=IZXV2p73vcE>
- Bellini, E. (2022, Januari 3). *World's largest floating PV plant goes online in China*. Pv Magazine International. <https://www.pv-magazine.com/2022/01/03/worlds-largest-floating-pv-plant-goes-online-in-china/>
- Bengt. (2015, Februari 4). *Skillnad mellan global, diffus och direkt solinstrålning?* Bengts Nya Villablogg. <https://bengtsvillablogg.info/2015/02/04/skillnad-mellan-global-diffus-och-direkt-solinstralning/>
- Bengt. (2019, April 17). *Vad påverkar effekten hos en solcellsanläggning?* Bengts Nya Villablogg. <https://bengtsvillablogg.info/2019/04/15/vad-paverkar-effekten-hos-en-solcellsanlaggning/>
- Bergmark, W. (2023, September 7). *Solenergins miljöpåverkan: Hur påverkar solceller miljön?* HemSol. <https://hemsol.se/solceller/solenergi/miljopaverkan/>
- Clean Energy Reviews. (2024, Februari 23). *Top10 lista med tillverkare och modeller på solceller med deras effekt och verkningsgrad (senast uppdaterad februari 2024)*. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- Elektrikerpodden. (2023, December 15). *FLYTANDE SOLPANELER?* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=pimFsaREZ4Y>

- European Environment Agency. (2023, August 29). *Rent vatten för människa och natur*. European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/miljosignaler-2020/articles/rent-vatten-for-manniska-och-natur>
- Forskning och Framsteg. (2014, Juni 8). *Visualisering av solenergi som träffar Europa*. Forskning Och Framsteg. <https://fof.se/artikel/2014/6/solenergi-valet-som-formar-framtiden/>
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (2010, Januari 14). *En visualisering av en solcell med tre olika lager och de olika de olika bandgapen i varje lager*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-junction_solar_cell#/media/File:StructureMJetspectre.png
- Genesis. (2022, Augusti 28). *The world's largest floating solar farm!* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=aY1nGJIDsNA>
- Green, M. (2003). *Third generation photovoltaics*. Google Books. https://books.google.fi/books?id=TimK46htCMoC&pg=PA65&hl=sv&source=gbs_toc_r&cad=1#v=onepage&q&f=false
- Green Match. (2024, April 10). *Monokristallina och Polykristallina solceller*. Greenmatch. <https://www.greenmatch.se/solceller/olika-typer>
- Hägen, N. (2018, November 5). *Energi i överflöd | Åbo Akademi*. Åbo Akademi. <https://www.abo.fi/nyheter/energi-i-overflod/>
- Hemming, S. (2023a, September 7). *Livslängd för Solceller: Så Långa Håller Solpaneler (Apr, 2024)*. HemSol. <https://hemsol.se/solceller/livslangd-hallbarhet/>
- Hemming, S. (2023b, September 7). *Monokristallina vs Polykristallina Solceller: Välja Mono eller Poly?* HemSol. <https://hemsol.se/solceller/olika-typer/mono-poly/>
- Hemming, S. (2023c, September 7). *Olika typer av solceller: Kiselsolceller, tunnfilm & perovskit*. HemSol. <https://hemsol.se/solceller/olika-typer/>

- Hemming, S. (2023d, September 7). *Solceller i Sverige: Statistik på Svensk Solinstrålning & Solenergi*. HemSol. <https://hemsol.se/solceller/solenergi/sverige-statistik/>
- Hemming, S. (2023e, September 7). *Tunnfilmssolceller: Pris & Info om Solceller av Tunnfilm (2024)*. HemSol. <https://hemsol.se/solceller/olika-typer/tunnfilmssolceller/>
- Hemming, S. (2023f, September 7). *Verkningsgrad för Solceller 2024: Allt om Effekt för Solpaneler!* HemSol. <https://hemsol.se/solceller/verkningsgrad-effekt/>
- HemSol. (2023a, September 7). *Tabell över påverkan av väderstreck och lutning*. HemSol. <https://hemsol.se/solceller/lutning-vaderstreck/>
- HemSol. (2023b, September 7). *Visualisering av de olika typerna av solstrålning*. HemSol. <https://hemsol.se/solceller/solenergi/sverige-statistik/>
- Herrfors. (u.å.). *Vattenkraft*. Herrfors. <https://www.herrfors.fi/sv/elproduktion/vattenkraft/>
- Innovative Techs. (2023, Januari 27). *The Dutch have Invented a Unique Floating Solar Farm* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=NxWiI4htLTs>
- Leader Tech. (u.å.). *Visualisering av våglängden av de ljus människoögat kan se*. <https://leadertechinc.com/basics-electromagnetic-spectrum/>
- Lightsource bp. (2024a, Februari 7). *Anläggningen på Queen Elizabeth II Reservoir*. Lightsource Bp. <https://lightsourcebp.com/project/queen-elizabeth-ii-reservoir-solar/>
- Lightsource bp. (2024b, Februari 7). *Queen Elizabeth II Reservoir solar | Lightsource bp UK*. Lightsource Bp. <https://lightsourcebp.com/project/queen-elizabeth-ii-reservoir-solar/>

- Lo Piano, S., & Mayumi, K. (2017). Toward an integrated assessment of the performance of photovoltaic power stations for electricity generation. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.976281>
- Longi. (u.å.). *Datablad över Longi solcell 400-420W*. https://static.longi.com/Hi_MO_5m_LR_5_54_HP_B_400_420_M_5004f460cd.pdf
- Marsh, J. (2023, Februari 27). *Multi-Junction solar cells: What you need to know*. EnergySage. <https://www.energysage.com/solar/solar-photovoltaic-cells/multijunction-solar-cells/>
- Maysunsolar. (2023, November 10). *Temperaturkoefficient och solpaneler: Varför är det så viktigt inom solenergi?* Maysunsolar. <https://www.maysunsolar.se/blog/temperaturkoefficient-och-solpaneler-varfor-ar-det-sa-viktigt-inom-solenergi>
- MDPI. (2023a, Juli 27). *Exempel på uppbyggnad av en flytande solpanelsanläggning*. <https://www.mdpi.com/2673-9941/3/3/23>
- MDPI. (2023b, Juli 27). *I-V visar de bäst lämpade områdena för flytande solkraft utifrån väderförhållanden, de röda linjerna illustrerar tropiska stormar över de senaste 40 åren*. <https://www.mdpi.com/2673-9941/3/3/23>
- MDPI. (2023c, Juli 27). *Visualisering av installerad effekt och framtidsprognos för flytande solkraft*. <https://www.mdpi.com/2673-9941/3/3/23>
- Mibet Energy. (2023, Oktober 12). *The advantages and disadvantages of floating solar*. Mibet Energy. <https://www.mbt-energy.com/news/industry/2106181.html>
- Mn, H. (2024, Januari 31). *Verkningsgrad solceller: Effekten för solceller i Sverige*. Otovo-bloggen. <https://www.otovo.se/blog/solpaneler-solceller/solceller-sverige-verkningsgrad/>

- Naturskyddsföreningen. (2021, Mars 15). *Vad är albedo?* Naturskyddsföreningen.
<https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/vad-ar-albedo/>
- Ocean Sun. (u.å.-a). *Benefits*. Ocean Sun. Retrieved April 10, 2024, from
<https://oceansun.no/benefits/>
- Ocean Sun. (u.å.-b). *The innovation*. Ocean Sun. <https://oceansun.no/the-innovation/>
- Ocean Sun. (2017a). *Anläggningen belägen i Skaftå*. <https://oceansun.no/project/osteroy/>
- Ocean Sun. (2017b). *Skaftå*. Ocean Sun. <https://oceansun.no/project/osteroy/>
- Ocean Sun. (2018, September). *Kyrholmen*. Ocean Sun. <https://oceansun.no/project/kyrholmen/>
- Ocean Sun. (2018, September). *Anläggningen i Kyrholmen*. Ocean Sun.
<https://oceansun.no/project/kyrholmen/>
- Otterheim, M. (2023, December 20). Flera fördelar med flytande solcellsparker. *Byggkoll*. <https://byggkoll.byggjant.se/artiklar/2023/december/flera-fordelar-med-flytande-solcellsparker/>
- Our World in Data. (2022). *Energy Data Explorer*. Our World in Data. https://ourworldindata.org/explorers/energy?tab=chart&facet=none&country=~OWID_WRL&pickerSort=asc&pickerMetric=entityName&hideControls=false&Total+or+Breakdown=Total&Energy+or+Electricity=Primary+energy&Metric=Annual+consumption
- Our World in Data. (2023, Mars 1). *Installed solar energy capacity*. Our World in Data.
<https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity>
- Penthon. (2017, November 16). *Så fungerar solceller – enkel förklaring*.
<https://www.penthon.com/solceller/hur-fungerar-solceller-en-enkel-forklaring/>

- Pv magazine. (2021, Mars 8). *En tvätt robot av märket TG hylift*. Pv Magazine.
<https://www.pv-magazine.com/2021/03/08/cleaning-robot-for-floating-pv/>
- Q Energy. (2021, September). *Platsen där Les Ilots Blandin är planerad*.
https://qenergy.eu/fileadmin/_processsed_/e/6/csm_Aerial_view_site_ETS_BLANDIN_Sept_2021_copy-right_Romain_Berthiot_4c8253ea39.jpg
- Q Energy. (2023, September 20). *Q ENERGY starts construction of Europe's largest floating solar farm*. qEnergy Europe. <https://qenergy.eu/europe/en/media/detail/q-energy-starts-construction-of-europes-largest-floating-solar-farm-1/>
- REGlobal. (2021, April 29). *Cleaning techniques for floating solar systems*. REGlobal.
<https://reglobal.org/cleaning-techniques-for-floating-solar-systems/>
- Roofit.Solar. (2023, Februari 22). *Why do solar panels degrade?* Roofit.Solar.
<https://roofit.solar/why-do-solar-panels-degrade/>
- Rwe. (1 C.E., Januari 1). *Floating solar systems | RWE*. <https://www.rwe.com/en/research-and-development/solar-energy-projects/floating-solar-systems/>
- Science of Gadgets. (2023, Juli 27). *Visualisering av funktion PN-övergång*.
<https://www.scienceofgadgets.com/post/how-do-solar-panels-work>
- Selamutu, J. (2021, September 21). *Why is Floating Solar Photovoltaic System Gaining Popularity?* Edpr. <https://www.edpr.com/apac/en/why-floating-solar-photovoltaic-system-gaining-popularity>
- Shandong. (2023, Augusti 23). *En del av anläggningen i Dezhou. X*. <https://twitter.com/iShandong/status/1694264683413508467>
- Silalahi, D. F., & Blakers, A. (2023). *Global Atlas of Marine Floating Solar PV Potential*. *Solar*, 3(3), 416–433. <https://doi.org/10.3390/solar3030023>

- SMHI. (2022, Januari 28). *Solstrålning*. SMHI. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/stralning/solstralning-1.4186>
- Solaris Float. (u.å.). *The solution*. Solaris Float. <https://www.solarisfloat.com/the-solution-2/>
- Solarni Paneli. (u.å.). *Tunnfilmssolpanel*. <https://solarnipaneli.energy/sv/hur-effektiva-ar-flexibla-solpaneler/>
- Solkompaniet. (2022, Oktober 10). *Baksidan av tvåsidiga solceller i en solcellspark*. SolKompaniet. <https://solkompaniet.se/kunskapsbank/tvasidiga-moduler-producerar-minst-fyra-procent-mer-2/>
- Solkompaniet. (2023, September 26). *Tvåsidiga moduler producerar minst fyra procent mer*. <https://solkompaniet.se/kunskapsbank/tvasidiga-moduler-producerar-minst-fyra-procent-mer-2/>
- Styrman, A. (2024, Februari 2). *Finland – Geografi och klimat*. <https://www.ui.se/landguiden/lander-och-omraden/europa/finland/geografi-och-klimat/>
- Svarc, J. (2024, Mars 27). *Most efficient solar panels 2024 — Clean Energy Reviews*. Clean Energy Reviews. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- The Science Asylum. (2019, Januari 4). *How do solar panels work? (Physics of solar cells)* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=8RjGHmlOu58>
- Tirone, J. T. (2023, Augusti 3). *Floating solar panels turn old industrial sites into green energy goldmines*. Bloomberg. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-08-03/floating-solar-panels-turn-old-industrial-sites-into-green-energy-goldmines?embedded-checkout=true&leadSource=verify%20wall>

- Trace Software. (2019, December 10). *Floating PV plants: a promising future for solar energy*. Trace Software. <https://www.trace-software.com/floating-pv-plants-a-promising-future-for-solar-energy/>
- Matt Ferrell. (2023, November 7). *How Offshore Solar Could be the Future of Energy* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=4CMk7Sp831Q>
- University Wafer. (2018a, Oktober 1). *Shockley - Queisser gränsen visualiserad*. <https://www.universitywafer.com/what-is-the-shockley-queisser-limit.html>
- University Wafer. (2018b, Oktober 1). *Shockley-Queisser Solar efficiency limits*. University Wafer. <https://www.universitywafer.com/what-is-the-shockley-queisser-limit.html>
- Vattenfall. (2022, Januari 7). *Solkraft*. Vattenfall. <https://www.vattenfall.fi/sv/elav-tal/energikallor/solkraft/>
- Wallnér, E. (2021, Juni 22). *Så går återvinning av solpaneler till*. Solcellskollen. <https://www.solcellskollen.se/blogg/sa-gar-atervinning-av-solpaneler-till>

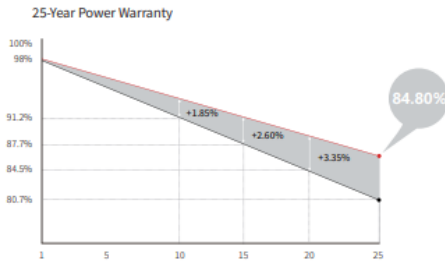
7 Bilagor

Hi-MO 5m

LR5-54HPB 400~420M

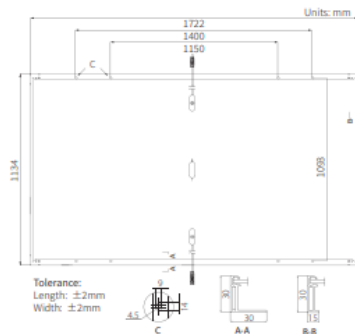
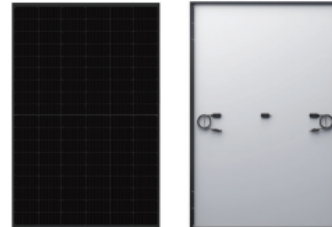
21.5% MAX MODULE EFFICIENCY	0~3% POWER TOLERANCE	<2% FIRST YEAR POWER DEGRADATION	0.55% YEAR 2-25 POWER DEGRADATION	HALF-CELL Lower operating temperature
--	-----------------------------------	--	--	---

Additional Value



Mechanical Parameters

Cell Orientation	108 (6×18)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , 1200mm
Connector	Staubli MC4
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 Characteristics

Module Type	LR5-54HPB-400M		LR5-54HPB-405M		LR5-54HPB-410M		LR5-54HPB-415M		LR5-54HPB-420M	
	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)	36.90	34.70	37.15	34.93	37.40	35.17	37.65	35.40	37.89	35.63
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	13.72	11.09	13.78	11.14	13.84	11.19	13.91	11.24	13.97	11.30
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	30.94	28.74	31.18	28.96	31.42	29.19	31.66	29.41	31.90	29.63
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	12.93	10.40	12.99	10.45	13.05	10.50	13.11	10.55	13.17	10.59
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	DC1000V (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

LONGI

LONGI Green Energy Technology Co Ltd
Suite 17.02, 570 George Street, Sydney NSW 2000
Tel: 1800 328 888
Email: info@longi-solar.com.au
Web: www.longi.com/au

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. LONGI reserves the right of final interpretation. (20220410V15)

Bilaga 1. Datablad över Longi solcell 400-420W Longi, u.å.

