

FFR102 - Inlämning 3

Hållbara energi- och transportsystem - Solceller

Grupp E1

John William Croft	930814	TIELL-2
Andreas Johansson	960813	TIELL-2
Timmy Truong	950130	TIDAL-2

2 maj 2017



1 Effekt och kapacitetsfaktor

- a) Södra Sverige har en total solinstrålning på 1100 kWh/m^2 under ett år. Detta innebär en genomsnittlig solinstrålning på

$$(1100 \text{ kWh/m}^2 / \text{år}) / (24 \text{ h} \cdot 365 \text{ dagar}) = 0,1256 \text{ kW/m}^2 = 125,6 \text{ W/m}^2$$

Eftersom eventuella verkningsgrader antas vara en konstant faktor, oberoende av strålningsintensitet, så kan man direkt beräkna kapacitetsfaktorn genom att ta kvoten mellan den genomsnittliga effekten och märkeffekten (1000 W/m^2):

$$\text{Kapacitetsfaktor} = 125,6 / 1000 = 12,56\%$$

- b) Vi hade en genomsnittlig elförbrukning på ca. 9000 kWh/år (inklusive värme). Kristallina kiselceller (c-Si) har en verkningsgrad (η_{c-Si}) på ungefär $14,6\%$ i kommersiellt tillgängliga paneler. Om man vidare gör antagandet att Göteborg har en solinstrålning på ungefär $1100 \text{ kWh/m}^2 / \text{år}$ så kan man använda följande ekvation för att beräkna den totala arean som behövs för att täcka elbehoven:

$$\text{Area} = \frac{9000}{1100 \cdot 0,146} = 56,04 \text{ m}^2$$

- c) Märkeffekten av en c-Si solcell är den effekt som erhålls när den belyses med $1000 \text{ W}_{sol}/\text{m}^2$, och beror på verkningsgraden η_{c-Si} .

Märkeffekten kan således beräknas till 146 W/m^2 . I förra uppgifter beräknades man behöva ca. $56,04 \text{ m}^2$ för att täcka elbehoven. Kapaciteten av denna anläggning skulle vara den effekt som produceras om alla solcellerna producerar märkeffekten.

$$\text{Kapacitet} = 56,04 \text{ m}^2 \cdot 146 \text{ W/m}^2 = 8,18 \text{ kW}$$

- d) Vid tillverkning av solceller krävs det en viss mängd energi, vilket gör att solceller har en 'break-even'-punkt där de har genererat lika mycket energi som det förbrukades för att tillverka dem. Antalet år till 'break-even' kan beräknas på följande sätt:

$$\text{År till 'break-even'} = \frac{\text{Tillverkningsenergi} [\text{kWh/m}^2]}{\text{Solinstrålning} [\text{kWh/m}^2 / \text{år}] \cdot \eta_{c-Si}}$$

Förutsatt att solcellerna står i södra Europa (med en solinstrålning på ca. $1860 \text{ kWh/m}^2 / \text{år}$) så kan 'break-even' punkten för de olika typerna av solceller beräknas. Resultaten visas i Tabell 1.

Tabell 1: Olika typer av solcellsteknik med tillhörande energiåtgång vid tillverkning, verkningsgrad samt antalet år att uppnå 'break-even'.

Solcell	Tillverkningsenergi (kWh)	Verkningsgraden η (%)	Tid (år)
c-Si	700	14.6	2.578
CdTe	170	10.0	0.914
CIGS	360	10.6	1.826
a-Si	220	6.4	1.848

2 Effekttäthet

a) Sverige, Södra Europa och centrala Sahara har enligt programmet 'Meteonorm 7' solstrålningsintensiteter på ca. $1100\text{kWh}/\text{m}^2/\text{år}$, $1840\text{kWh}/\text{m}^2/\text{år}$ respektive $2380\text{kWh}/\text{m}^2/\text{år}$.

'Effekttätheten' [W/m^2] för solceller är den effekt som kan produceras per kvadratmeter när man tar hänsyn till olika förlustfaktorer samt den beräknade livslängden. De huvudsakliga effektförlusterna för solceller är:

- verkningsgraden η_{c-Si} , vilket beror på solcellstypen.
- outnyttjad markyta (t.ex. till vägar och annan utrustning), vilket antas ligga på ca. 20%.
- omvandling till växelström samt transport av elen, vilket bidrar med en effektförlust på ca. 30%.
- energin som förbrukas under tillverkning av solcellen.

De två förlustfaktorerna ovan kan slås ihop till en gemensam förlustfaktor på $(1 - 0,2) \cdot (1 - 0,3) = 0,56$. Effekttätheten för solceller med en bestämd livslängd kan därmed uttryckas med följande ekvation: 

$$\text{Effekttäthet}[\text{W}/\text{m}^2] = \frac{(\text{Solstrålningsintensitet} \cdot \eta_{c-Si} \cdot \text{Livslängd} \cdot \text{Förlustfaktor}) - \text{Tillverkningsenergin}}{\text{Livslängd uttryckt i antal timmar}}$$

Effekttätheten för c-Si solceller med en livslängd på 25 år kunde sedan beräknas för varje geografisk plats och resultaten visas i tabell 2.

Tabell 2: Effekttätheter för c-Si solceller i olika geografiska platser.

Plats	Effekttäthet [W/m^2]
Sverige	7,07
Södra Europa	13,98
Sahara	19,02

b) Sveriges elbehov ligger på ungefär $130\text{ TWh}/\text{år}$ vilket kan omvandlas till $1,484 \cdot 10^{10}\text{W}$. Om man sedan delar detta med effekttätheten för en c-Si solcell i södra Sverige så får man en total yta på ca. 2099 km^2 som skulle behövas, vilket är ca. 0,47 % av Sveriges totala yta.

3 Ekonomisk Potential

- a) Enligt den angivna formeln så bestämdes *investeringskostnaden* till 23000 [SEK/kW], *annuitetsfaktorn* till 0,0897 och eventuella kostnader för *drift och underhåll* samt *bränslekostnad* försumrades. Kostnaden för en potentiell solcellskraftverk kunde således bestämmas till 1,875 [SEK/kWh].

Vår genomsnittliga elkostnad som den är idag ligger enligt elräkningar på ca. 0,30 [SEK/kWh], vilket är 16% av den beräknade kostnaden för el producerad av ett solcellskraftverk.

- b) Enligt formeln för elkostnad kunde elkostnaden för ett typiskt kolkraftverk beräknas till 0,567 SEK/kWh. Detta ger en skillnad i elkostnad mellan ett solkraftsverk och ett kolkraftsverk på 1,308 SEK/kWh.

 1g kol bildar ungefär 3,67g CO_2 och förbränning av kol släpper därför ut ca. 91,75g CO_2 /Mj, eller 330,3g CO_2 /kWh. Om man då tar prisskillnaden delat med utsläppen så får man en summa på 3960 SEK/ton CO_2 . Detta är det minsta som en ton CO_2 måste kosta för att solkraften skall var minst lika billigt.

- c) Kostnaden för att producera el från solkraft visade sig vara betydligt högre än kolkraft. En *feed-in tariff* policy skulle dock  kunna kompensera för detta och göra solkraft mer konkurrerskraftigt jämfört med andra elproduktionstekniker. Detta skulle innebära att elpriset håller sig ganska konstant oavsett hur elen genereras.

Om denna policy inte finns så skulle solkraft genast bli mycket dyrare för konsumenten än andra energityper. Om hela 40% av den efterfrågade el-energin kom från solkraft så skulle det genomsnittliga elpriset höjas ganska väsentligt.

4 Begränsningar

- a) Efterfrågan av el beräknas att tredubblas på planeten vid år 2050, som förväntas att bli ca 60 PWh/år. Vid antagande av att solceller ska uppfylla 25% av världens energi behövs 15 PWh från solceller årligen.

Solcellstyperna delas upp i 40% c-Si, 20% CdTe, 20% a-Si och 20% CIGS vilket ger 6 PWh för c-Si och 3 PWh för dem resterande att producera.

Tabell 3: Förväntad verkningsgrad för varje solcellstyp år 2050, och den totala effekten de måste producera för att nå 25% av jordens energibehov.

Solcell	Pessimistisk η (%)	Optimistisk η (%)	Effekt [PWh]
c-Si	20	25	6
CdTe	15	16.7	3
a-Si	10.5	12.6	3
CIGS	13.8	19.4	3

Då solcellernas totala areor skall vara lika stora i vardera region, så kommer den genererade effekten att vara ojämnt fördelat, med större delen i regionen närmare ekvatorn. För att räkna ut respektive regions effektutveckling behövs en effektdelning. Landet med sämre förhållanden skall producera 31.6% av effekten och i landet med mer passande förhållanden skall producera 68.4% av effekten.

$$\text{Area}[km^2] = \frac{\eta \cdot 2380 \cdot 0.684 + \eta \cdot 1100 \cdot 0.316}{10^6}$$

Tabell 4: Landsytan som krävs beroende på en optimistisk kontra pessimistisk utveckling av verkningsgraden för de olika solcellstyperna.

Solcell	Optimistisk (km^2)	Pessimistisk (km^2)
c-Si	13792.11	17240
CdTe	10323.37	11493.59
a-Si	13682.56	16419.41
CIGS	8886.61	12492.77
A_{tot}	57644	46684

Dessa uträknade areor speglar dock inte verkligheten då det behövs vägar mellan panelerna samt transporten av el och omvandling leder till en minskning i totala förbrukbara effekten. Vi räknar med att 20% av en eventuell anläggnings area används till vägar samt en förlust på 30% på omvandling/transport av el.

Detta ger slutligen de optimistiska och pessimistiska areorna, 83365 km^2 respektive 102935 km^2 . Om man skall sätta dessa siffror i perspektiv till verkliga areor, så har Sverige en total area på 447435 km^2 , vilket innebär att dessa paneler skulle ta upp 18,6% respektive 23,0% av Sveriges totala area.

- b) 25% av den totala elektricitetstillförseln år 2050 skulle motsvara 15PWh. Om man antar en linjär utbyggnad i solkraftskapacitet sedan 2013, där det låg på ca. 140GWh, så kan man beräkna hur mycket tillväxt som krävs årligen för att möta målet på följande sätt:

$$\frac{15\text{PWh} - 140\text{GWh}}{2050 - 2013} = 405\text{TWh/år}$$





5 Sammanfattning – för och nackdelar av de olika konkurrerande teknologierna

Energislag	Fördelar	Nackdelar
Solkraft	• Inga bränslekostnader samt att solen har potentialen att försörja världens energibehov 10000 ggr. om. • Solceller är modulära. • Inga växtgasutsläpp. • Har högst 'energisdensitet' av alla förnybara energislag. • Stor utvecklingspotential i framtiden.	• Intermittent/producerad effekt beror på väderförhållande, tid på dygnet, säsong samt geografisk position. • Hög investeringskostnad vilket bidrar till förhållandevis hög elkostnad. • Vissa solcellstekniker (CdTe och CIGS) använder dyra, sällsynta metaller som även är miljögiftiga.
Bioenergi	• I kombination med <i>Carbon Capture & Storage</i> kan medföra negativa växtgasutsläpp. Kan annars betraktas som kolneutral. • Kan använda restprodukter från andra industriella processer som bränsle. • Lagringsbar energi.	• Mycket arealkrävande, tränger undan befintlig jordbruk och kan bidra till avskogning. • Eventuell odlad biomassa måste anpassas efter lokala klimatet, vilket kan påverka den slutgiltiga verkningsgraden. • Måste omvandlas i flera led (jämfört med andra energislag som genererar el direkt) innan det kan förbrukas.
Vindkraft	• Förhållandevis låg elkostnad. • Förhållandevis snabb 'energiåterbetalning'. • Inga växtgasutsläpp.	• Skapar buller och ändrar landskapsbilden. • Intermittent/producerad effekt beror på väderförhållanden.
Kärnkraft	• Överlägsen energitäthet, kraven på yta är försumbar. • Inga växtgasutsläpp. • Förhållandevis låg elkostnad.	• Dyrt att hantera avfall. Finns risk för radioaktiv utsläpp i naturen. • Vanskötsel kan ha katastrofala konsekvenser. • Beroende av bränsle som är icke-förnybart och kommer att ta slut. • Varje ny kärnkraftsanläggning kräver än förhållandevis hög investeringskostnad jämfört med kraftverk som använder fossila bränslen.