

Solel och klimatpåverkan

Användning av solcellsanläggningar, liksom all annan förnybar elproduktion, ger stora minskningar av utsläpp av koldioxid i atmosfären jämfört med elproduktion baserad på fossila bränslen.

Den svenska elproduktionsmixens koldioxidutsläpp är försumbara i ett internationellt perspektiv då den svenska elproduktionen till 99 procent är fossilfri. Men Sverige är en del av den välintegrerade nordiska elmarknaden vars totala elproduktionsmix har cirka tio gånger högre koldioxidutsläpp än den svenska. Det svenska elsystemet blir också allt mer ihopkopplat med elsystemen på den europeiska kontinenten, med väsentligt högre koldioxidutsläpp än de nordiska.

Ur ett nordiskt perspektiv ger installation av solcellsanläggningar i Sverige minskade utsläpp av koldioxid i atmosfären. Jämfört med den svenska elproduktionsmixens utsläpp blir klimatpåverkan från solcellsanläggningar i Sverige försumbar.

Klimatavtrycket från elproduktion

I världen som helhet svarar elproduktionen för en stor del av vår klimatpåverkan eftersom den i mycket hög grad är baserad på fossila bränslen (kol, olja, naturgas) som generar koldioxid (CO₂) vid förbränning. Det leder till att halten av koldioxid ökar i atmosfären vilket påverkar klimatet.

Elproduktion baserad på fossila bränslen genererar från omkring **500 g CO₂/kWh** (naturgas) [1] till upp **1 000 g CO₂/kWh** (kolkondens) [2]. Den svenska elproduktionen är baserad på kärnkraft, vattenkraft, vindkraft, biokraft (rena biobränslen och avfall med hög andel biobränsle) och lite solkraft. Alla dessa energislag ger låga emissioner av koldioxid och den svenska elproduktionen bidrar därför i väldigt liten grad till koldioxidhalten i atmosfären. Enligt Energiföretagen var det under 2014 **13 g CO₂/kWh** [3].

Men då vi har en gemensam elmarknad i Norden med stor överföringskapacitet mellan länderna är det praxis att jämföra med den nordiska elmixen. På uppdrag av Energimyndigheten publicerade Svenska Miljöinstitutet IVL 2012 en stor genomgång och kom fram till att om hänsyn tas till import och export av el till länder utanför den nordiska elmarknaden var den genomsnittliga emissionsfaktorn för den nordiska elmixen **125 g CO₂/kWh** [4]. Sedan 2012 har det nordiska elsystemet utvecklats och mer förnybar elproduktion har installerats, vilket gör att koldioxidutsläppen är lägre. Siffror på 60 g CO₂/kWh figurerar på olika håll, men någon större genomgång har inte gjorts de senaste åren.

Värt att nämna i sammanhanget är att elbolagen ska använda den nordiska residualmixen när de kommunicerar klimatpåverkan från den el som inte är

ursprungsmärkt. Klimatpåverkan från residualmixen, vilken enligt EI var 329 g CO₂/kWh 2017 [5], beräknas på den el som återstår då vi räknat bort el med ursprungsgarantier som exporterats.

Klimatavtrycket från solceller i Sverige

En viktig aspekt att ha i åtanke när klimatavtrycket för solceller diskuteras är att en solcellsanläggning inte släpper ut några direkta koldioxidutsläpp när anläggningen är färdiginstallerad och producerar el. Solelens utsläpp av växthusgaser sker indirekt vid tillverkning av komponenterna i solcellsanläggningar. Den absoluta majoriteten av en solcells klimatavtryck kommer från den el som används vid tillverkning av solcellerna och modulen. I Kina, där majoriteten av alla solcellsmoduler tillverkas, används mycket kol i kraftverken. I traditionella livscykelanalyser inkluderas därmed utsläppen från kolkraftverken i solcellernas klimatavtryck. Detta är såklart rimligt att ta hänsyn till i diskussionen men det ger också en felaktig bild av potentialen för tekniken eftersom det innebär att man tillskriver solceller växthusgasutsläppen hos de energikällor de är tänkta att ersätta.

I en vetenskaplig artikel publicerad i Nature Communications [6] uppskattas de genomsnittliga utsläppen för solceller i världen 2016 till mellan 20 och 25 g CO₂/kWh, baserat på en solinstrålning på 1 700 kWh/m² och år och att tillverkningen i huvudsak sker i Kina. Då vi har något mindre solinstrålning i Sverige ger en solcellsmodul motsvarande mindre elproduktion i Sverige. En modul vänd mot syd, i 30 graders lutning, i Stockholmsregionen får en solinstrålning på sig motsvarande cirka 1 150–1 200 kWh/m² och år. En förenklad omräkning ger då genomsnittsutsläpp för solceller i Sverige mellan **28 och 35 g CO₂/kWh**.

$(1\ 700/1\ 200) * 20 = 28$ g CO₂/kWh för multikristallina solceller, och
 $(1\ 700/1\ 200) * 25 = 35$ g CO₂/kWh för monokristallina.

I artikeln skriver författarna att det totala energibehovet för att tillverka ett solcellssystem i form av primärenergi i dag är cirka 15 MJ/W_p [6]. Räknar vi om det till behovet av elektrisk energi blir det 1,3 kWh/W_p. Stoppar vi in klimatutsläppen för den kinesiska elmixen på cirka 900 g CO₂/kWh, samt den förväntade produktionen från ett solcellssystem i Sverige under en antagen livstid på 30 år, resulterar det i **30–40 g CO₂/kWh**.

De ovan framtagna värdena för en solcellsanläggning i Sverige, där modulerna kommer från Kina, är i paritet med det värde på **28 g CO₂/kWh** som Vattenfall beräknat och redovisar på sin hemsida [7].

Ungefär 60 procent av den energi som går åt att tillverka en solcellsmodul går åt i processerna för att framställa rent kisel, medan resterande 40 procent går åt vid tillverkning av cellerna och modulerna [8]. Men majoriteten, cirka 65 procent av kiselframställningen i världen sker utanför Kina i länder som

Tyskland, USA, Sydkorea och Japan. Vidare har majoriteten av solcellsmodulerna som installeras i Sverige i dag inte tillverkats i Kina. Preliminära siffror (som kommer publiceras i den årliga IEA-PVPS-rapporten om den svenska solcellsmarknaden) visar att endast cirka elva procent av modulerna som installerades i Sverige under 2017 tillverkats i Kina. Resten kom från Vietnam (22 procent), Thailand (17 procent), Malaysia (12 procent) Tyskland (10 procent), Sydkorea (8 procent), Taiwan (4 procent), och så vidare.

Alla länderna som nämns ovan, både när det gäller framställning av kisel och tillverkningen av de moduler som installeras i Sverige, har lägre koldioxidutsläpp från sin elmix än Kina eftersom de har en högre andel förnybar elproduktion eller kärnkraft. Bara för att visa hur stor inverkan ursprungselens klimatavtryck har för beräkningarna kan nämnas att om vi använder vattenkraftsel med ett klimatavtryck på 10 g CO₂/kWh [7] för tillverkningen av kisel och solcellsmoduler får soleden ett klimatavtryck på under 10 g CO₂/kWh. Således ger soled producerad av moduler från dessa länder lägre koldioxidutsläpp än de runt 30 g CO₂/kWh som ovan nämnda källor anger.

Ytterligare en aspekt på det här temat är att de flesta modulfabrikerna har solceller på sina tak. När elen som används vid tillverkningen kommer från elnätet, och det saknas system motsvarande vårt ursprungsgarantisystem, vet vi inte elens ursprung. Då är det praxis att räkna med landets eller regionens elmix i livscykelanalyser men i fallet med modultillverkning vet vi att elen som produceras i solcellsanläggningar på fabrikernas tak går till att täcka en del av fabrikernas elbehov. Förutom att tillverkningen som förses Sverige med moduler sker i länder med renare elmix än Kinas bör vi alltså också ha i åtanke att en inte försumbar andel av den el som används i tillverkningen kommer från egenproducerad soled med ett ungefärligt klimatavtryck på 20–25 g CO₂/kWh. Det är väsentligt lägre än de cirka 900 g CO₂/kWh för Kinas elmix som använts för att få fram värdena på runt 30 g CO₂/kWh för svensk soled.

Sammanfattningsvis finns det inte tillräckligt med underlag för att exakt säga vilket klimatavtryck soled i Sverige har i dag. Det beror på i vilket land som modulerna har tillverkats i och hur stor solcellsanläggning tillverkande fabriker har på taket **men tar vi hänsyn till dessa två aspekter är det troligt att det i dag ligger under 20 g CO₂/kWh.**

Lägre överföringsförluster med soled

Så långt har diskussionen följt de standardiserade metoder som livscykelanalyser är uppbyggda kring. Dock har soleden en egenskap som gör den unik inom kraftsystemet. Majoriteten av den soled som produceras i Sverige konsumeras i samma byggnad som den produceras. Vanliga livscykelanalyser ser bara till utsläppen associerade med själva produktionen av el. Men det som egentligen är det viktigaste är vilket

klimatavtryck slutanvändningen av elen har. Därför finns det fog att ta med förlusterna i elnätet i diskussionen om klimatnyttan med sol.

Under 2015 uppgick nätförlusterna i Sverige till 9,4 TWh, motsvarande 6,9 procent av den totala elanvändningen, enligt Energiföretagen [3]. För ett solcellssystem monterat på ett tak och där elen används i fastigheten uppskattas förlusterna till cirka en–tre procent i kablarna. Denna aspekt försvinner helt i traditionella livscykelanalyser, som görs endast för själva produktionen av el. Tidigare har denna aspekt varit ointressant eftersom i stort sett all elproduktion behövt elnätet för att transportera elen ut till slutkunderna. Men egenkonsumtion av lokalt producerad el är en ny unik företeelse i det svenska energisystemet, vilket en jämförelse mellan livscykelanalyser för olika energislag inte tar hänsyn till.

Teknikutveckling minskar soleleens klimatavtryck

Solcellstekniken utvecklas väldigt snabbt och det sker ständigt nya förbättringar både när det gäller verkningsgrad samt material och energiåtgång i de olika tillverkningsprocesserna. Till exempel har materialåtgången i solcellsmoduler kunnat minskas väsentligt. I vanliga kiselmoduler har den totala modulvikten gått från cirka 100 g/W till cirka 60 g/W under de senaste tio åren, alltså minskning med hela 40 procent [9]. Denna typ av teknisk utveckling ger såklart betydligt lägre klimat- och miljöpåverkan i slutändan. En lägre modulvikt per effekt ger lägre utsläpp i alla de tre stegen; materialutvinning, energiåtgång vid tillverkning och transport. Hittills har den pågående teknikutvecklingen bidragit till att för varje gång volymen tillverkade moduler dubblerats har energiåtgången vid tillverkningen av komponenterna i ett solcellssystem minskat med drygt tolv procent, samt växthusgasutsläppen med 17 och 24 procent för multikristallina respektive monokristallina moduler [6].

Solelproduktionen i Sverige leder till lägre utsläpp

Låt oss utifrån diskussionen i tidigare avsnitt och anta att svensk elproduktion genererar 13 g CO₂/kWh [3]. Låt oss sen anta att solceller genererar 20 g CO₂/kWh i dag och 10 g CO₂/kWh i framtiden, för att kunna visa hur det påverkar avtrycket från den svenska elproduktionen.

I dag är andelen sol i Sverige runt 0,2 procent, det vill säga försumbar. Men om vi antar att den uppgår till en procent om något år, och ingen teknikutveckling eller förändring av elmixen i varken Sverige eller tillverkningsländerna skulle ske till dess, skulle den svenska elproduktionen generera:

$$0,99 \times 13 + 0,01 \times 20 = 12,9 + 0,2 = \mathbf{13,1 \text{ g CO}_2/\text{kWh om något år.}}$$

Om vi sedan ponerar att andelen solel kommer att öka till tio procent fram till exempelvis 2040, samt att en fortsatt teknikutveckling och ökning av förnybar elproduktion i tillverkningsländerna, skulle vår elproduktion generera:

$$0,90 \times 13 + 0,10 \times 10 = 11,7 + 1,0 = \mathbf{12,7 \text{ g CO}_2/\text{kWh i framtiden.}}$$

Sammanfattningsvis ger en användning av solceller för elproduktion i Sverige försumbara förändringar av utsläppen av koldioxid i atmosfären om man jämför med den svenska elproduktionsmixen som inte innehåller några fossila energislager.

Det är trots allt praxis att använda den nordiska elmixen som har en klimatpåverkan på någonstans mellan 60 och 125 g CO₂/kWh i olika jämförelser. Då bidrar solel i Sverige till att minska utsläppen. Och detta oavsett om vi antar att solcellerna eller solcellsmodulerna tillverkats i Kina (cirka 30 g CO₂/kWh), eller att majoriteten av tillverkningen skett i andra länder än Kina och att en icke försumbar andel solel använts vid tillverkningen (uppskattningsvis under 20 g CO₂/kWh).

Diskussion

Antaganden om den elproduktion som används vid framställning av kisel och tillverkning av solceller och moduler har stor betydelse när man bestämmer solcellernas klimatavtryck. Vi har därför tagit hänsyn till att majoriteten av solcellsmodulerna som installeras i Sverige tillverkas i länder med renare el än Kinas och att en icke försumbar andel solet använts vid tillverkningen. Vi tycker dessutom att det bör tas hänsyn till att egenkonsumerad solet minskar förlusterna i elnätet.

Sammantaget menar vi då att solceller som installeras i Sverige i dag ger ett klimatavtryck under 20 g CO₂/kWh, vilket har en marginell betydelse för den svenska elproduktionens nära försumbara klimatavtryck. Utvidgar vi systemgränsen till den nordiska elproduktionsmixen (60–125 g CO₂/kWh) leder installation av solceller i Sverige till en minskning av den nordiska elproduktionens klimatavtryck.

Vi anser också att det är viktigt att lyfta fram den utveckling som sker. Det sker fortfarande en relativt snabb teknikutveckling som stadigt minskar koldioxidavtrycket för nya solcellsmoduler. Och eftersom andelen förnybar el dessutom ökar i flertalet länder som tillverkar solceller leder det till ett minskat klimatavtryck för nästa tillverkade modul.

Dessutom finns redan nu tekniken att återvinna 96 procent av materialen i en kiselmodul [10]. Om 25 till 30 år kan vi tillverka nya solcellsmoduler med högre prestanda från materialen i dagens moduler [9].

Sammantaget menar vi då att solceller som installeras i Sverige i en inte alltför avlägsen framtid ger ett klimatavtryck under 10 g CO₂/kWh.

Breddas diskussionen, från bara klimatpåverkan till att inkludera även annan miljöpåverkan, har solceller som byggs på redan befintliga byggnader flera miljömässiga fördelar jämfört med annan elproduktion. En sådan utbyggnad i Sverige leder inte till att naturvärden förstörs. Den är ljudlös och den inverkar inte på skog, vattendrag, djur- och fågelliv. Den leder inte heller till ett behov att lagra restprodukter, i form av till exempel radioaktivt avfall, under väldigt lång tid.

Referenser

- [1] G. A. Heath, P. O. Donoughue, D. J. Arent, and M. Bazilian, "Harmonization of initial estimates of shale gas life cycle greenhouse gas emissions for electric power generation," *PNAS*, 2014.
- [2] M. Whitaker, G. A. Heath, P. O. Donoughue, and M. Vorum, "Life cycle greenhouse gas emissions of coal-fired electricity generation systematic review and harmonization," *J. Ind. Ecol.*, vol. 16, 2012.
- [3] Svensk Energi, "Elåret 2015," Stockholm, 2016.
- [4] F. Martinsson, J. Gode, J. Arnell, and J. Höglund, "Emissionsfaktor för nordisk elproduktionsmix," 2012.
- [5] Energimarknadsinspektionen, "Ursprungsmärkning av el." [Online]. Available: <https://www.ei.se/sv/for-energiforetag/el/ursprungsmarkning-av-el/>. [Accessed: 15-Jun-2018].
- [6] A. Louwen, W. van Sark, A. Faaij, and R. Schropp, "Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development," *Nat. Commun.*, vol. 7, p. 13728, 2016.
- [7] Vattenfall, "Elens ursprung och miljöpåverkan." [Online]. Available: <https://www.vattenfall.se/elavtal/energikallor/elens-ursprung/>. [Accessed: 29-May-2018].
- [8] W. Luo, Y. S. Khoo, A. Kumar, J. S. C. Low, Y. Li, Y. S. Tan, Y. Wang, A. G. Aberle, and S. Ramakrishna, "A comparative life-cycle assessment of photovoltaic electricity generation in Singapore by multicrystalline silicon technologies," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 174, no. August 2017, pp. 157–162, 2018.
- [9] S. Weckend, A. Wade, and G. Heath, "End-of-life management: Solar photovoltaic panels," 2016.
- [10] PV Cycle, "Breakthrough in PV module recycling," 2016. [Online]. Available: <http://www.pvcycle.org/press/breakthrough-in-pv-module-recycling/>. [Accessed: 13-Oct-2016].