



Solceller i lantbruket och de gröna näringarna

- Möjligheter och intressanta tillämpningar

Sven Nimmermark

Biosystem och Teknologi, SLU, Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:23

ISBN 978-91-87117-84-8

Alnarp 2014

Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap
Rapportserie
Rapport 2014:23

Svensk titel:

Solceller i lantbruket och de gröna näringarna – Möjligheter och intressanta tillämpningar

Engelsk titel:

Solar panels in agriculture and the green sector – *Possibilities and interesting applications*

Författare:

Sven Nimmermark, Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Institutionen för Biosystem och Teknologi,
Box 103, SE-230 53, Alnarp

ISBN 978-91-87117-84-8

Omslag - Foton: Sven Nimmermark



LANDSKAPSARKITEKTUR
TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP
Rapportserie

Solceller i lantbruket och de gröna näringarna

- Möjligheter och intressanta tillämpningar

Sven Nimmermark

Biosystem och Teknologi, SLU, Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Rapport 2014:23

ISBN 978-91-87117-84-8

Alnarp 2014

FÖRORD

Alternativa energikällor blir alltmer intressanta med tanke på utsläpp av klimatgaser och klimatmässiga nackdelar för traditionella energikällor. En bidragande faktor till intresset är teknisk utveckling och en förändrad prisbild. Solceller har en stor potential i framtiden då verkningsgraden ständigt förbättras och priserna på anläggningarna sjunker. Redan idag byggs det en hel del anläggningar med solceller på svenska lantbruk med relativt goda ekonomiska förutsättningar. På ett lantbruk eller i andra företag inom den gröna näringen, exempelvis ett företag med växthusproduktion, kan det produceras energi för egen förbrukning, men också för försäljning. Lantbrukssektorn har en stor potential som energiproducent av bl.a. förnybara bränslen och drivmedel. Även el från solceller kan i framtiden bli en viktig inkomstkälla för lantbruket och landsbygden. Ett argument som ibland förs fram för etablering av solenergi på lantbruk är tillgången på stora takytor.

I projektet som utgör en förstudie inom området presenteras förutsättningarna för solceller i den gröna sektorn och det görs en inventering av befintlig teknik och intressanta applikationer som kan användas för etablering av anläggningar med solceller på landsbygdsföretag.

Projektet har finansierats av SLF, Stiftelsen Lantbruksforskning.

Ett stort tack för att möjligheter getts för genomförande av studien.

November 2014

Sven Nimmermark

Docent, Tekn. Dr., Forskare,
SLU, inst. för Biosystem och Teknologi, Alnarp

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	6
SUMMARY	7
INLEDNING	8
Solceller och solfångare	9
SOLCELLER – TYPER, TOPPEFFEKT OCH VERKNINGSGRAD	10
Typer av solceller	10
Kristallina solceller/kiselsolceller – hur fungerar solceller	10
Tunntilmssolceller – amorfa solceller	11
Grätzel-solceller - färgsensibiliserade solceller.....	11
Toppeffekt.....	11
Verkningsgrad	12
Temperatur	12
Damm.....	13
Snö	13
Livslängd.....	13
Ammoniak.....	13
Nätanslutna eller fristående system	14
EXEMPEL PÅ SOLCELLER I OFFENTLIG MILJÖ	15
SOLCELLER MONTERADE OVANPÅ BEFINTLIGA TAK	16
BYGGNADSINTEGRERADE SOLCELLER	16
KONCENTRERANDE SYSTEM	17
SOLFÖLJARE	18
ÅRLIGT ENERGIUTBYTE	18
Producerad mängd energi beräknad utifrån toppeffekt	19
Producerad mängd energi beräknad utifrån verkningsgrad.....	19
Årlig solinstrålning mot solcellsanläggningen.....	20
UTNYTTJANDE AV SOLENERGI I LANTBRUKET OCH DE GRÖNA NÄRINGARNA	22

Solvärme i de gröna näringarna	22
SOLCELLER I LANTBRUKET OCH DE GRÖNA NÄRINGARNA.....	22
Nätanslutna solcellsanläggningar och andra tillämpningar	23
Solceller på mjölkgårdar	23
Solceller på mjölkgårdar i Schweiz.....	24
Kombination av solceller och plan solfångare för torkning	24
Energiförbrukning under dygnet och året	25
Byggnadsintegrerade solceller för lägre temperatur i djurstallet	26
Fristående solcellssystem för djurhållning.....	27
Vatten till djur	27
Koncentratutfodring till mjölkkor	27
Stängsel för djur	28
Begränsning av mängden hästflugor	28
Solceller i växthussammanhang.....	28
Takintegrerade solceller	28
Koncentrerande solceller i växthus.....	29
Tillämpningar i vattenbruk och vattenmiljö – solcellsdrivna båtar	30
Vattenkontroll och bekämpning av biologiska skadegörare	30
Bekämpning av fågelangrepp på odlad fisk	30
Skörd av vattenväxter	31
Solcellsdriven bevattning i jordbruk och hortikultur	31
Solceller för täckning av vattenreservoar och pumpning av vatten	31
Solceller för batteriladdning och mindre motorer.....	31
EKONOMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLCELLER	32
Ekonomi styr investeringen också för solceller i lantbruket.....	32
Investeringskostnad	32
Lönsamhet.....	32
SAMMANFATTANDE SLUTSATSER	34
REFERENSER	36

SAMMANFATTNING

Solceller är ett mycket miljövänligt sätt att producera el på och intresset för solceller har på senare år ökat i lantbruket och den gröna näringen. Den typ av solceller som för närvarande är vanligast på marknaden är kristallina solceller och dessa har ofta en verkningsgrad på 15-17%, medan de på marknaden förekommande tunnfilmssolcellerna oftast har en verkningsgrad på upp till ca 14%. Solceller som monteras ovanpå ett befintligt tak och ansluts till elnätet är den vanligaste utformningen av solcellsanläggningar också i lantbruket. Byggnadsintegrerade solcells-anläggningar som t.ex. ersätter det befintliga takets funktion som väderskydd kan vara intressanta t.ex. i fall då man på en lantbruksbyggnad har ett befintligt tak som måste bytas ut. Solcellsanläggningar med solföljare monterade på stativ och som riktar in solpanelen optimalt mot solen under varje tidpunkt kan också vara intressanta bl.a. då elproduktionen per ytenhet räknat blir något bättre än för fast monterade solpaneler.

Hög temperatur hos solpanelen minskar verkningsgraden och det är därför viktigt att se till att det finns ventilation runt panelerna, t.ex. genom att montera solcellspaneler på distans över ett befintligt yttertak. Damm är i regel inget problem för solceller då regn och vindar i de flesta fall håller dem rena. Minskningen av producerad el p.g.a. att snö ansamlas på solpanelerna är oftast liten i södra Sverige

Ammoniak kan orsaka skada på en del solpaneler och om dessa är tänkta på lantbruk med djurhållning bör säljaren bör kunna presentera dokumentation över att de tänkta solcellerna blivit godkända i tester avseende ammoniakbeständighet.

Nätanslutna solcellsanläggningar är den intressantaste och vanligaste tillämpningen i lantbruket. Elen som produceras av solcellerna kan då användas på gårdens alla förbrukningsställen, t.ex. på en mjölkgård och el kan säljas och köpas efter behov. Även växthusanläggningar kan förses med solpaneler och forskning avseende avancerade koncentrerande solcellsanläggningar för växthus görs i Nederländerna.

Fristående system där solcellerna inte är anslutna till elnätet kan vara intressanta i vissa fall, t.ex. då det finns behov av el på platser långt ifrån det fasta nätet. El som produceras lagras då i batterier för användning vid behov. Exempel på sådana användningar av solceller som studerats är: Pumpning av vatten till djur på bete, koncentratutfodring av djur utomhus, elstängsel, bekämpning av hästflugor, bevattning och täckning av vattenreservoarer, samt självkörande solcellsdrivna båtar i vattenbruk för t.ex. vattenkontroll och för att skrämma bort fåglar som äter av den odlade fisken.

Trots att personer som arbetar på lantbruk och i den gröna näringen oftast är miljömedvetna och tänker på kommande generationer faller ekonomin ändå till sist det slutliga avgörandet för en investering i en solcellsanläggning. För konventionella takmonterade och nätanslutna solcellsanläggningar har priserna på senare år sjunkit rejält, vilket ökat möjligheterna att göra en ekonomiskt lönsam investering i solceller.

SUMMARY

Using solar panels to produce electricity is a very environmental friendly way of producing electric power and the interest for solar panels has during the latest years been increasing. The type of photovoltaic cells being most common on the market today is crystalline cells with an efficiency of 15-17%, while thin film solar cells on the market often have efficiency below 14%. Also in agriculture, solar panels mounted above an existing roof and being connected to the electric power grid is the most common design used. Building integrated solar cells, replacing the function of weather protection for an ordinary roof can be interesting in cases when an agricultural building has a roof needed to be exchanged. Also solar trackers mounted on frame works and orientating the panel towards the sun at any time, can be interesting since they produce somewhat more electricity per unit area than conventional solar panels firmly mounted on roofs do.

High solar panel temperatures decrease the efficiency, and thus it is important to provide ventilation possibilities for the panels, e.g. by mounting them at a distance above an existing roof. Mostly, dust is not an issue for solar panels since rain and wind will keep them clean. The decrease of power production due to snow accumulating on solar panels is often small in the southern part of Sweden.

Ammonia may cause harm to some solar panels and if these are to be mounted on farms with animals, the seller should be able to present approval of their durability in tests regarding ammonia exposure.

Grid connected solar panel arrays is the most interesting and common application in agriculture. The electric power produced by the photovoltaics can then be used at all places on the farm, e.g. on a dairy farm, and electricity can be sold and bought according to the demand. Also greenhouse facilities can be equipped with solar panels and research regarding advanced devices concentrating the sun light to strips of solar panels in greenhouses is being performed in the Netherlands.

Non grid connected solar power systems can be of interest in certain cases, e.g. when there is a need for electric power at places far from the grid. Electricity produced is then stored in batteries for use when there is a demand. Examples of such non grid connected solar power use which has been studied in the green sector are: Pumping of water to livestock on pasture, concentrate feeding to cattle on feedlots, electric fences, killing horse flies, irrigation and solar panel covered water reservoirs, and use of autonomous solar powered boats in aquaculture e.g. for water control and scaring birds eating the fish being grown.

Although farmers and persons working in the green sector often have a well-known environmental consciousness thinking of future generations etc., the final decision when thinking of investing in a solar panel array is ruled by the economy in such an investment. During the latest years, the costs for conventional roof mounted and grid connected solar power arrays have decreased significantly, thus increasing the possibilities for making a profitable investment in solar panels.

INLEDNING

Alternativa energikällor blir ständigt alltmer intressanta med tanke på utsläpp av klimatgaser och andra nackdelar för traditionella energikällor, samt en förändrad prisbild. Solceller har en stor potential i framtiden då verkningsgraden ständigt förbättras och priserna på anläggningarna sjunker. Redan idag byggs det en hel del anläggningar även i Sverige. På ett lantbruk kan det produceras energi för egen förbrukning, men också för försäljning. Lantbrukssektorn har en stor potential som energiproducent av bl.a. förnybara bränslen och drivmedel och även el från solceller kan i framtiden bli en viktig inkomstkälla för lantbruket och landsbygden. Ett argument som ibland förs fram för etablering av solenergi på lantbruk är tillgången på stora takytor.

Solceller omvandlar solljuset till elektricitet och de solceller som idag är vanliga på marknaden har en verkningsgrad på ca. 15% och då kan el av storleksordningen 150 W per m² solfångare alstras på en lämpligt orienterad yta en solig dag då instrålningen är ca 1000 W per m². Verkningsgraden för solceller är snabbt på väg uppåt och i laboratorieförhållanden sägs närmare 43 % verkningsgrad ha uppnåtts i försök med solceller av viss uppbyggnad (Melville, 2011). Förbättringen i verkningsgrad sker snabbt, men dock lär det dröja en tid innan sådana verkningsgrader uppnås i praktiska tillämpningar. Beroende på pris för solcellerna kan emellertid en god lönsamhet uppnås också vid en betydligt lägre verkningsgrad. Priset på solceller kan inom en nära framtid sjunka rejält. I en artikel i Ny teknik (september, 2011) anges att forskare vid tyska Fraunhoferinstitutet ser möjligheter att med ny tillverkningsteknik minska priset på solceller med 90%.

Ett problem i samband med solceller kan vara nedsmutsning och förändringar (minskad verkningsgrad) till följd av yttre miljöfaktorer såsom fukt och temperatur. I lantbruks-sammanhang kan damm som ansamlas på solcellsytor och reducerar verkningsgraden eventuellt behöva hanteras. Låga temperaturer är gynnsamma för solceller och om temperaturen kan sänkas, kan en högre verkningsgrad åstadkommas. Underhållsbehovet för anläggningar med solceller anges vara mycket litet.

Solceller är ett mycket miljövänligt sätt att producera el på och de alstrar inga ljud som kan vara störande för omgivningen vilket t.ex. vindkraftverk gör.

Förutsättningarna för studien var att det inte fanns någon samlad bild av intressanta tillämpningar i lantbruket och lämplig utformning av anläggningar med solceller i lantbruket och dess för- och nackdelar. Förutom etablering av solceller i stora anläggningar finns också möjligheter att utnyttja el från solceller i applikationer såsom t.ex. bevattning.

Projektet "Förutsättningar och möjligheter för solceller i lantbruket – en förstudie" har huvudsakligen genomförts som en litteraturstudie, framförallt för att undersöka vilken forskning avseende solceller i de gröna näringarna som pågår i andra länder och vilka

applikationer som anses intressanta. Fokus i studien har varit teknik för landsbygdsföretag. Ett övergripande mål har varit att ge en god överblick över aktuell utveckling och erfarenheter inom forskningsområdet. Sådan kunskap är av vital betydelse för tillämpningar på svenska landsbygdsföretag och utveckling av den svenska landsbygden som energiproducent och miljövänlig näring. Förutom litteraturstudier har två studiebesök gjorts, ett i Schweiz och ett i Nederländerna

Arbetet syftar till landsbygdsutveckling och ökad konkurrenskraft för landsbygdsföretag genom identifiering av lämplig teknik för utnyttjande av solceller i lantbruket. Specifikt är syftet att elproduktion med solceller skall ge ökande intäkter för landsbygdsföretagen, minskande energikostnader och minskande miljöstörningar.

SOLCELLER OCH SOLFÅNGARE

Då alla inte är bekanta med benämningarna solceller, solpaneler och solfångare kan det vara på sin plats att poängtera vad som är vad. I en **solcell** utnyttjas solstrålning (ljus) till att skapa en elektrisk ström. Då varje solcell alstrar en mycket låg spänning (en kiselcell ger ca 0,5 volt) måste flera mycket tunna solceller kopplas ihop och dessa måste stödjas med någon form av ramverk. På så sätt erhålls en spänning som är lämplig att utnyttja och en stabilitet i konstruktionen. Ett sådant paket med ihopkopplade solceller utgör en **solpanel** som kan vara någon m² stor. Ett antal solpaneler ihopkopplade utgör en anläggning, en solcellsanläggning, dvs. en anläggning för att producera el från solenergi. Begreppet solceller används ofta som beteckning på hela solpaneler och inte bara på den del som utgör en cell.

Begreppen solcell eller solpanel måste skiljas från begreppet **solfångare** som betecknar en utrustning där solstrålning utnyttjas för att värma luft eller vatten till t.ex. varmvatten för dusch, disk etc. eller värmevatten i radiatorer etc. för uppvärmningsändamål.

SOLCELLER – TYPER, TOPPEFFEKT OCH VERKNINGSGRAD

TYPER AV SOLCELLER

Då man pratar om solceller delar man ofta in dem i två typer, kristallina solceller (kiselceller) och tunnfilmssolceller (Energimyndigheten, 2010). Dock finns också andra mindre vanliga typer såsom Grätzel-solceller (färgsensibiliserade solceller), tunna böjliga organiska solceller (plastsolceller) som är tillverkade av organiska polymerer och nanotrådsolceller med tunna nanotrådar (Energimyndigheten, 2014d).

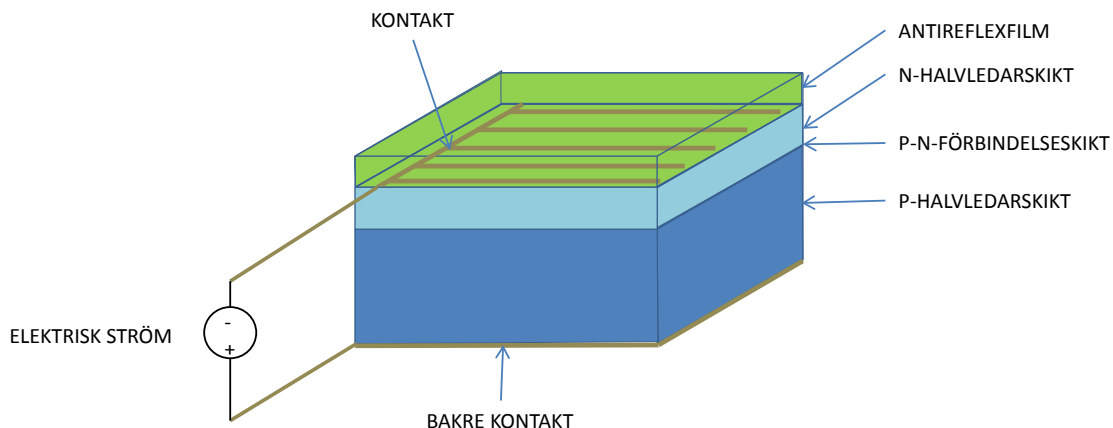
De kristallina solcellerna kan vara mono-kristallina och är då jämna i färgen, eller polykristallina med ett blåskimrande utseende (Energimyndigheten, 2010). De monokristallina solcellerna består av enkristallsblock, tunna skivor, av kiselblock, medan blocken i de polykristallina cellerna är uppbyggda av flera små kristaller. Genom modifiering av solcellernas antireflexbehandling kan solcellerna få olika färger (Energimyndigheten, 2005).

Solceller av tunnfilmsteknik innebär minskad materialåtgång och möjlig applicering är på ett bärande lager av t.ex. glas (Energimyndigheten, 2010).

Kristallina solceller/kiselceller – hur fungerar solceller

Kiselceller är den i nuläget vanligaste typen av solceller (Energimyndigheten, 2014d), men på marknaden finns också andra typer, t.ex. tunnfilmssolceller (Energimyndigheten, 2014d).

En solcell är en fotodiod som ofta består av kisel (Si). Uppbyggnaden av en kristallin kiselcell framgår av Figur 1. I solcellen (fotodioden) finns två skikt som benämns P-skikt och N-skikt. Kisel (Si), har 4 elektroner i yttersta elektronskiktet (4 valenselektroner). I P-skiktet har man blandat in t.ex. Bor som har 3 elektroner i yttersta elektronskiktet och i N-skiktet har man blandat in t.ex. fosfor (P) som har 5 valenselektroner. Skiktens olika koncentration av elektroner gör att elektroner förflyttar sig (diffunderar) mellan skikten och elektroner från N-skiktet (fler elektroner; N står för elektronernas negativa laddning) diffunderar över till P-skiktet om inget ljus stör jämvikten. På så sätt blir det ett överskott av elektroner i P-skiktet som då relativt sett blir negativt laddat och ett underskott av elektroner i N-skiktet som relativt sett blir positivt laddat och det bildas ett elektriskt fält mellan skikten. Utåt sett finns ingen spänning om inget ljus finns. När fotoner från ljuset träffar elektronerna exciteras de och om de får tillräcklig energi blir de inte längre bundna till en viss atom och hoppar över som fria elektroner från P-skiktet till det internt sett positivt laddade N-skiktet och en elektrisk ström genereras. P-skiktet blir då utåt sett positivt laddat och N-skiktet blir negativt laddat. Med hjälp av metallkontakter på solcellens fram- och baksida kan man ta hand om strömmen som bildas. (Svensk solenergi, 2014)



Figur 1. Principiell uppbyggnad av en kristallin kiselsolcell (SEAI, 2010).

Tunnsolceller – amorfa solceller

Tunnsolceller (även kallade amorfa solceller) har för närvarande en världsmarknadsandel på 10-15% (Energimyndigheten, 2014a). Tunnsolcellerna består av ett några mikrometer tunt skikt av ett ljusabsorberande material. En typ av tunnsolceller (CIGS) består av halvledarmaterial av koppar (Cu), indium (In), gallium (Ga) och selen (Se) som absorberar solljus också i mycket tunna skikt och dessa kan vara applicerade på exempelvis en glasyta (Energimyndigheten, 2014a). CIGS -solceller kan monteras i en konstellation där solcellerna kapslas in mellan två glasskivor (Energimyndigheten, 2005). Det finns ett antal olika typer av tunnsolceller och en annan typ av tunnsolceller kallas CZTS-solceller (koppar-zink-tenn-sulfid) och innehåller vanligare metaller än indium som är en ovanlig metall (Energimyndigheten, 2014a).

Grätzel-solceller - färgsensibiliserade solceller

Tekniken med Grätzel solceller som fått sitt namn efter schweizaren Michael Grätzel bygger på färgade nanopartiklar av titandioxid (Energimyndigheten, 2014c; Grätzel, 2011). I dessa färgade nanopartiklar skapar ljuset exciterade elektroner och en spänning i solcellen. Tekniken kan sägas efterlikna fotosyntesen. Tekniken som är under utveckling kan innebära låga kostnader vid tillverkning, men verkningsgraden är fortfarande ganska låg (Energimyndigheten, 2014c).

TOPPEFFEKT

Som mått på kapaciteten att producera elektrisk ström för en solpanel eller en solcellsanläggning används begreppet toppeffekt. Toppeffekten redovisas vanligen i enheten kWp ("kilowatt peak") eller Wp ("watt peak") och med detta avses hur stor effekt som erhålls

i ett standardiserat test vid en instrålning på 1000 W/m^2 och 25°C . I Europa hänvisar tillverkarna ofta angiven topp effekt till uppnådd effekt i en viss europeiskt norm (EN standard) (SEAI, 2010).

När man i standardtestet vid en instrålning på 1000 W/m^2 uppmäter 17% verkningsgrad, dvs. 170 W i utgående effekt för en 1 m^2 stor solpanel erhålls en topp effekt på 170 Wp (0,17 kWp) för denna 1 m^2 stora panel. 100 m^2 av samma panel har då en topp effekt på 17 kWp.

I standardtester är förhållandena optimala och i en verklig installation blir effekten som erhålls vid solinstrålningen 1000 W lägre än i standardtestet. Solstrålarnas infallsvinkel mot panelen (panelens lutning och azimut) är en parameter som påverkar liksom solcellernas temperatur och den aktuella förmågan hos enskilda solceller och förmågan hos kontakter i en hopkopplad slinga att leda ström. I praktiken blir därför den effekt som erhålls från en solpanel ofta av storleksordningen 15-20% lägre än den topp effekt (kWp) som redovisas i broschyrer från tillverkarna.

VERKNINGSGRAD

Verkningsgraden för olika typer av solceller skiljer sig åt. En vanlig verkningsgrad för de solceller som är vanliga på marknaden idag är ca. 15-17% och upp till ca 21%. Dessa solceller är ofta av kiseltyp.

Monokristallina solceller som säljs har en verkningsgrad på upp till ca 21%. De polykristallina solceller som säljs har en verkningsgrad på ca 17% eller lägre och för tunnfilmssolceller på marknaden (CIS och CIGS) är verkningsgraden lägre, upp till ca 14%.

Att investera i solceller med högsta möjliga verkningsgrad behöver inte vara den bästa lösningen. Priser och tillgänglig yta kan i stället innebära att den bästa solcellsanläggningen är den med lite lägre verkningsgrad på en större yta.

Ibland hittar man i broschyrer och övrig litteratur värden över hur stor yta av en viss typ av solpanel som krävs för att man skall erhålla en topp effekt på 1 kWp. Om en solpanel exempelvis har en verkningsgrad på 20% behövs ($1/0,2=$) 5 m^2 solpanel för 1 kWp och om verkningsgraden är 10% behövs istället ($1/0,1=$) 10 m^2 för att erhålla 1 kWp.

Temperatur

Solpaneler som är vanliga på marknaden (kristallina solceller) producerar mindre mängd el om temperaturen blir hög. I litteraturen anges att vid temperaturer över 25°C så minskar verkningsgraden med 0,4-0,5% om panelens temperatur ökar med 10°C (SEAI, 2010).

En svensk undersökning visade att samtliga kisel-solceller (6 med monokristallina celler och en med polykristallina celler) i en studie tappade 2-3% i verkningsgrad en varm sommardag

(15°C på morgonen, 30°C mitt på dagen) då solcellstemperaturen var upp till 50°C jämfört med en dag då temperaturen var -5°C (Energimyndigheten, 2010). För andra typer av solceller kan temperaturpåverkan vara lägre och verkningsgraden för en tunnfilmssolcell med amorft kisel minskade i studien mindre än kisel-solcellerna (Energimyndigheten, 2010).

Att hålla nere solcellernas temperatur så mycket som möjligt är eftersträvansvärt med tanke på att man vinner i verkningsgrad ju kallare solcellerna är. Då solceller monteras på ett befintligt tak (eller eventuellt en vägg etc.) är det därför viktigt att ha en luftspalt mellan den befintliga konstruktionen och solcellen, så att luft kan passera förbi och kyla.

Damm

Energimyndigheten menar att smuts och damm på solcellerna påverkar verkningsgraden mindre än man skulle kunna förvänta sig (Energimyndigheten, 2005). Man menar att rengöring ofta inte behöver göras då regn och blåst håller solcellerna acceptabelt rena. I ett fall med solceller som monterats som en persienn framför en vertikal yta såg solcellerna rejält smutsiga ut, men det visade sig att verkningsgraden endast ökade med 7 % efter rengöring (Energimyndigheten, 2005). Under riktigt långa torrperioder kan dock dammansamling ge en väsentlig reduktion och i en studie uppmättes ca 80 % av ursprunglig verkningsgrad efter en 108 dagar lång torrperiod (Mejia, Kleissl, & Bosch, 2014). Dock steg verkningsgraden till ursprunglig nivå då det regnade. Inga studier har hittats som specifikt undersöker eventuellt förhöjd dammpåverkan för solceller i lantbruket.

Snö

Snö på solcellerna minskar verkningsgraden, men man menar att om lutningen är tillräcklig, så glider snön av och i en publikation av Energimyndigheten anges att även snörika år så är förlusterna små (högst 4%) i södra Sverige (Energimyndigheten, 2005). Då solcellerna är helt snötäckta produceras ingen el, men under vintern är solinstrålningen också lägre och därför har snön begränsad påverkan på den årliga elproduktionen.

LIVSLÄNGD

Livslängden på solceller är lång. Det anges i litteraturen att solceller håller i över 20 år och att tillverkare brukar ge 25 års garanti (Energimyndigheten, 2005). Verkningsgraden sjunker om någon cell i en seriekopplad slinga slutar fungera. I sådana fall kan trasiga celler bytas ut och den ursprungliga verkningsgraden återställas. I lantbrukssammanhang kan luftföroreningar såsom ammoniak orsaka skador på solcellsanläggningen.

Ammoniak

I anslutning till djurstallar finns förhöjda halter av ammoniak, vilket kan orsaka korrosion och försämrad verkningsgrad och minskad livslängd för solceller. Ammoniumhydroxid som bildas av ammoniak kan leda till korrosion av solcellspanelerna. I byggnadsintegrerade

solceller för stallbyggnader (där solcellerna utgör t.ex. ett tak) exponeras folieunderlaget direkt för stallluften och dessa är därför extra utsatta. Ammoniak kan i dessa fall passera genom folien och skada de elektriska ledarna (Petzold, 2011). Även i de fall då solcellspanelerna placeras ovanpå taket utsätts de för ammoniak bl.a. från ventilationsluft. Ammoniakexponeringen kan orsaka skada på aluminiumramarna och den kan också skada vidhäftningen av kisel i solcellerna. Brunaktiga missfärgningar av kopplingsboxar har också iakttagits. Allvarligheten i angreppen kan variera och man menar att en del skador endast är utseendemässiga (Petzold, 2011).

Problemet med ammoniak uppmärksammades i Tyskland då lantbrukare som stod i begrepp att installera solceller på stallbyggnader ville ha kunskap om hur beständiga solcellerna var innan de gjorde en dyr investering. Detta ledde till att det togs fram tyska testmetoder för ammoniakbeständighet (Petzold, 2011). Ett av dessa tester utförs av DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) och ett annat utförs vid TÜV Rheinland. Utförandet av testerna skiljer sig åt. I testet som DLG utför exponeras solcellsmodulerna för 750 ppm ammoniak vid 70°C under en tidsperiod av 1 500 timmar. Halterna ligger mycket högt över vad som finns i ett stall och det är tänkt att testet skall simulera 20 års exponering. I det ammoniaktest som utförs vid TÜV Rheinland exponeras solcellerna i dygnscykler som upprepas under 20 dygn. Först i cykeln exponeras de för 6 667 ppm ammoniak under 8 timmar vid 60°C och 100% RF och därefter i vanlig atmosfär under 16 timmar vid 23°C och maximalt 75% RF.

Vid investering i solceller som man tänker montera på ett stall eller i anslutning till byggnader för djurhållning bör man från solcellstillverkarna efterfråga dokumentation som visar på motståndskraft mot ammoniak, exempelvis testprotokoll från de ovan nämnda tyska testerna.

Förutom ammoniak finns också andra atmosfäriska föroreningar som kan orsaka angrepp på solceller (exempelvis salter från t.ex. havsluft eller halkbekämpning på vägar).

NÄTANSLUTNA ELLER FRISTÅENDE SYSTEM

Nätanslutna system är ihopkopplade med elnätet och levererar el till elnätet i form av växelström i de fall elen inte förbrukas i den egna anläggningen. Elenergi från solcellsanläggningen kan i sådana system säljas soliga sommandagar och köpas perioder då solcellerna producerar alltför lite för den egna förbrukningen, t.ex. vintertid. I anläggningarna finns växelriktare som kan behöva bytas ungefär en gång under solcellernas livstid (Energimyndigheten, 2005).

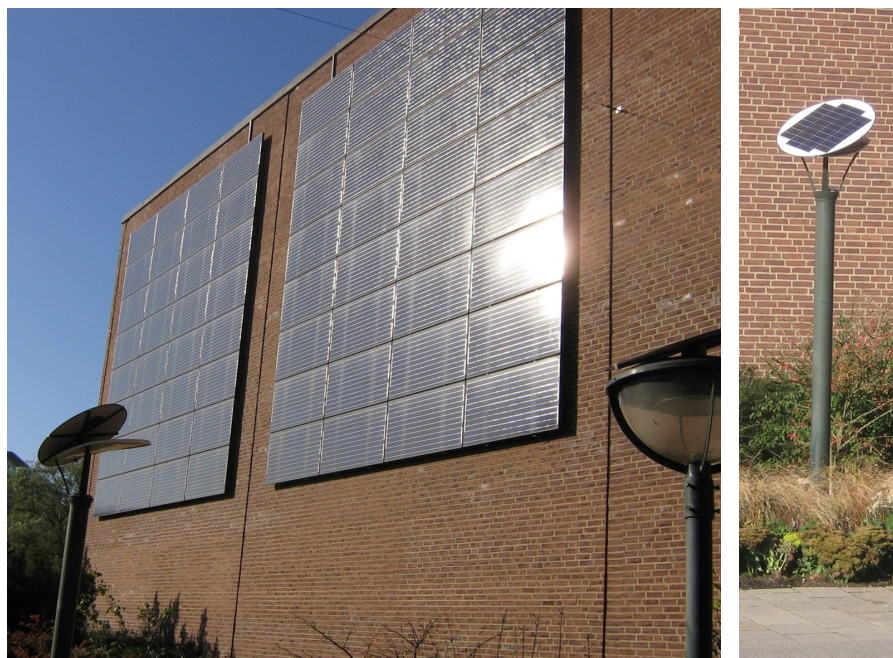
I fristående system förbrukas elen i den egna anläggningen och batterier används för att lagra energi. En fördel med dessa system är att man kan utnyttja el som energikälla på platser där nätanslutning inte är ekonomiskt intressant. Sådana applikationer kan för enskilda förbrukare och samhälle t.ex. vara sommarstugor, segelbåtar och nödtelefoner (Energimyndigheten, 2005). I lantbrukssammanhang finns andra intressanta applikationer.

EXEMPEL PÅ SOLCELLER I OFFENTLIG MILJÖ

I offentlig miljö finns ett antal byggnader som försetts med solceller, både på tak och väggar. I denna miljö ser man också tillämpningar där solceller används för skuggning, gatubelysning, elförsörjning till trafiksignaler etc. Figur 2 och 3 visar några exempel från Malmö.



Figur 2. Solceller på väggar, tak och som solskydd. Foto: Sven Nimmermark



Figur 3. Väggh monterade solceller och solcellsdrivna gatlyktor.
Foto: Sven Nimmermark

SOLCELLER MONTERADE OVPÅ BEFINTLIGA TAK

Det vanligast sättet att montera solceller i anslutning till byggnader är att placera dem på det befintliga yttertaket (Figur 4). För att undvika att solcellerna blir alltför varma monteras de med distans till det befintliga taket och en ventilerad spalt undertill. Enligt en studie vid LTH (Lunds Tekniska Högskola) finns inom lantbruket en brutto-takarea på 127 km² som i lämpliga delar kan användas för elproduktion med hjälp av takmonterade eller byggnadsintegrerade solceller (Kjellsson, 2000).



Figur 4. Placering av solceller ovanpå ett befintligt tak. Foto: Sven Nimmermark

BYGGNADSINTEGRERADE SOLCELLER

Det finns anläggningar med solceller som förutom att generera el även uppfyller en funktion för byggnaden. Dessa benämns byggnadsintegrerade solcellsanläggningar (BIPV; "Building Integrated PhotoVoltaics") och den vanligaste funktionen är att de fungerar som klimatskydd (van Noord, 2010). Då de ersätter och fungerar som en byggnadsdel, exempelvis yttertak finns ett antal parametrar som solcellerna måste motstå. Det finns då krav på solcellernas säkerhet och hållfasthet (vid t.ex. snölast) och också på solcellernas funktion som regnskydd. Kondens och mögel som påverkar konstruktionen och solcellerna måste undvikas (större risk för detta än för vanliga solcellstillämpningar då solcellerna utgör en vattentät yta) och en lämplig ventilation som reducerar inverkan på solcellernas elproduktion måste också tillgodoseas (van Noord, 2010). Van Noord (2010) anger att följande byggnadsintegrerade solceller finns kommersiellt tillgängliga på marknaden (Tabell 1):

Tabell 1. Solelprodukter för byggnadsintegrerade solcellsanläggningar (van Noord, 2010).

Taktyp	Solelprodukt	Beskrivning	Areabehov per kWp*
Takpannetak	Solcellspannor	- Takpannor med solceller eller - En panel som ersätter ett antal pannor	8-18 m ²
Shingel och skiffertak	Solcellsskiffer	- Något större yta per platta - Bygger mindre på höjden	9 m ²
Falsade plåttak	Falsad plåt med integrerade solceller	- Vanlig plåt med påklistrad solcellsmodul (tunnfilm)	20-26 m ²
Papp- och duktak	Plast och gummidukar med integrerade solceller	- Påklistrade flexibla solcellsmoduler av tunnfilmstyp	23-33 m ²
Glastak	Glasmödule	- Solceller laminerade mellan två glasskivor	10-15 m ²

* Med kWp (kilowatt peak) menas den effekt (toppeffekt) som erhålls vid standardtestförhållanden och en instrålning på 1000 W/m². Effekten som erhålls i praktiken blir, bl.a. beroende på uppvärmning, lägre (ca 15-20% lägre)

KONCENTRERANDE SYSTEM

Möjligheter finns att koncentrera solstrålarna till en mindre yta med hjälp av speglar eller linser. Om detta görs kan man reducera ytan med solceller och därmed kostnaden för anläggningen då själva solcellerna ofta står för en stor del av kostnaden. Dock innebär en koncentration av solinstrålningen till en mindre solcellsyta också högre temperaturer för solcellerna och därmed också en försämrad verkningsgrad om inte tillräcklig kylning av solcellerna kan åstadkommas.

SOLFÖLJARE

Rörliga solceller/solpaneler som följer solen och orienterar sig så att infallsvinkeln blir bästa möjliga under dygnets alla ljusa timmar kan vara intressanta och dessa har också studerats med tanke på lantbruket (Bae, Chung, Kong, & Huh, 2012). Studier har visat att sådana system kan ge ca. 10% högre effekt än stationära system för en viss yta på solcellerna (Bae *et al.*, 2012). Solföljarna kan göras flyttbara, men stativ etc. kan ge ett högre pris totalt sett jämfört med fast monterade solcellsanläggningar. Exempel på en solföljare ses i Figur 5.



Figur 5. Solföljare. En solföljare följer solen och riktar in sig så att infallsvinkeln alltid är den bästa. Foto: Sven Nimmermark

ÅRLIGT ENERGIUTBYTE

Överslagsvärden för årligt energiutbyte för en anläggning med solceller beräknas ibland utifrån årlig instrålning, verkningsgrad och m^2 solpanel och ibland utifrån årlig instrålning och topp effekt.

PRODUCERAD MÄNGD ENERGI BERÄKNAD UTIFRÅN TOPPEFFEKT

Överslagsmässigt kan energiutbytet för en solcellsanläggning beräknas utifrån toppeffekten med formeln (SEAI, 2010):

$$W_{el} = 0,8 \cdot P_p \cdot S \cdot Z_{pv} \quad (1)$$

Där

W_{el} = Erhållen elenergi, kwh per år

0,8 = faktor för reduktion med hänsyn till skillnader mellan erhållen effekt vid test-förhållanden och i en verklig anläggning, samt omvandling från likström som produceras av solcellerna till växelström

P_p = Toppeffekt, kWp (= kW ut i test vid instrålning 1000 W/m²)

S = Årlig solinstrålning mot solcellsanläggningen, kWh/m²

Z_{pv} = Skuggfaktor enligt Tabell 2, -

Tabell 2. Skuggfaktorer för användning i ekvation (1) och (2) (SEAI, 2010)

Skuggning	Andel av himlen som skuggas av hinder, %	Skuggfaktor Z_{pv}
Kraftig	>80%	0,5
Betydande	60-80%	0,65
Måttlig	20-60%	0,8
Obetydlig (vanligen för tak)	<20%	1,0

PRODUCERAD MÄNGD ENERGI BERÄKNAD UTIFRÅN VERKNINGSGRAD

Överslagsmässigt kan energiutbytet beräknas utifrån verkningsgraden och arean med formeln:

$$W_{el} = 0,8 \cdot \frac{\eta}{100} \cdot S \cdot A \cdot Z_{pv} \quad (2)$$

Där

W_{el} = Erhållen elenergi, kwh per år

0,8 = faktor för reduktion med hänsyn till skillnader mellan erhållen effekt vid test-förhållanden och i en verklig anläggning, samt omvandling från likström som produceras av solcellerna till växelström

η = verkningsgrad i standardtest (EN-standard), %

S = Årlig solinstrålning mot solcellsanläggningen, kWh/m²

A = Solcellsanläggningens area, m²

Z_{pv} = Skuggfaktor enligt Tabell 2, -

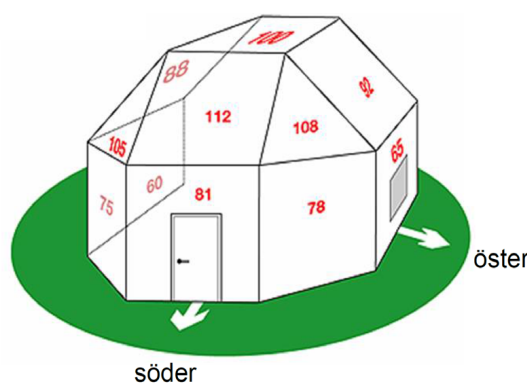
ÅRLIG SOLINSTRÅLNING MOT SOLCELLSANLÄGGNINGEN

Mängden solenergi som på en ort strålar in mot en viss yta beror dels på ortens solinstrålning och dels på hur ytan är orienterad, dvs. vädersträck och lutning. En orientering mot söder och en lutning på ca 45° ger den högsta instrålningen i Sverige (Energimyndigheten, 2010). Placeringar sydost eller sydväst och lutningar inom intervallet 20 till 60 grader ger nästan lika hög instrålning (Energimyndigheten, 2010).

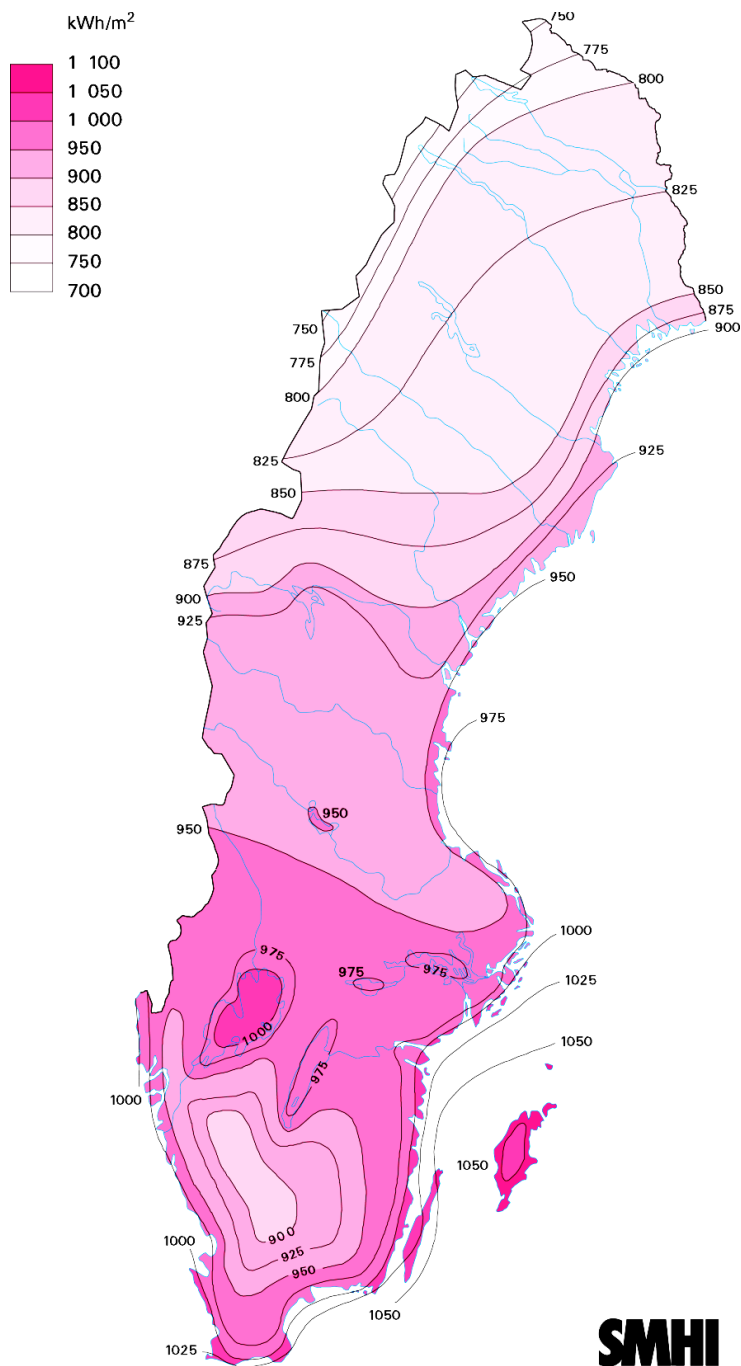
Vid överslagsmässig beräkning av den årliga solinstrålningen mot en yta kan Figur 6 och 7 användas.

Exempel: På kartan (Figur 7) finner man att solinstrålningen mot en horisontell yta på orten är 1000 kWh per år. Ytan man vill sätta solceller på har riktning söder och lutning 45°, vilket i Figur 6 ger 112%. Den årliga solinstrålningen mot ytan blir då:

$$1000 \cdot 112 / 100 = 1120 \text{ kWh per m}^2 \text{ och år.}$$

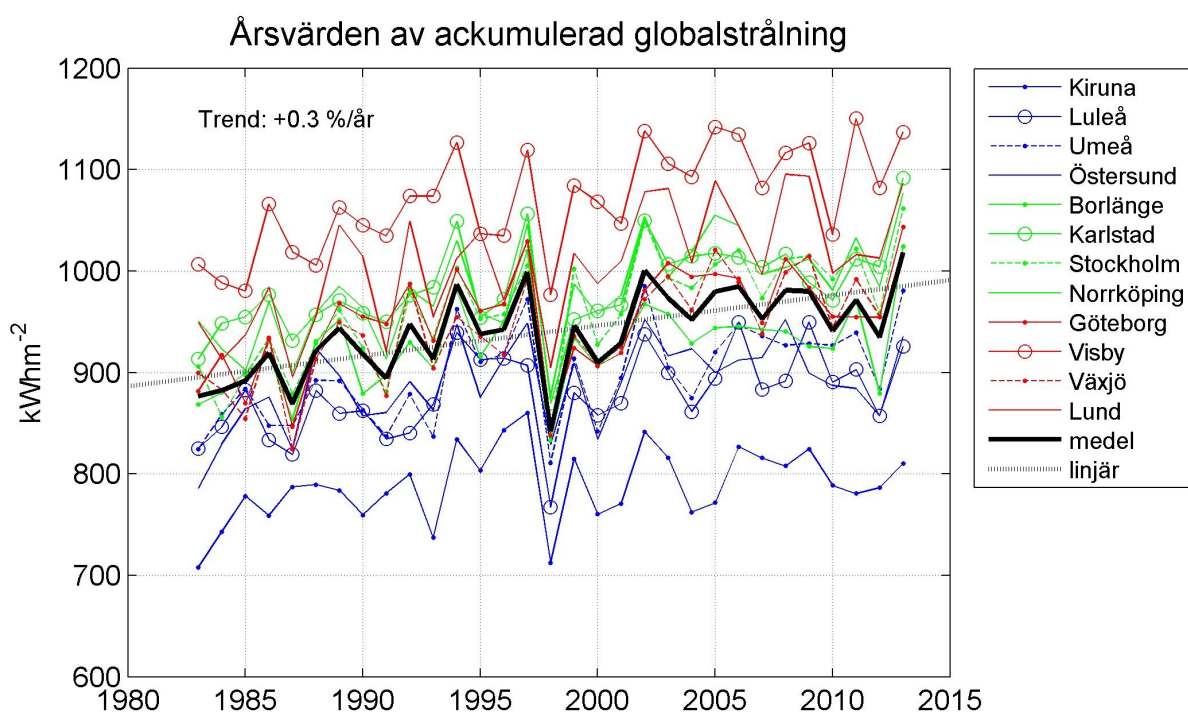


Figur 6. Årlig solinstrålning mot ytor i olika riktningar. Värdena avser procent av instrålningen mot en horisontell yta. De lutande ytorna är vinklade 45°. Skiss: (Energimyndigheten, 2005)



Figur 7. Solinstrålning mot en horisontell yta i Sverige. Årlig globalinstrålning under perioden 1961-1990. Källa SMHI

Solinstrålningen i stora delar av Sverige är som framgår av figuren ovan (Figur 7) av storleksordningen 1000 kWh per m² och år. Av SMHI uppmätta värden vid ett antal mätstationer framgår av Figur 8. Det framgår av figuren att solinstrålningen under de senaste 30 åren har en ökande trend med 0,3% högre instrålning per år. Vidare kan man se att det finns en betydande årsvariation i solinstrålningen. Vissa år är instrålningen på en ort betydligt högre än andra år.



Figur 8. Årsvärden av ackumulerad globalstrålning vid tolv av SMHIs mätstationer sedan 1983. Källa SMHI.

UTNYTTJANDE AV SOLENERGI I LANTBRUKET OCH DE GRÖNA NÄRINGARNA

SOLVÄRME I DE GRÖNA NÄRINGARNA

Då det gäller solenergi generellt i lantbruket har ett antal applikationer identifierats. Många av dessa avser utnyttjande av solvärmens direkt, eller med hjälp av solfångare. Utnyttjande av solenergi i lantbruket kan göras i tillämpningar där solvärmens utnyttjas direkt eller i system där luft eller vatten är värmebärare. Sådana tillämpningar av solvärmeutnyttjande kan vara (EREC, 2002):

- Torkning av produkter – skörd/spannmål
 - torkning utomhus (på fält) – att torka så långt det går på fälten är mer energieffektivt än att torka inomhus med tillsats av energi
 - torkning inomhus med solvärmd luft – lufttransport genom naturlig konvektion eller med hjälp av fläktar
- Värme i lantbruksbyggnader och tappvarmvatten
 - Tillskottsvärme till stallar
 - Varmvatten för tvätt av boxar etc.
- Växthusuppvärmning
 - Utnyttjande och utveckling av växthus med stor termisk massa och isolering som håller kvar värme under nätter och molniga dagar

En rad studier av torkning med hjälp av solfångare har gjorts i Sverige bl.a. vid SLU/LBT och också utomlands. Även då det gäller värmelagring i växthus och utveckling av mer resursnåla växthus har ett antal studier genomförts.

SOLCELLER I LANTBRUKET OCH DE GRÖNA NÄRINGARNA

El producerad av solceller kan i lantbruket användas i alla de processer som redan idag utnyttjar el som drivkälla. För att utvidga användningen av solceller i produktionen av mat finns möjlighet att omvandla elenergi från solceller till flytande eller gasformigt bränsle såsom t.ex. väte genom elektrolys av vatten (vilket är dyrt) eller att anpassa den nuvarande teknik som används i lantbruket för t.ex. bevattning och att ändra systemen för drift av traktorer och andra transporter till drift med elmotorer (Bardi, El Asmar, & Lavacchi, 2013).

NÄTANSLUTNA SOLCELLSANLÄGGNINGAR OCH ANDRA TILLÄMPNINGAR

El från solceller kan utnyttjas på gårdens alla förbrukningsställen av el, men det finns en rad tillämpningar inom lantbruk och de gröna näringarna där utnyttjande av solceller kan vara speciellt intressanta.

Då det gäller solceller och utnyttjande av solcellsproducerad el som produceras i lantbruket är följande applikationer intressanta enligt en några år gammal amerikansk studie (EREC, 2002):

- Kyla mjölk – stora energimängder kan gå åt för detta i mjölkproduktionen
- Elförsörjning på platser med större avstånd till fast nät
 - kan reducera investeringskostnaden då kostnaderna för anslutning till ett fast nät i dessa fall kan vara betydande
- Vattenpumpning – utnyttjande av solceller kan vara kostnadseffektivt

En del tillämpningar är redan i användning, medan andra kan förväntas komma inom nära framtid. Sådana tillämpningar anges i en Irländsk rapport (SEAI, 2010) exempelvis vara:

- Elektriska stängsel
- Fågelskrämmor
- Pumpning av vatten för djur
- Belysning i stallar och uthus
- Luftning av fiskodlingsdammar/bassänger
- Utfodringsystem i fiskodling
- Belysning och uppvärmning

SOLCELLER PÅ MJÖLKGÅRDAR

På Irland fanns tidigt tankar på att utnyttja solceller på mjölkgårdar och i slutet av 1980-talet gjordes där en studie av en solcellsanläggning som producerade energi till mjölkning på en gård med 100 mjölkkor (Anonymous, 1986). Solcellerna placerades på sydsidan av taket till kalvningsavdelningen och elen som producerades laddade blyackumulatorer. Elen (likströmmen) omformades till växelström innan förbrukning. Det angavs att blyackumulatorerna i anläggningen hade kapacitet att strömförsörja gården 2 dagar på sommaren och 1 vecka på vintern (Anonymous, 1986).

I Tyskland produceras el från solceller på ett antal lantgårdar och där har det sedan ett antal år tillbaka gjorts studier av solceller i lantbrukssektorn (Muller, Reuss, & Schulz, 1995). En applikation för solceller i lantbruket som tidigt studerades i Tyskland är solceller på taken på mjölkkostallar (Irps & Sonnenberg, 1997). I Tyskland är också de ekonomiska

förutsättningarna för produktion av el från solceller goda med bra priser på elen. Även i andra europeiska länder finns goda förutsättningar för solceller i lantbruket.

Solceller på mjölkgårdar i Schweiz

I Schweiz finns många gårdar med mjölkproduktion som har investerat i solceller och ett studiebesök till Schweiz gjordes för att studera utformningen. Ost är i många fall den produkt som tillverkas av mjölken i Schweiz. Då ensilage kan ge upphov till sporer i mjölken och skada osten kräver schweiziska mejerier som tillverkar kvalitetsostar att speciell teknik används på gårdarna (Everitt & Christiansson, 1996). Förbud finns i dessa kontrakt mot att använda sig av ensilage i uppfödningen och även i en del fall mot att använda melass (Everitt & Christiansson, 1996).

Dessa krav på att inte använda ensilage i fodret innebär att man i stället använder sig av hö i stor utsträckning och i processen att torka höet finns möjligheter att använda sig av solenergi. Figur 9 visar solceller på en schweizisk gård med mjölkproduktion. Mjölken som produceras används för att göra en typ av hårdost. Produktionen av osten sker i en anläggning som är gemensam för 10-15 gårdar. På gården finns ca 60 mjölkkor i ett lösdriftsystem, vilket för schweiziska förhållanden är ganska många djur. För torkning av höet finns på den aktuella gården en skultork och torkfläktar och en solfångare integrerad med taket används för förvärmning av torkluften. Höet bärgas med självlastande vagnar och blåses upp och fördelas på skullen med hjälp av höfläktar. Förutom för mjölkningen och andra användningsområden på gården, finns det m.a.o. sommartid, då rikligt med el kan produceras av solceller, också ett större behov av el till höhanteringen och hötorkningen. I denna typ av system finns möjligheter att använda mycket el från egna solceller och att dessutom använda solvärme för torkning.

Solceller på en annan gård i Schweiz visas i Figur 10.

Kombination av solceller och plan solfångare för torkning

I en modellstudie i New Jersey studerade man kombinationen solceller och plan solfångare för torkning av lantbruksprodukter (Ting, Singley, & Flory, 1988). Solcellerna var av tunnfilmstyp (amorfa solceller) och dessa var placerade som ett tak med 40° lutning. Mellan solcellerna och en underliggande plywoodskiva fanns en luftspalt för torkluft. Solcellerna laddade ett batteri som strömförsörjde två fläktar. Fläktarna sög luft uppifrån och ner genom spalten och luften som värmdes upp några grader användes för torkningsändamål. I en försöksuppställning med luftflödet 0,018 m³ per sekund och m² erhöll man 7,1°C temperaturökning på luften vid en instrålning på 992 W/m². I medeltal erhöll man ca 19% verkningsgrad på uppvärmningen och 2,5% verkningsgrad på elproduktionen. För de amorfa solcellerna i studien fann man inget samband mellan kollektortemperaturen och den elektriska verkningsgraden, medan den termiska verkningsgraden för solfångardelen sjönk med stigande kollektortemperatur.

Systemet liknar det luftsolångarsystem med integrering av solångaren i taket som det byggts ett antal svenska anläggningar med för torkning av hö. Skillnaden är dock att elen till fläktarna i den amerikanska studien erhöles från solceller.



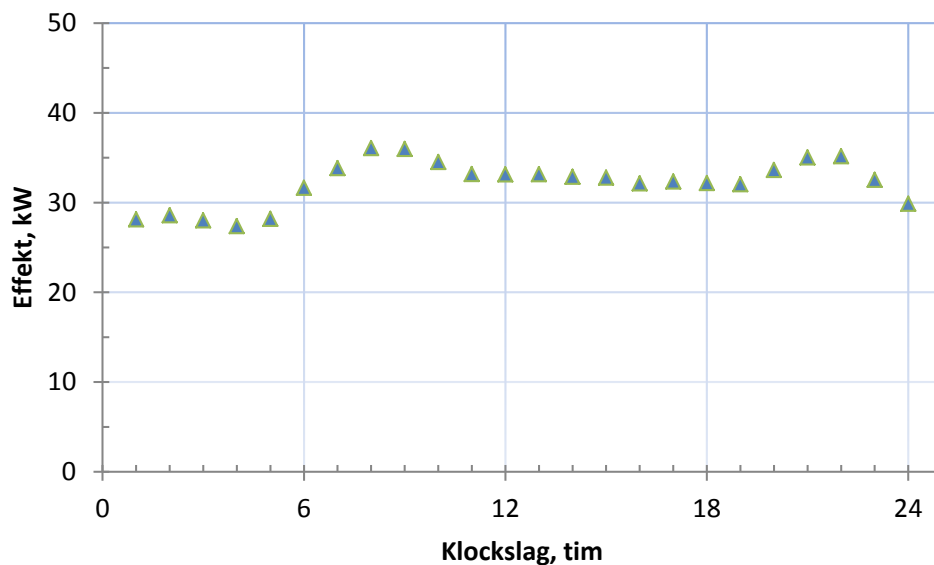
Figur 9 Solceller på en schweizisk mjölgård med 60 kor. Foto: Sven Nimmermark



Figur 10. Solceller på en schweizisk gård. Foto: Sven Nimmermark

Energiförbrukning under dygnet och året

Det kan vara en god ide att själv använda sig av en stor del av den energi som produceras av en solcellsanläggning och sälja och köpa så lite som möjligt. Beroende på hur den egna förbrukningen ser ut kan man lyckas olika bra med detta. Figur 11 visar effektbehovet under olika tidpunkter på dygnet för en svensk gård med 140 mjölkkor (ca 120 mjölkande) och robotmjölkning (Hörndahl, 2014). Energi används i huvudsak till mjölkkyllning och till robotarna när de är i drift. Det framgår av figuren att energiförbrukningen är relativt jämn under dygnets timmar och behovet är också relativt lika under året. I system med annan typ av mjölkning blir fördelningen en annan och effektbehovet visar på toppar då mjölkning sker vilket ofta kan vara morgon och kväll med lägre förbrukning mitt på dagen (Hörndahl, 2007).



Figur 11. Effektbehov under dygnets olika timmar för en gård med 140 kor och robotmjölkning (Hörndahl, 2014).

Hur stämmer då produktionen av el från en solcellsanläggning överens med den förbrukning av el som sker? Solcellerna producerar mest el mitt på dagen, ingen el produceras på natten och tittar man på årstiderna så produceras väsentligt mer på sommaren jämfört med på vintern. För anläggningen med robotmjölkning (Figur 11) kan man en solig sommardag (instrålning 1000 W/m^2) täcka behovet (35 kW) med en solcellsytta av storleksordningen $200\text{--}250 \text{ m}^2$ mitt på dagen. Vid andra tidpunkter på dygnet krävs en större yta, liksom vid mulet väder och andra årstider.

I princip alla nätanslutna anläggningar (utan batteri backup) krävs ett utbyte med elnätet där solet under vissa tider laddas upp till nätet och under andra perioders hämtas hem från nätet. I de fall summan av det årliga utbytet är noll och även i andra fall med skiftande upp och nedladdning kan nätet betraktas som ett batteri som lagrar den egenproducerade elen.

BYGGNADSINTEGRERADE SOLCELLER FÖR LÄGRE TEMPERATUR I DJURSTALLET

I ett varmt klimat är det viktigt att hålla nere temperaturen i stallet. I en italiensk studie har man studerat byggnadsintegrerade solceller för stallbyggnader för detta ändamål i ett modellförsök (Bae *et al.*, 2012). Taket i modellen byggdes upp som ett lutande tak i skala efter ett stall. De termiska egenskaperna för tre olika takkonstruktioner studerades under heta dagar; 1) isolerade sandwich-paneler, 2) solceller med ventilerad spalt under solcellerna med ett underliggande skivmaterial samt 3) ett system med enbart solceller. Lägst stalltemperatur, dvs. lägst temperaturskillnad mellan inne- och utetemperatur under dygnets varmare timmar uppmättes för den isolerade konstruktionen ($4,8^\circ\text{C}$) medan solceller med spalt och

underliggande skiva gav en lite högre skillnad (6,4°C) och högst värden erhöles med taket som bara utgjordes av solceller (8,9°C).

FRISTÄENDE SOLCELLSSYSTEM FÖR DJURHÅLLNING

Vatten till djur

Solcellsdriven pumpning av dricksvatten till nötkreatur har undersökts bl.a. i en tysk studie och man fann att systemet fungerade bra och var säkert (Brunsch & Scholz, 2003). Motsvarande system finns också i USA. I systemen driver solceller en vattenpump och batterier kan användas som backup för att säkerställa att vatten alltid finns tillgängligt för djuren. I en studie från USA publicerad 2008 anges att det under de senaste 15 åren framgångsrikt installerats solcellsdrivna system för att pumpa vatten i mindre anläggningar (500 till 1500 liter per dag med pumpdjup 5 till 30 m) och även i större anläggningar (2000-10 000 liter per dag med pumpdjup 5 till 75 m) (Clark & Vick, 2008).

Koncentratutfodring till mjölkkor

I Pennsylvania i USA gjordes en studie där en mobil solcellsdriven foderautomat för koncentrat till mjölkkor utvecklades (Gardner, Buckmaster, & Muller, 1995). I studien byggdes en datorstyrd koncentratautomat med individuell utfodring och registrering för 16 kor som betade i ett roterande system med 9 paddockar. Förflyttning gjordes genom att den placerades på ett mobilt chassi som bogserades runt. Vid överväganden av strömförsörjning valde man batteridrift och att strömförsörja enheten med solceller. I beräkningar uppskattade man att en solpanel med toppeffekten 372 Wp skulle behövas för strömförsörjningen, men av kostnadsskäl beslutade man att göra en prototyp med en lägre toppeffekt. Solpanelerna kopplades ihop med en batteribank och likströmmen från solcellerna omformades till växelström. Man konstaterade att solpaneler tekniskt sett var ett bra sätt för att strömförsörja foderautomater.

I en något senare studie i Pennsylvania studerades en mobil solcellsdriven kraftfoderautomat för nötkreatur (10 kor och kvigor) där upp till 5 olika fodertyper kunde användas (Thomas & Buckmaster, 2003). Enheten strömförsörjdes av solceller ihopkopplade med en batteribank och extra energi i form av tryckluft lagrades också i två tankar. Energin i tryckluften hjälpte till vid uppmätning och dosering av fett eller melassbaserat flytande koncentrat. Solpanelerna monterades så att deras orientering gick att justera från ca 10° lutning till helt vertikalt. Man konstaterade att elförsörjning via solpanelerna var tillräcklig för driften och att upp till 20 djur kunde försörjas av automaten, men att en komplettering med en stängande säkerhetsventil vid tryckbortfall i systemet med flytande koncentrat behövdes.

Stängsel för djur

System för elektriska stängsel för djur har en spänning på ca 500V och en låg strömstyrka (långt amperetal) och man har därför ansett att el från solceller kan vara intressant för detta ändamål (Fischer, Johnson, Finnell, & Price, 2009). Man fann i en studie att ett sådant testat solcellsdrivet system kunde fungera upp till två veckor utan sol (Fischer *et al.*, 2009).

Begränsning av mängden hästflugor

Hästflugor kan vara ett problem i djurhållningen bl.a. med hänsyn till smitta och en typ av fällor för dessa insekter som tagits fram och studerats i Ungern bygger på polariserat ljus och solceller (Blaho *et al.*, 2012). I studier har det observerats att många arter av hästflugor attraheras av horisontellt polariserat ljus. En utvecklad typ av fälla bygger på att fånga hästflugorna med hjälp av en solcell och att oskadliggöra dem med hjälp av el producerad av solcellen. Utseendet av arrangemanget kan liknas vid en svamp där solcellen är hatten, ca 60 cm i diameter. Den horisontellt orienterade solcellen producerar p.g.a. reflexer det polariserade ljus som lockar till sig flugorna. En vajer snurrar runt över solcellens yta med hjälp av en motor som drivs av solcellen och de insekter som försöker landa dödas när de träffas av vajern. I försöken fann man att över 90% av de attraherade insekterna (hästflugorna) kunde träffas av vajern och förgöras (Blaho *et al.*, 2012).

SOLCELLER I VÄXTHUSSAMMANHANG

I växthusanläggningar finns takytor på t.ex. lager och förbindelsegångar och oftast också ytor vid sidan om växthusen som kan förses med solceller för produktion av el. Möjligen kan det också i vissa fall vara intressant att installera solceller direkt på växthustak eller att med annan teknik använda sig av solinstrålning mot växthuset för produktion av el i solceller.

Takintegrerade solceller

I Italien har det gjorts försök där solceller placerats på och integrerats med växthustak (växthusglas) och man har studerat effekterna på några olika grödor (Minuto, Bruzzone, Tinivella, Delfino, & Minuto, 2009). I studien installerades semitransparanta solceller på växthustak i ett integrerat system. Två identiska växthus som var 24 m långa, 9,2 m breda och 3,5 m höga användes i studien. I ena växthuset ersattes 48,6 m² glas i taket med solpaneler (Wurth Solergy CIS) vilket gav en topp effekt på 4,1 kWp för anläggningen. Elproduktionen för CIS solcellerna på taket jämfördes med den från monokristallina solceller placerade på marken och effekten av skuggningen på olika växter studerades också. För basilika fann man inga större skillnader mellan växthusen. För tomater erhöll man i försöket ingen större skillnad avseende planthöjd och skörd, men frukterna var större i växthuset med solceller. Dock erhöll man p.g.a. skuggningen i växthuset med solceller förhållanden som gynnade mjöldagg.

Koncentrerande solceller i växthus

I Nederländerna har ett antal studier av solceller i anslutning till växthusodling gjorts. I sådana studier har försök gjorts med solcellsmoduler med koncentrerande solcellssystem (P. Sonneveld, Zahn, & Swinkels, 2010). I växthus med skuggväxter (krukväxter) som inte kräver så mycket ljus kan det vara en fördel att avlägsna den direkta strålningen så att man kan begränsa kylbehovet i växthuset och hålla det mer stängt med möjlighet att hålla högre koldioxidhalter. Man menar att om den direkta solinstrålningen blockeras, så kan upp till 77% av energitillförseln från solen blockeras med minskat kylbehov som följd (P. Sonneveld *et al.*, 2010).

Ett system med koncentrerande solceller som studerats bygger på att koncentrera solinstrålningen med hjälp av Fresnel-linser mellan dubbelglas i växthusets skal och att koncentrera solstrålningen till en (upp till ca 3 cm bred) fokallinje med solceller och samtidig kylning med vatten för att begränsa temperaturen och bibehålla en acceptabel verkningsgrad. Ett antal försök med lite olika utformning har gjorts.

Systemen i studierna är tekniskt avancerade och man har bl.a. undersökt möjligheterna till positionering av mottagaren (solceller och solfångare) i förhållande till strimman av koncentrerat ljus som erhålls från linserna under olika tider på året (P. J. Sonneveld, Swinkels, & van Tuijl, 2012). Man kom fram till att strimman med fokuserat ljus kunde hållas inom växthuset praktiskt taget hela året och att man med hjälp av ett styrsystem kan positionera mottagaren rätt med hjälp av två motorer; en motor styr avståndet mellan lins och mottagare och en motor styr orienteringen parallellt med linserna (P. J. Sonneveld *et al.*, 2012). I ett annat försök av samma forskargrupp i Nederländerna studerades möjligheterna att integrera solcellsmoduler i anslutning till växthusets nock (Swinkels & Sonneveld, 2010).



Figur 12. Principskiss över hur systemet med Fresnel-linser fungerar i ett försök vid Wageningen WUR. Foto: Sven Nimmermark



Figur 13. Interiör från ett försöksväxthus vid Wageningen WUR i Nederländerna där man gör studier av koncentrerande solcellssystem. Fresnel-linser i taket reflekterar solljuset till positionerbara längsgående profiler i nivå mellan takrännor ochnock. Foto: Sven Nimmermark.

TILLÄMPNINGAR I VATTENBRUK OCH VATTENMILJÖ – SOLCELLSDRIVNA BÅTAR

Vattenkontroll och bekämpning av biologiska skadegörare

Soleldrivna elektriska båtar kan användas i diverse applikationer för kontroll av vattenmiljön i dammar med akvakultur eller andra typer av vattenmiljöer. En tillämning som studerats är för kartläggning av temperaturer och syrehalter på olika platser och djup med hjälp av GPS positionering (S. Hall, Price, & Mandhani, 2004). Informationen kan användas bl.a. för att starta pumpar för syresättning av vattnet. De solcellsdrivna automatiskt styrda och körda (autonoma) båtarna kan också användas för bekämpning av biologiska skadegörare (S. G. Hall, Price, Mudgundi, & Mandhani, 2005)

Bekämpning av fågelangrepp på odlad fisk

I en annan studie gjordes försök att reducera antalet fiskätande fåglar i en fiskodlingsdamm med hjälp av autonoma soleldrivna båtar (Price & Hall, 2012). I en test i en 0,6 ha stor damm observerades en 85-procentig reduktion av antalet skarvar och en 70-procentig reduktion av antalet vadarfåglar och endast två mindre maskinhaverier observerades i ett en månad långt försök (Price & Hall, 2012).

Skörd av vattenväxter

Autonoma soleldrivna båtar har också utvecklats och studerats i tillämpningar för att skörda vattenväxter och biomassa av t.ex. andmat, vattensallad och vattenhyacinter (Taylor *et al.*, 2014).

SOLCELLSDRIVEN BEVATTNING I JORDBRUK OCH HORTIKULTUR

Bevattning med hjälp av solcellsdriven utrustning är en intressant tillämpning. Försök med ett litet soldrivet pivot-bevattningssystem har gjorts i Kanada (Derdall & Fonstad, 2006). Systemet bestod av en solpanel (160 Wp), två pumpar på vardera ca 90 W upphängda på varje torn på rampen och en batteribank. I försöken bevattnades två fält med huvudkål, selleri, blomkål, broccoli och brysselkål. Två olika bevattningsstrategier jämfördes. Bevattning med ett lägre flöde kvällar och nätter (95 l/minut) jämfördes ett högre flöde (380 l/minut) under dagtid. Bevattning med det lägre flödet resulterade i högre effektivitet för både vattenutnyttjande (producerad vikt per mm vatten – 20,8% högre) och energiåtgång (producerad vikt per mängd tillförd energi – 36,4% högre).

Trots att tekniken med solcellsdriven pumpning av vatten fungerar, så kan kostnaderna vara för höga för fattiga bönder i länder som Ghana, Indien eller Kina och en utveckling pågår därför för att reducera kostnaderna i sådana bevattningssystem. Det kan i sådana tillämpningar, då man önskar lägsta möjliga investeringskostnad, vara lönsamt att koncentrera solstälarna och använda en mindre yta med solceller (Jack Keller, Polak, Storaci, & Yoder, 2013).

Solceller för täckning av vattenreservoar och pumpning av vatten

I Spanien och också på andra ställen finns behov av system för begränsning av avdunstning från vattenreservoarer för bevattning samtidigt med att man har ett behov av energi för pumpning av bevattningsvattnet. I Spanien har man därför studerat en flytande täckning av en vattenreservoar med solceller integrerade i täckmaterialet (Ferrer Ferrer *et al.*, 2011). I systemet finns flytande moduler av polyetylen och mellan modulerna finns elastiska förband så att systemet kan anpassa sig till rörelser och olika vattennivåer.

SOLCELLER FÖR BATTERILADDNING OCH MINDRE MOTORER

Trots att det kan finnas kraftledningar i närheten, så kan el från solceller vara kostnadseffektiva också det gäller att ladda batterier och driva mindre motorer såsom handverktyg etc. (Fischer *et al.*, 2009).

EKONOMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SOLCELLER

EKONOMIN STYR INVESTERINGEN OCKSÅ FÖR SOLCELLER I LANTBRUKET

Motiven för en enskild lantbrukare att välja solceller kan variera. I en österrikisk studie undersökte man dessa motiv och fann att det fanns både miljömässiga och ekonomiska orsaker till beslutet att satsa på solceller (Brudermann, Reinsberger, Orthofer, Kislinger, & Posch, 2013). Man menade vidare att trots att lantbrukare rapporteras ha starka ekologiska attityder och att man tänker på nästa generation etc., så var det i studien ändå de ekonomiska övervägandena (såsom återbetalningstid mindre än 13 år) som till sist fällde avgörandet att investera i solceller (Brudermann *et al.*, 2013).

INVESTERINGSKOSTNAD

Investeringskostnaden för en solcellsanläggning kan reduceras i de fall man lyckas erhålla t.ex. statligt stöd.

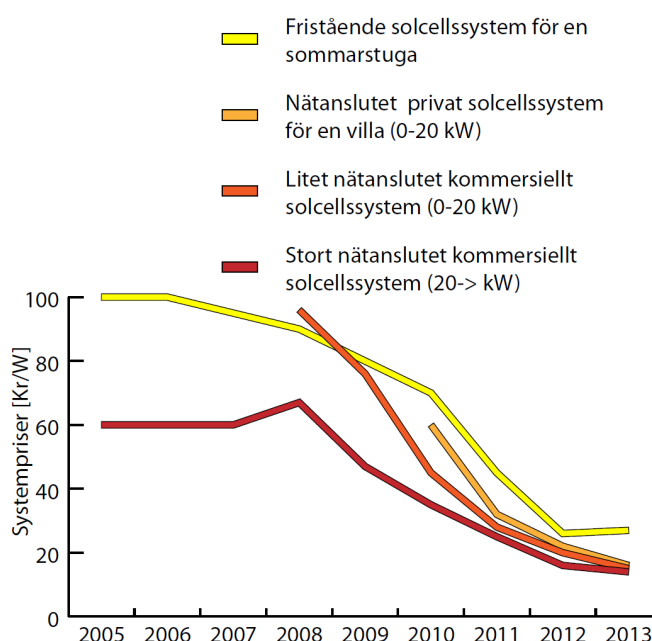
Med start 2009 har staten avsatt medel för stöd till solcellsanläggningar och för perioden 2013 - 2016 har en pott på 210 miljoner tillförts för sådant stöd (Energimyndigheten, 2014e).

Stödnivån sattes från och med den 1 februari 2013 till maximalt 35 procent av investeringskostnaden. Stöd kan erhållas under vissa förutsättningar och om det finns medel kvar i potten.

Då solcellssystemen sjunker i pris (Figur 14) blir det alltmer lönsamt att investera i solceller även utan de statliga bidragen.

LÖNSAMHET

Lönsamheten i att investera i solceller bestäms förutom av investeringskostnaden också av vilket pris man kan räkna med per producerad kWh. För den egna förbrukningen kan man



Figur 14. Prisutveckling på solcellssystem. Källa Energimyndigheten (2014b) Energimyndighetens informationsmaterial om solceller

räkna med en viss besparad kostnad och för den elenergi som säljs till ett elbolag kan priset vara ett annat. En del elbolag har för närvarande valt att betala så mycket som 1 kr per producerad kWh. Beroende på avtal avseende priser på köpt och såld energi kan lönsamheten variera. System och avtal för nettodebitering, dvs. att man under en viss fastställd period kvittar nedladdad energi mot energi som under perioden laddats upp ökar normalt sett lönsamheten. För små anläggningar kan anslutningsavgifter för anslutning till det fasta nätet vara kostsamma.

På senare år har en hel del svenska lantbruk investerat i solcellsanläggningar. I lantbrukspressen presenterade man för några år sedan kalkyler med en återbetalningstid på 15-20 år. Nyare sådana kalkyler pekar på kortare återbetalningstid, mindre än 15 år, och även kalkyler med statligt stöd och mindre än 10 års avbetalningstid har presenterats.

Lönsamheten för en anläggning måste bedömas från fall till fall.

SAMMANFATTANDE SLUTSATSER

Följande sammanfattande slutsatser kan göras av studien:

- Den typ av solceller som för närvarande är vanligast på marknaden är kristallina solceller och dessa har ofta en verkningsgrad på 15-17%. De tunnfilmssolceller som för närvarande förekommer på marknaden har oftast en verkningsgrad på upp till ca 14%. Att välja solceller med högst verkningsgrad behöver inte vara den bästa lösningen med avseende på lönsamhet då också priserna på solcellerna kan variera.
- Solceller som monteras ovanpå ett befintligt tak och ansluts till elnätet är den vanligaste utformningen av solcellsanläggningar också i lantbruket. Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar som t.ex. ersätter det befintliga takets funktion som väderskydd kan vara intressanta t.ex. i fall då man på en lantbruksbyggnad har ett befintligt tak som måste bytas ut. Solcellsanläggningar med solföljare monterade på stativ och som riktar in solpanelen optimalt mot solen under varje tidpunkt kan vara intressanta bl.a. då verkningsgraden blir något bättre än för fast monterade solpaneler.
- Hög temperatur hos solpanelen minskar verkningsgraden och det är därför viktigt att se till att det finns ventilation runt panelerna, t.ex. genom att montera solpaneler på distans över ett befintligt yttertak. Damm är i regel inget problem för solceller då regn och vind håller dem rena. I extremfall med torka (108 dagar) har man observerat en 20-procentig sänkning av verkningsgraden. Minskningen av producerad el p.g.a. att snö ansamlas på solpanelerna är oftast liten i södra Sverige.
- Ammoniak kan orsaka skada på en del solpaneler. Då solpaneler skall införskaffas till lantbruk med djurhållning, eller om det finns djurhållning i närheten, bör man vara observant på att de solceller som köps in är testade för ammoniakbeständighet. Det finns tyska tester avseende detta och säljaren bör kunna presentera dokumentation över att de tänkta solcellerna blivit godkända i dessa tester.
- Nätanslutna solcellsanläggningar där nätet kan fungera som lager av elström för eget bruk eller avnämare av den producerade elen från solcellerna (efter omvandling av den producerade likströmmen till växelström) är den intressantaste och vanligaste tillämpningen i lantbruket. Fristående system där solcellerna inte är anslutna till elnätet kan vara intressanta i vissa fall, t.ex. då det finns behov av el på platser långt ifrån det fasta nätet. Elen som produceras lagras då i batterier för användning vid behov.
- I mjölkproduktionen åtgår mycket elenergi för mjölkning och mjölkkyllning och bl.a. i denna produktionsgren anses det vara intressant med solcellsanläggningar. I de fall då hö (och inte bara ensilage) används som grovfoder kan solceller vara extra intressanta då hötorkningen sker under sommaren med mycket solinstrålning och goda möjligheter att producera solcellsproducerad el. Kombinationen solfångare och solceller är generellt sett intressant för torkning av hö oavsett djurslag, t.ex. även för hö till hästar.

- Växthusanläggningar kan förses med solceller på yttre anslutande ytor och t.ex. på lager och förbindelsegångar. Forskning och försök görs avseende avancerade koncentrerande solcellsanläggningar inuti växthus. Dessa kan kanske någon gång i framtiden också bli aktuella i kommersiella anläggningar.
- Fristående ej nätanslutna solcellsanläggningar med batterier för lagring av den producerade elen, kan i lantbruket och de gröna näringarna vara intressanta i en rad applikationer och bl.a. följande har studerats:
 - För djurhållning:
 - Pumpning av vatten till djur på bete
 - Koncentratutfodring av djur utomhus
 - Elstängsel
 - Minska mängden hästflugor
 - För bevattning
 - Pumpning och drift av bevattningsanläggningar
 - Täckning av vattenreservoarer och strömförsörjning av bevattningsanläggning
 - För laddning av mindre motorer
 - För vattenbruk
 - Självkörande solcellsdrivna båtar för vattenkontroll, för att skrämja bort fåglar som äter av den odlade fisken och för att skörda vattenväxter
- Trots att personer som arbetar på lantbruk och i den gröna näringen oftast är miljömedvetna och tänker på kommande generationer faller ekonomin ändå till sist det slutliga avgörandet om en investering i en solcellsanläggning. Då det gäller konventionella takmonterade och nätanslutna solcellsanläggningar har priserna på senare år sjunkit rejält, vilket ökat möjligheterna att göra en ekonomiskt lönsam investering i solceller.

Då det gäller svenska förhållanden kan det vara intressant att i framtida studier undersöka möjligheter och förutsättningar för solceller i bl.a. följande applikationer:

- Byggnadsintegrerade solceller för ersättning av yttertak på nya byggnader eller på gamla lantbruksbyggnader där taket behöver bytas
- Ansamling av damm på solceller i svensk landsbygdsmiljö
- Solcellsdriven bevattning av jordbruksgrödor och kanske speciellt av hortikulturella grödor under svenska förhållanden.

Samarbetspartners i eventuella framtida undersökningar av solceller i de gröna näringarna kan vara industriella partners med intressanta produkter och andra lärosäten inom och utom Sverige där forskning avseende solceller i lantbruket genomförs

REFERENSER

- Anonymous. (1986). The power of the sun for milking. *Agriculture International*, 39(9), 277-277.
- Bae, K.-S., Chung, S.-O., Kong, J.-W., & Huh, Y.-K. (2012). *Estimation of Electricity Generation for a Solar-Tracking Photovoltaic System*. Paper presented at the 2012 ASABE Annual International Meeting, July 29 – August 1, 2012, Dallas, Texas.
- Bardi, U., El Asmar, T., & Lavacchi, A. (2013). Turning electricity into food: the role of renewable energy in the future of agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 53, 224-231. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.04.014
- Blaho, M., Egri, A., Barta, A., Antoni, G., Kriska, G., & Horvath, G. (2012). How can horseflies be captured by solar panels? A new concept of tabanid traps using light polarization and electricity produced by photovoltaics. *Veterinary Parasitology*, 189(2-4), 353-365. doi: 10.1016/j.vetpar.2012.04.016
- Brudermann, T., Reinsberger, K., Orthofer, A., Kislinger, M., & Posch, A. (2013). Photovoltaics in agriculture: A case study on decision making of farmers. *Energy Policy*, 61, 96-103. doi: 10.1016/j.enpol.2013.06.081
- Brunsch, R., & Scholz, V. (2003). Individual water intake of cattle at photovoltaic pasture drinkers. [Individuelle Wasserversorgung von Rindern an einer Photovoltaik-Weidezentrale.]. *Landtechnik*, 58(6), 396-397.
- Clark, R. N., & Vick, B. D. (2008). *Livestock Water Pumping with Wind and Solar Power*. Paper presented at the ASABE Annual International Meeting, June 29 – July 2, 2008, Providence, Rhode Island.
- Derdall, E. B., & Fonstad, T. A. (2006). *Optimal Management of Solar Powered Mini-pivots for High Value Crops*. Paper presented at the 2006 North Central Inter-Sectional Conference, October 5-7, Saskatoon, SK Canada.
- Energimyndigheten. (2005). Solceller i byggnader - nya möjligheter. OH-presentation.
- Energimyndigheten. (2010). Solcellssystem (2010) Retrieved 03-10, 2014, from <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Solcellssystem-/?tab=3>
- Energimyndigheten. (2014a). CIGS tunnfilmssolceller Retrieved 11-03, 2014, from <http://www.energimyndigheten.se/Forskning/Kraftforskning/Solkraft/Solceller/CIGS-tunnfilmssolceller/>
- Energimyndigheten. (2014b). Fortsatt starkt intresse för solceller gav solcellseffekt på 43,1 MW under 2013, from <http://www.energimyndigheten.se/press/pressmeddelanden/fortsatt-starkt-intresse-for-solceller-gav-solcellseffekt-pa-431-mw-under-2013/>
- Energimyndigheten. (2014c). Färgsensibiliserade solceller, from <http://www.energimyndigheten.se/Forskning/Kraftforskning/Solkraft/Solceller/Fargsensibiliserade-solceller/>
- Energimyndigheten. (2014d). Solceller Retrieved 11-03, 2014, from <http://www.energimyndigheten.se/Forskning/Kraftforskning/Solkraft/Solceller/>
- Energimyndigheten. (2014e). Stöd till solceller, 2014, from <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Aktuella-bidrag-och-stod-du-kan-soka/Stod-till-solceller/>

- EREC. (2002). EREC Brief: Agricultural Applications of Solar Energy. Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse (EREC), 2014, from <http://infohouse.p2ric.org/ref/24/23989.htm>
- Everitt, B., & Christiansson, A. (1996). Sporer i mjölk - omfattning, orsak och betydelse för vidareförädlingen. Del 1. Mjök SLU *Info rapporter. Allmänt* (Vol. 197, pp. 1-8): SLU Info/Redaktionen.
- Ferrer Ferrer, C., Ferrer Gisbert, C., Redon Santafe, M., Ferran Gozalvez, J. J., Sanchez Romero, F. J., Torregrosa Soler, J. B., & Pons Puig, E. (2011). *Technical performance of a photovoltaic floating cover system*. Paper presented at the International Conference on Agricultural Engineering - AgEng 2010: towards environmental technologies, 6-8 September 2010, Clermont-Ferrand, France.
- Fischer, J. R., Johnson, S. R., Finnell, J. A., & Price, R. P. (2009). Renewable Energy Technologies in Agriculture - Solar, wind, geothermal, and anaerobic digestion. *Resource, April/May 2009*, 4-9.
- Gardner, M. O., Buckmaster, D. R., & Muller, L. D. (1995). Development of a mobile solar-powered dairy concentrate feeder. *Applied Engineering in Agriculture, 11*(6), 785-790.
- Grätzel, M. (2011). Molecular photovoltaics mimic photosynthesis. *European Biophysics Journal with Biophysics Letters, 40*, 37-37.
- Hall, S., Price, R. R., & Mandhani, N. (2004). *Use of Autonomous Vehicles for Drinking Water Monitoring and Management in an Urban Environment*. Paper presented at the ASAE/CSAE Annual International Meeting, 1 - 4 August 2004, Ottawa, Ontario, Canada.
- Hall, S. G., Price, R. R., Mudgundi, A., & Mandhani, N. (2005). *Use of autonomous vehicles for improving sustainability via water quality and biological pest management*. Paper presented at the ASAE Annual International Meeting, 17 - 20 July 2005, Tampa, Florida.
- Hörndahl, T. (2007). Energiförbrukning i Jordbrukets driftsbyggnader - en kartläggning av 16 gårdar med olika driftsinriktning *Rapport 145*. Alnarp: SLU. Inst. för Jordbrukets Biosystem och Teknologi.
- Hörndahl, T. (2014). Opublicerade data.
- Irps, H., & Sonnenberg, H. (1997). Renewable energy in dairy cow housing. [Erneuerbare Energien im Milchviehstall.]. *Landtechnik, 52*(4), 200-201.
- Jack Keller, P. E., Polak, P., Storaci, P., & Yoder, R. (2013). Sun-Powered Irrigation. *RESOURCE, November/December 2013*, 20-22.
- Kjellsson, E. (2000). Potentialstudie för byggnadsintegrerade solceller i Sverige - Rapport 2. Analys av instrålningsnivåer på byggnadsytor *Rapport TVBH-7216*. Lund: Avdelningen för Byggnadsfysik, LTH (Lunds Tekniska högskola), Lunds universitet.
- Mejia, F., Kleissl, J., & Bosch, J. L. (2014). The effect of dust on solar photovoltaic systems. *Proceedings of the Solarpaces 2013 International Conference, 49*, 2370-2376. doi: 10.1016/j.egypro.2014.03.251
- Melville, K. (2011). Solar Cell Efficiency Approaching 50%:
<http://www.scienceagogo.com/news/20070625035707data_trunc_sys.shtml> sept, 2011.
- Minuto, G., Bruzzone, C., Tinivella, F., Delfino, G., & Minuto, A. (2009). Photovoltaics on greenhouse roofs to produce more energy. [Fotovoltaico sui tetti delle serre per produrre anche energia.]. *Informatore Agrario Supplemento, 65*(10,Supplemento), 16-19.

- Muller, J., Reuss, M., & Schulz, H. (1995). Photovoltaics in agriculture. Operational results of a demonstration project. [Photovoltaik in der Landwirtschaft. Betriebsergebnisse des Demonstrationsvorhabens.]. *Landtechnik*, 50(1), 24-25.
- Ny Teknik. 2011. Så kan solcell bli 90 procent billigare. *Ny teknik*, 25 augusti 2011.
- Petzold, K. (2011). Ammonium hydroxide attacks panels *PV Magazine*, 2011(9).
- Price, R. R., & Hall, S. G. (2012). Design, development, and testing of an autonomous boat to reduce predatory birds on aquaculture ponds. *Biological Engineering Transactions*, 5(2), 61-70.
- SEAI. (2010). Best practice guide photovoltaics (PV): SEAI, Sustainable energy agency of Ireland.
- Sonneveld, P., Zahn, H., & Swinkels, G.-J. (2010). A CPV System with Static Linear Fresnel Lenses in a Greenhouse. In A. W. Betts, F. Dimroth, R. D. McConnell & G. Sala (Eds.), *6th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems* (Vol. 1277, pp. 264-267).
- Sonneveld, P. J., Swinkels, G. L. A. M., & van Tuijl, B. A. J. (2012). Up Scaling and Test Results of an Advanced Fresnel Greenhouse. In C. Kittas, N. Katsoulas & T. Bartzanas (Eds.), *International Symposium on Advanced Technologies and Management Towards Sustainable Greenhouse Ecosystems: Greensys2011* (Vol. 952, pp. 531-537).
- Svensk solenergi. (2014). Solcellens funktion Retrieved 2014-11-03, 2014, from <http://www.svensksolenergi.se/fakta-om-solenergi/Solel/solcellens-funktion>
- Swinkels, G. L. A. M., & Sonneveld, P. J. (2010). *Greenhouse with a CPV system based on NIR reflecting lamellae: optimizing of optics*.
- Taylor, A., Tykol, A., Silvia, C., Smith, D. D., Cotlar, S., & Hall, S. G. (2014). *Development of an Autonomous Boat for Sustainable Aquatic Plant Biomass Collection*. Paper presented at the 2014 ASABE and CSBE/SCGAB Annual International Meeting, July 13 – 16, 2014, Montreal, Quebec Canada.
- Thomas, R. S., & Buckmaster, D. R. (2003). A programmable, multiple supplement cattle feeder for pasture use. *Applied Engineering in Agriculture*, 19(4), 511-520.
- Ting, K. C., Singley, M. E., & Flory, R. G. (1988). Performance of a combined photovoltaic air-heating flat-plate collector. *Transactions of the Asae*, 31(1), 178-181.
- van Noord, M. (2010). Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar. Europeisk Best-Practice *ELFORSK* 10:41.