

# Solceller

## – Lönsamt och långsiktigt hållbart energiförsörjningsalternativ för Landstinget Blekinge?

**Matilda Svensson**

Blekinge Tekniska Högskola  
Institutionen för Strategisk Hållbar Utveckling  
Karlskrona  
2016

Följande arbete är utfört som en obligatorisk del av utbildningen på programmet "Högskoleingenjör i Energisystem för Hållbar Utveckling" på Blekinge Tekniska Högskola.



*I samarbete med*



# Sammanfattning

Landstinget Blekinge är en av Blekinge Läns största fastighetsägare och har idag ett stort elbehov på grund av sin energiintensiva verksamhet. I enlighet med organisationens miljöplan finns önskemål om att utreda möjligheterna att producera egen el med solceller. Denna utredning har som syfte att analysera egenproducerad solel utifrån lönsamhet och långsiktig hållbarhet.

Rapporten utgår från att beskriva potential och ekonomiska förutsättningar för installation och drift av solcellsanläggningar i Sverige, framtida energisystem, samt hur en installation skulle förändra förutsättningarna för den dagliga verksamheten för Landstinget utifrån underhåll och säkerhet. Därefter presenteras en teoretisk projektering som resulterade i två olika solcellsanläggningar för att påvisa eventuell lönsamhet, kostnad för producerad el och en uppskattad årsproduktion i förhållande till Landstingets årliga elbehov.

För att genomföra en adekvat projektering och få kunskap gällande underhåll och säkerhet genomfördes intervjuer med sakkunniga och företag som investerat i solcellsanläggningar. Resultatet presenteras som två olika anläggningar vilka skiljer sig åt map storlek och montering. Placeringsalternativ A) har en installerad topp effekt på 101 kW med en investeringskostnad på 1 100 000 – 1 260 000 kr och placeringsalternativ B) en installerad topp effekt på 145 kW till en kostnad av 1 500 000 – 1 740 000 kr. Trots dessa skillnader blev divergensen i återbetalningstid och kostnad för producerad el marginell, både med och utan solcellsstöd.

Lönsamheten är mest fördelaktig vid ett beviljat solcellsstöd och ger större ekonomisk hållbarhet med en återbetalningstid på 9,8 – 11,3 år för placeringsalternativ A) och 10 – 11,5 år för placeringsalternativ B). I förhållande till en livslängd för anläggningarna på 25 – 30 år är det en lönsam investering.

Med en större årsproduktion och lättare montering i förhållande till vindlast drogs en slutsats om att anläggningen på 145 kW skulle gynna Landstinget mest både ur ett ekonomiskt och hållbart perspektiv. Det genom att anläggningen efter återbetalningstiden genererar en högre kostnadsbesparing, samt resulterar i en större minskning av av koldioxidutsläpp till följd av en av högre årsproduktion.

Flera källor visar att solceller är en del av ett framtida energisystem och långsiktigt hållbart pga fördelar gentemot minskade utsläpp av växthusgaser. Genom en eventuell investering i solceller kan Landstinget Blekinge stärka och utveckla ett grönt varumärke med en förnybar energiförsörjning i form av en solcellanläggning som bidrar till hållbar utveckling i enlighet med organisationens miljöplan, samt nationella och europeiska klimat- och miljömål.

## **Nyckelord:**

Solceller, egenproducerad el, ekonomisk lönsamhet, långsiktig hållbarhet.

# Abstract

The County Council of Blekinge is one of the county's largest property owner and has today a great need of external distribution och electricity due to the organization's energy intensive operations. According to the County Council's environmental plan there is a desire to investigate the possibilities of producing electricity with solar cells. Therefore this feasibility study has the purpose of analyzing its profitability and long-term sustainability following a possible future investment.

The report proceeds to describe potential and economic prerequisites for solar cells in Sweden, future energy systems, as well as changing conditions for the daily operations regarding maintenance and safety with a solar cell plant. Thereafter, with the use of a theoretical projection of a solarplant that resulted in two different, the study determines possible profitability, cost of produced electricity and an estimated yearly production relative to the County Council's need of external electricity.

To perform an adequate projection and receive knowledge about maintenance and safety interviews with special advisers and organizations which have invested in solar cell plants interviews was performed. The result is presented as two solar plants that differs in size and mounting. Alternative A) has an installed power of 101 kW with a cost of investment of 1 100 000 – 1 260 000 SEK, and alternative B) has an installed power of 145 kW to the cost of 1 500 000 – 1 740 000 SEK. Despite the differences was the disparity in pay-back-time and cost of produced electricity fractional, with or without subsidies.

The profitability is the most beneficial with an issued subsidy for solar cells and implicates a shorter pay-back-period of 9,8 – 11,3 years for alternative A) and 10 – 11,5 years for alternative B). Relative to the economic lifespan of a solar plant of 25 – 30 years it is a profitable investment.

With a higher estimated yearly production and easier mounting considering wind load a conclusion was drawn that alternative B) with an installed power 145 kW would benefit the County Council the most from an economic and sustainable perspective. Because after the pay-back-period has ended it would generate more savings of money and a greater lowering of carbon dioxide emissions as a result of the higher annual production of electricity.

Several sources show that solar cells are a part of a future energy system and is long-term sustainable due to benefits considering lowered carbon dioxide emissions. At an investment the County Council of Blekinge could strengthen and develop a green brand with a renewable energy supply with a solar cell plant which would contribute to sustainable development according to the organization's environmental plan, as well as national and European climate and environmental goals.

## **Keywords:**

Solar cells, long-term sustainability, economic profitability, self-produced electricity.

# Förord

Jag vill tacka Landstinget Blekinge och Åsa Norrby, handledare inom organisationen, för att jag fick möjligheten att genomföra mitt examensarbete inom Landstingsförvaltningen. Tack även till Pia Lindahl, handledare från BTH och programansvarig som under vår treåriga utbildning alltid har lyssnat på oss och våra önskemål!

Speciellt tack till Ulf Åman, Ulf Klint, Conny Berg och Kenth Petersson för att jag fick ta del av er kunskap och erfarenheter. Samt all personal på drift- och underhållsavdelningen och projektavdelningen för att alltid bistått med hjälp när jag behövt.

Och såklart päronen och alla vänner som hållt mitt huvud kallt i två månader!

*Tack ! / Matilda Svensson*

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Förord</b> .....	<b>4</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>7</b>
1.1 Syfte och målsättning .....	8
1.2 Frågeställning .....	8
1.3 Tidigare utredningar .....	8
<b>2 Metod/Genomförande</b> .....	<b>9</b>
2.1 Litteraturstudie .....	9
2.2 Intervjuer .....	9
2.3 Projektering av solcellsanläggning .....	10
2.4 Beräkning av elproduktion .....	11
2.5 Ekonomisk analys .....	11
2.6 Elbehov för området Blekingesjukhuset Karlskrona och elpris .....	12
2.7 Hållbarhetsanalys .....	13
<b>3 Teori</b> .....	<b>14</b>
3.1 Solenergi, tillgångar och potential .....	14
3.2 Svenska klimat- och energimål och satsningar på solenergi .....	15
3.3 Framtida energisystem i Sverige .....	16
3.4 Grönt varumärke och solceller .....	17
3.5 Ekonomiska förutsättningar för solceller .....	18
3.5.1 Dagens elpriser och framtida prognos .....	18
3.5.2 Prisutveckling för solceller .....	20
3.5.3 Solcellstödet .....	20
3.5.4 Elcertifikatsystem .....	21
3.6 Att vara producent av solel .....	22
3.6.1 Uppbyggnad av en solcellsanläggning .....	22
3.6.2 Underhåll .....	24
3.6.3 Säkerhet .....	24
<b>4 Resultat – teoretisk projektering av solcellsanläggning</b> .....	<b>25</b>
4.1 Kartläggning av tak .....	26
4.2 Optimal vinkel och skugganalys .....	27
4.3 Placering och montering .....	28
4.4 Beräkning av avstånd mellan solcellsmoduler .....	29
4.5 Projekterade solcellsanläggningar .....	31
4.5.1 Placeringsalternativ A) – stående paneler 41° vinkel .....	31
4.5.2 Placeringsalternativ B) – liggande paneler 15° vinkel .....	32
4.5.3 Jämförelse av placeringsalternativ A) och B) .....	33
4.5.4 Underhåll .....	35
4.5.5 Säkerhet .....	35
<b>5 Hållbarhetsanalys av solcellsanläggning</b> .....	<b>36</b>

<b>6</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b> .....	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Appendix</b> .....	<b>49</b>
9.1	Uppskattad årsproduktion av solel .....	49
9.1.1	Uppskattad årsproduktion - Placeringsalternativ A) .....	49
9.1.2	Uppskattad årsproduktion - Placeringsalternativ B) .....	51
9.2	Ekonomisk analys av en investering .....	53
9.2.1	Ekonomisk analys – Placeringsalternativ A) .....	53
9.2.2	Ekonomisk analys – Placeringsalternativ B).....	55

# 1 Inledning

Landstinget Blekinge är inom länet en av de största fastighetsägarna [1] och har energikrävande verksamhet för drift av lokaler och energiintensiv utrustning. Därmed finns ett stort elbehov och till följd ett högt eluttag från det lokala elnätet. Målsättningen är att med andra energitekniska lösningar effektivisera energianvändandet, minska det externa elbehovet och sänka elkostnaderna med metoder som bidrar till hållbar utveckling.

Enligt Landstinget Blekinges rådande miljö- och hållbarhetsplan [2] (gäller från 2014 till och med 2024) är en av de fyra övergripande strategierna för Landstinget att bidra till hållbar utveckling, där begreppet definieras utifrån ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Genomförande av miljöplanen förväntas ge positiva effekter inom samtliga tre områden och för målområdet energi är visionen att ha *”en energiförsörjning som är effektiv, fossiloberoende och i övrigt långsiktigt hållbar”*[2]. Ett av delmålen är att all inköpt el är förnyelsebar och en av flera tänkbara åtgärder är att öka andelen egenproducerad el från exempelvis solenergi. Därför vill Landstinget undersöka möjligheterna att investera i en solcellsanläggning för elproduktion inom området för Blekingesjukhuset i Karlskrona.

Solceller är en förnyelsebar energikälla som hämtar sitt bränsle från jordens största och näst intill obegränsade energikälla solen [3] och har vid produktion av el inga utsläpp av växthusgaser. Tekniken används i Sverige av privatpersoner, organisationer eller företag som vill förse sig med energi från en förnyelsebar källa och investeringarna ökar [4]. Solbaserad energiförsörjning anses vara en del i ett framtida energisystem [41][42][44] och enligt en redan genomförd utredning av Solect Power [5] på uppdrag av Landstinget visades det att flera av organisationens byggnader i Karlskrona har lämpliga tak där solceller kan placeras. Däremot råder osäkerhet kring ekonomisk lönsamhet, samt teknikens för- och nackdelar vad gäller säkerhet, underhåll och långsiktiga hållbarhet. För att svara på den frågan är avsikten att med hjälp av ett teoretiskt exempel projektera en solcellsanläggning och analysera Landstinget Blekinges förutsättningar för att investera i en sådan. Genom det resultatet tillsammans med en litteraturstudie kan förändringen av organisationens externa eluttag, den ekonomiska lönsamheten, verkan på Landstingets miljöarbete, samt teknikens för- och nackdelar och om huruvida solceller bidrar till en långsiktig hållbar utveckling utredas.

Då Landstinget är en politiskt styrd organisation kommer eventuella framtida investeringar i solceller att beslutas av den politiska organisationen. Investeringsspengar inom Landstingets budget ska fördelas inom flera olika åtgärdsområden, som bland annat medicinteknikutrustning, IT och fastighet. Därför har studiens resultat som målsättning att verka som underlag för ett eventuellt framtida politiskt beslut genom att påvisa positiv och negativ verkan för organisationen till följd av en investering i en solcellsanläggning. Även om fastighetsutvecklingsplanerna ändras för den valda byggnaden som valts till det teoretiska exemplet kan resultatet tjäna som underlag.

Det leder fram till att problemformuleringen för studien lyder; *”Är solceller ett lönsamt och långsiktigt hållbart energiförsörjningsalternativ för Landstinget Blekinge?”*

## 1.1 Syfte och målsättning

Studien har som syfte att undersöka möjligheterna för Landstinget Blekinge att investera i en solcellsanläggning utifrån ett ekonomiskt och hållbart perspektiv. Målsättningen är att resultatet ska kunna verka som underlag för ett politiskt beslut.

## 1.2 Frågeställning

För att uppnå syfte, mål och avgöra lönsamhet och långsiktig hållbarhet strävar studien efter att besvara följande frågeställningar:

- Förutsättningar för sol i Sverige?
- Ekonomiska förutsättningar för att investera i en solcellsanläggning?
- Förändrade förutsättningar för Landstinget Blekinge i den dagliga verksamheten utifrån drift, underhåll och säkerhet?
- Solceller som en del i ett framtida energisystem i Sverige?

## 1.3 Tidigare utredningar

På uppdrag av Landstinget Blekinge har Solect Power genomfört en utredning angående solcellsmöjligheterna för Blekingesjukhuset i Karlskrona [5]. Utredningen ger förslag på lämpliga byggnader att placera en solcellsanläggning på, storlek på anläggningar, årlig produktion och investeringskostnad exklusive moms. Utredningen behandlar även tekniska lösningar som solcellsmoduler, växelriktare och montage. Föreslaget montage för samtliga anläggningar är att solcellsmodulerna placeras med en vinkel på 15 °.

De byggnader som Solect Power rekommenderade var byggnad 25, 26, 28, 32, 33 och 40 för område 02, Blekingesjukhuset i Karlskrona. För denna studie valdes byggnad 33 för vilken det angavs en anläggning med installerad topp effekt på 100 kW och årlig produktion på 100 000 kWh till en investeringskostnad på 1 400 000 kr, exklusive moms [5].

## 2 Metod/Genomförande

För att svara på frågan om huruvida en solcellsanläggning är ett lönsamt och långsiktigt hållbart energisystem för Landstinget Blekinge att investera i krävdes ett systematiskt angreppssätt med olika metoder. Arbetet har ett förklarande och beskrivande syfte för att motivera ett eventuellt framtida beslut om en investering. För att genomföra studien användes litteraturstudie, intervjuer, ekonomiska beräkningar, samt analys av den införskaffade kunskapen från litteraturstudien angående egenproducerad solels hållbarhet och framtida potential.

### 2.1 Litteraturstudie

För litteratursökning användes kedjesökning och systematisk sökning [6]. Sökperioden var mellan 23 mars till 14 juni år 2016, vilket medförde att nyckelorden över tid förändrades. Litteraturstudien syftade till att besvara frågeställningen (se avsnitt 1.2) och på så sätt tillhandahålla kunskaper angående förutsättningar för solel i Sverige, ekonomiska förutsättningar för en investering, förändrade förutsättningar för Landstinget Blekinge och solceller som en del i ett framtida energisystem. Använda nyckelord var; solceller, egenproducerad el, ekonomisk lönsamhet, långsiktig hållbarhet

### 2.2 Intervjuer

Intervjuer med sakkunniga och representanter från företag genomfördes och skriftliga anteckningar skrevs ner. Syftet med intervjuerna var att på ett adekvat sätt genomföra en projektering, erhålla praktiskt information gällande underhåll och säkerhet av anläggningar, samt företagens hållbarhetsarbete. Respondenter var:

- **Ulf Åman, VD för Solect Power, Vilshult;** är ett solcells företag med stor erfarenhet som levererar solel från projektering till färdig installation [7].
- **Ulf Klint, teknisk chef på AB Karlskronahem, Karlskrona;** Karlskronahem investerade i en solcellsanläggning år 2010 och har därefter satsat på ett flertal solvärme- och solcellsanläggningar [8][9].
- **Conny Berg, stormarknadschef för Coop Konsum, Karlshamn;** företaget investerade i Sveriges tredje största solcellsanläggning på ett och samma tak år 2013. Utöver det bedrivs ett omfattande hållbarhetsarbete med bland annat organiskt avfall för tillverkning av biobränsle, återvinningsbara kundvagnar och pantning av importburkar [10].
- **Kenth Petersson, brandskyddscontroller på Landstinget Blekinge, Karlskrona;** intervjuades angående brandskydds säkerhet och tidigare utredningen med räddningstjänsten om säkerhet kring en solcellsanläggning [11].

## 2.3 Projektering av solcellsanläggning

Projekteringsupplägg planerades i samråd med sakkunniga på Solect Power [7] (se avsnitt, 2.4) och innehåller följande:

- **Val av byggnad och tak**; byggnad valdes tillsammans med ansvariga på Landstinget Blekinge.
- **Kartläggning av tak**; genomfördes med hjälp av sektionsritningar över vald byggnad och praktiskt mätning med mätinstrument.
- **Takets placering mot söder**; uppskattades med hjälp av Google Earth.
- **Skugganalys**; genomfördes enligt informationsvideo av Solar Schoolhouse [12] och med hjälp av ett diagram över solens elevationsvinkel och azimutvinkel utifrån Blekingesjukhuset i Karlskronas geografiska plats. Diagrammet togs fram med hjälp av ett program framtaget av University of Oregon, Solar Radiation Monitoring Laboratory [13] och inmatad koordinater för området var; latitud: 56,1821 och longitud: 15,6049 [14].  
Analysen genomfördes för att avgöra om anläggningen skuggas under de timmar på dagen då energin från solen är som intensivast, det är mellan kl 09 – 15.00.
- **Beräkning av optimal vinkel för Blekingesjukhuset Karlskrona**; bestämdes med hjälp av beräkningsprogrammet PVGIS-CMSAF [15], som har som funktion att ta fram optimal vinkel för området. Det krävde specifika koordinater för Blekingesjukhuset i Karlskrona, se ovan [14].
- **Förslag på montering och vinkel**; i studien behandlas två olika alternativ där solcellsmodulerna är placerade stående i 41° vinkel och liggandes i 15° vinkel.
- **Beräkning av radavstånd mellan solcellsmoduler**; bygger på soldiagrammet framtaget i skugganalysen. Skuggkastningens längd beror på solens elevationsvinkel, solcellsmodulens lutning och längd och beräknades med hjälp av trigonometriska formler (se avsnitt 4.4). Det beräknade radavståndet kontrollerades genom simulering i programmet SketchUp [16].
- **Dimensionering**; eftersom fastigheterna inom området för Blekingesjukhuset i Karlskrona är energiintensiva dimensionerades storlek på anläggningen utifrån tillgänglig takyta och en godtycklig solcellsmodul som referens. Dimensioneringen genomfördes med hjälp av programmet SketchUp [16] som är ett 3D-program som används för bland annat konstruktion och arkitektur.

## 2.4 Beräkning av elproduktion

Uppskattad årsproduktion utav solcellsanläggningarna är beräknade med PVGIS-CMSAF [15]. Det bygger på data över solinstrålning från år 1998 till mitten av 2010 och har som syfte att ange potentialen för solceller i olika områden. Nackdelar med programmet är att det råder större osäkerhet kring resultatet för anläggningar med hög installerad toppeffekt och att skuggning av moduler inte tas i beaktning eller växelriktares effektivitet [17].

Parametrar för beräkning är:

- **Koordinater för det geografiska området** (se avsnitt 2.3).
- **Typ av solcellsmodul**; kristallint kisel eller tunnfilmssolceller CISG (koppar, indium, gallium och selenid) och CdTe (kadmium och tellur).
- **Installerad toppeffekt (kWp)**.
- **Estimerade systemförluster (%)**; eftersom det saknas kunskap om systemförluster användes det förinställda värdet i programmet på 14 %.
- **Monteringsposition**; fristående solcellsmodul eller integrerat i byggnad.
- **Lutning/vinkel på modul**.
- **Azimutvinkel**; solens vinkel i horisontalplanet.

För ett ge ett restriktivt värde på förväntad elproduktion vid beräkning av ekonomisk lönsamhet korrigerades värden utifrån angiven effektgaranti för referensmodulen (se avsnitt 4 och figur 5). Effekt garantin är linjär över 25 år och med programmets värde för årsproduktionen som underlag beräknades sedan produktion för alla 25 år och den angivna årsproduktion i resultatet är ett medelvärde av det (se appendix, avsnitt 9.1.1 och 9.1.2).

Därefter beräknades nyckeltal som kWh/m<sup>2</sup> takyta, procentuellandel av Landstingets inköpta elbehov för området Blekingesjukhuset i Karlskrona som elproduktionen skulle täcka och minskade koldioxidutsläpp i kg/år i förhållande till Sveriges energimix.

## 2.5 Ekonomisk analys

Den totala investeringskostnaden exklusive moms är uppskattad av två olika solcells företag [18][19] och för att avgöra den ekonomiska lönsamheten för en investering av en solcellsanläggning användes följande metoder; annuitetsmetoden (årskostnadsmetoden) och Pay-Back-metoden (återbetalningsmetoden).

Annuitetsmetoden används vid investeringskalkyler för att beräkna ett kapitalvärde fördelat över den ekonomiska livslängden för ett investeringsalternativ [20]. Årskostnaden är ett annuitetslån där summan av ränta och amortering är sammanslaget lika stort fördelat under avskrivningstiden, dvs motsvarande den ekonomiska livslängden. Från årskostnaden beräknas kostnaden för den producerade elen. Årskostnaden beräknades enligt följande [21]:

$$a = \frac{\frac{r}{100} * q^n}{q^n - 1} \quad (1)$$

$a =$  annuitetsfaktor,  $r =$  ränta,  $n =$  avskrivningstid

$$K_{\bar{a}} = a * K_i \quad (2)$$

$K_{\bar{a}} =$  årskostnad,  $K_i =$  investeringskostnad

Pay-Back-metoden är en enkel metod att beräkna återbetalningstiden för en investering som inte omfattar kalkylränta, ekonomisk livslängd eller restvärde [20]. Slutsats att dra från metoden angående lönsamhet är att investeringsalternativ med kortare återbetalningstid jämfört med längre är mer fördelaktiga. Beräknas [20]:

$$\text{Pay} - \text{Back} - \text{tid (år)} = \frac{\text{Grundinvestering}}{\text{Årligt inbetalningsöverskott}} \quad (3)$$

Inbetalningsöverskott är inkomna pengar till organisationen minus årliga kostnader. I detta fall beräknas återbetalningstiden genom att dividera den totala investeringskostnaden med värdet av den producerade elen minus eventuella kostnader kopplade till solcellsanläggning.

## 2.6 Elbehov för området Blekingesjukhuset Karlskrona och elpris

Landstinget Blekinge har energikrävande fastigheter för området Blekingesjukhuset i Karlskrona som förra året 2015 hade en elanvändning på 21 600 MWh med en BRA-yta (bruksarea) på 147 893 m<sup>2</sup> [22]. 5 300 MWh av dem producerades av vindkraft i ett kooperativ där Landstinget äger andelar och därmed är 16 300 MWh andelen inköpt el. Det ger nyckeltalet 145,8 kWh/m<sup>2</sup> beräknat på det totala elbehovet och 109,9 kWh/m<sup>2</sup> för andelen inköpt el.

Vid jämförelse av hur mycket av Landstingets elbehov en solcellsanläggning skulle täcka utgår denna studie från andelen inköpt el och bortser från den redan egenproducerade vindkraftselen.

Värdet på den egenproducerade elen sattes i relation till det elpris Landstinget idag betalar. De har ett rörligt elpris och ett grönt elavtal där all el kommer från lokalproducerad förnybar energi [23]. Landstingets elhandelsbolag angav ett bedömt elpris för år 2016 på 42,718 öre/kWh, exklusive energiskatt och nätavgifter [24]. Nätavgiften för området är 20 öre/kWh exklusive moms [25] och energiskatten 29,4 öre/kWh [26]. Därför uppskattades ett elpris på 0,9 kr/kWh för studien och är det som har använts i beräkningar.

## 2.7 Hållbarhetsanalys

Syftet med hållbarhetsanalysen är att avgöra om solceller är en långsiktigt hållbar energilösning och runt det resonera på vilket sätt Landstinget Blekinge ur ett hållbarhetsperspektiv påverkas av att investera i en solcellsanläggning. Det gjordes genom tidigare nämnd litterastudie och med hjälp av hållbarhetsprinciperna [27] som ett verktyg för att definiera hållbarhet.

Hållbarhetsprinciperna är byggstenarna i ett hållbart samhälle, och i ett sådant samhälle får dessa principer inte brytas. De är framtagna av Karl-Henrik Robért, som är grundaren av organisationen Det Naturliga Steget [28], och forskare från Blekinge Tekniska Högskola (BTH).

Och lyder [27]:

*”I det hållbara samhället, utsätt inte naturen för systematisk...*

- 1. ... koncentrationsökning av ämnen från berggrunden (t. ex. fossila bränslen, metaller och mineraler).*
- 2. ... koncentrationsökning av ämnen från samhällets produktion (t. ex. svårnedbrytbara kemikalier som bromerade slamskyddsmedel och naturligt förekommande ämnen som kväve).*
- 3. ... undanträngning med fysiska metoder (t. ex. avskogning och utarmning av ekosystem).*
- 4. ... och det finns inga strukturella hinder för människors hälsa, inflytande, kompetens, opartiskhet och mening.”*

Analysen görs utifrån ett livscykelperspektiv med avseende på materialutvinning, produktion av solceller, drift- och underhåll av anläggning och restshantering och inkluderar kiselbaserade solceller och tunnfilmssolceller (CIGS och CdTe).

## 3 Teori

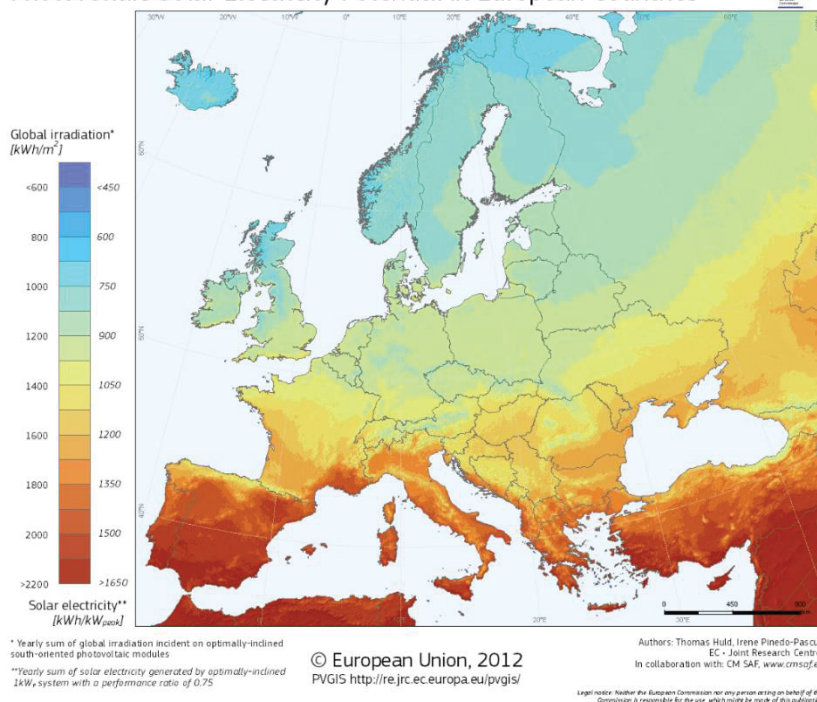
### 3.1 Solenergi, tillgångar och potential

Varje dag nås jorden av energi från solen i form av solstrålning och det är en förnyelsebar och i näst intill outhärlig resurs. Solen ger förutsättningen för allt liv på jorden och är drivkraften bakom andra förnyelsebara energiformer som exempelvis vindenergi och bioenergi [3]. Den mängd energi som når jordens yta under en timme är mer än den mängd som hela jordens befolkning använder under ett år [29]. Solceller omvandlar denna energi till elektricitet med hjälp av solstrålningens energibärare, fotonerna, men den konverteringen är starkt beroende av när solen skiner eftersom solcellernas effekt minskar med solinstrålningen.

Mängden och energiflödet som når jordens atmosfär är cirka  $1\,375\text{ W/m}^2$ , medan den som når jordens yta är  $1\,000\text{ W/m}^2$  [3]. Däremot varierar den genomsnittliga solinstrålningen per år med avståndet mellan solen och jorden som sker cykliskt, samt beroende vart på jorden man befinner sig [3]. I Sverige varierar mängden energi mellan ca  $800\text{ kWh/m}^2$  per år i norr till ca  $1\,000\text{ kWh/m}^2$  per år i söder [30]. Potentialen är sådan att Sveriges totala landyta tar emot ca  $360\,000\text{ TWh}$  solenergi per år, vilket är ca 630 gånger mer än den totala energitillförseln i Sverige år 2013 på  $565\text{ TWh}$  [31] inom samtliga sektorer (baseras på Energiläget 2015).

Solinstrålningen för Sverige är likvärdigt med Tyskland [32] och figur 1 visar att framförallt södra Sverige och mellersta Tyskland har liknande potential för produktion av el med solceller. Antalet installerade solcellsanläggningar är däremot betydligt högre i Tyskland och växer i större utsträckning. 8 % av Tysklands totala elproduktion kommer från solceller jämfört med 0,1 % i Sverige [33]. Däremot har det länge funnits en stabil svensk marknad för fristående solcellsinstallationer. Marknaden har ökat och fortsätter att öka, de senaste fyra åren har antalet installationer dubblats varje år [4]. Även antalet nätuppkopplade installationer har ökat och det finns idag en total solcellskapacitet på  $79,4\text{ MW}$  (slutet av 2014) [4] som estimerat producerar  $75\text{ GWh}$  per år. Ökningen kan härledas till en positiv prisutveckling för konsumenter och att intresset för solceller har ökat [4].

### Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Figur 1. Visar karta över årlig summa av solinstrålning och simulerad produktion för solceller vid optimal lutning och söderorienterade för Europa. Källa: [34].

## 3.2 Svenska klimat- och energimål och satsningar på solenergi

Sverige har tre klimat- och energi mål till år 2020. De är att ha minskat utsläppen av växthusgaser med 40 % jämfört med nivåerna år 1990 och att andelen förnybar energi utav den totala energianvändningen är 50 % och ett energieffektiviseringsmål med minskad energiintensivitet med 20 % jämfört med år 2008 [35]. Vilket är högre än EU:s klimatmål 20/20/20 där målet är att minska utsläppen av växthusgaser, öka andelen förnybar energi och minska energianvändningen med 20 % till år 2020, jämfört med år 1990 [35].

År 2015 genomfördes en kontrollstation [36] som visade att klimat- och energimålen nås och överträffas. Miljömålsberedningen [37] har tagit fram ett nytt förslag att Sverige år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser (tidigare år 2050). Det innebär en minskning av utsläppen med 85 % jämfört med år 1990 och det gäller samtliga verksamheter. Det är den mest ambitiösa utsläppsminskningen än för något annat land.

Regeringen har infört flera satsningar på solenergi [38] som förstärkt investeringsstöd (se avsnitt 3.5.3), stöd till energilagring, elcertifikatsystem, nationellt forum för smarta elnät och förslag om förändring av regelverket för skattebefrielse av egenproducerad el (se avsnitt 3.6). För att avgöra solcellers roll och en ökad användning i det framtida energisystemet, har regeringen även gett svenska Energimyndigheten ett uppdrag att ta fram en strategi för sol i Sverige som ska presenteras den 7 oktober år 2016 [39]. Resultatet ska ange möjliga åtgärder på kort och långsikt som främjar en utbyggnad på ett samhällsekonomiskt sätt och synliggör de befintliga hinder som finns för ytterligare införande av sol.

### 3.3 Framtida energisystem i Sverige

Sveriges energisystem kommer att förändras och Brandsma [40] menar att Sverige har ett bra energisystem med en god utgångspunkt. De närmaste fem åren står energibranschen inför stora förändringar och bidragande faktorer till det är läget på oljemarknaden, elpriser, klimatpåverkan, digitalisering och internet. Utveckling kan skapa tillväxt, nya jobb och exportmöjligheter. Energi är ingen fristående fråga utan omvärlden, samhällsutvecklingen och energisystemets utveckling är beroende av varandra [40].

Det finns flera olika scenarier för Sveriges framtida energisystem som beror på olika faktorer och energikällor. Energimyndigheten [41] har tagit fram fyra framtidsscenarier efter år 2020 mot år 2050. De bygger på olika prioriteringar i samhället och drivkrafter för förändring, samt visar hur energi är kopplat till transporter, bostäder arbete och miljö. Syftet är inte av välja ett scenario utan det bästa alternativet kan vara olika delar från respektive scenario [41]:

- **Forte;** bygger på låga energipriser och energi som bränsle för ekonomisk tillväxt och framgång, säker tillgång på energi till lågt och stabilt pris, samt effektiv godstrafik åt industrin.
- **Legato;** energi ses som en globalt begränsad resurs och med fokus på ekologisk hållbarhet och global rättvisa.
- **Espressivo;** fokus riktas på förenklad egenproduktion, handel med tjänster och nya energimarknader utifrån konsumenters önskemål att hantera sina egna behov.
- **Vivace;** har fokus på klimatet där Sverige är ett globalt föregångsland för klimatlösningar.

Andelen förnybart varierar från 60, 75 och 100 % beroende på scenario, men samtliga innebär minskade koldioxidutsläpp (referensår 2014) och det finns möjligheter och risker gentemot miljö och klimat till följd av samtliga.

Boverkets [42] vision om Sverige år 2025 presenterar hur det då bör vara för att ett hållbart samhälle år 2050 nås och ämnas att användas som strategi för hållbar utveckling. Den vänder sig till politiker och tjänstemän från nationell till lokal nivå, samt olika organisationer och privata aktörer som har intresse för hållbar samhällsplanering.

Boverkets vision uttrycker en alltmer varierad energiförsörjning med små och stora anläggningar med förnybara energikällor. Efterhand som ny bebyggelse kräver mindre energi för uppvärmning och transportsektorn använder en större mängd el blir elenergin den viktigaste energiformen. Kraftig utbyggnad av solenergi tillsammans med vind- våg- och biokraft och smarta elnät avvecklar fossila energikällor och år 2050 är de utfasade. Till den ökande produktionen av vind och sol verkar i Sverige vattenkraften som energibuffert. För att nå en kraftig utbyggnad av solenergi bedömer Boverket att staten stimulerar marknaden för att få en större decentraliserad utbyggnad av småskalig solbaserad elproduktion [42].

Direkt kopplat till solenergi menar Svensk Solenergi (SSE) [43], som är en svensk branschförening med representanter från svenska solenergi-branschen och forskningsinstitutet, att solbaserade energikällor har en plats i ett framtida energisystem [44]. Anledningar är att det finns stor potential i Sverige, det är miljö- och klimatneutralt vid produktion, det blir alltmer konkurrenskraftigt tack vare att priserna sjunker och att integrationslösningarna i fasad- och

takmaterial blir smartare [44]. Även Naturskyddsföreningen [45] uttrycker en stor potential för förnybar energi och att solceller är en energiform på frammarsch. För att stödja solbaserad energi anses det att det bör tas fram en nationell plan (se avsnitt 3.2) och att smarta elnät kommer att möjliggöra elproduktion i mindre anläggningar som solcellssystem. Att nå en 100 % förnybar energiförsörjning anses möjligt, men på grund av att all energianvändning har en miljöpåverkan krävs samtidigt energieffektivisering för att kapa toppar i produktionen, sänka kostnader och skapa en robusthet i energisystemet [45].

### 3.4 Grönt varumärke och solceller

Organisationer och företag förväntas idag att bidra till hållbar utveckling, både inom deras verksamhet och i det de erbjuder till kunder [46]. Ämnet hållbarhet har ökat de senaste årtiondena oavsett om det handlar om bland annat klimatfrågor, biologisk mångfald, barnarbete eller kemikalier.

Hållbarhet har blivit en nyckelfråga som berör alla organisationer och företag i privat och offentlig sektor. Majoriteten av svenska företag har idag en eller flera medarbetare som arbetar med de frågorna och de årliga rapporterna innehåller en sektion om hållbarhetsarbetet eller har separata hållbarhetsrapporter. Det visar att hållbarhet inte är en kortlivad trend utan är idag för organisationer en central fråga [46].

Det har alltid varit viktigt för organisationer och företag att vara attraktiva som arbetsgivare för att rekrytera medarbetare. Arbetsgivarvarumärke är något som blivit allt viktigare och det bygger på organisationens eller företagets rykte bland befintliga och potentiella medarbetare. Genom att som arbetsgivare arbeta med sitt varumärke kan rätt medarbetare attraheras som representerar organisationens eller företagets kärnvärden, men även medarbetarnas värden som är viktiga.

Det finns en koppling mellan tillfredsställda medarbetare och kunder, i detta fall Landstingets brukare. Nöjda medarbetare har möjlighet att utföra ett gott arbete gentemot kunder och leverera kundvärde. Varför arbetsgivarvarumärke är viktigt är bland annat att det är en ny generation medarbetare med nya behov som kommer in på arbetsmarknaden [46]. Främst unga individer anger meningsfullaktighet och hållbarhet när de beskriver en önskvärd arbetsgivare och för "Generation Y" som är födda på 1980-talet är det känslan att tillhöra något mer än en organisation eller ett företag viktigt [47].

I marknadsföring visas varumärket och idag handlar det inte enbart om att sälja utan om att skapa lönsamma och långsiktiga kundrelationer [46], vilket för Landstinget innebär hela Blekinges befolkning, samt att relatera marknadsföringen till hållbar utveckling. Två företag i Blekinge [48][49] som inkorporerat hållbarhet i deras verksamhet genom att investera i solcellsanläggningar och både vunnit priser och god publicitet gentemot sina varumärken är Karlskronahem i Karlskrona och Coop Forum i Karlshamn.

Med Ulf Klint, teknisk chef, som drivande har Karlskronahem investerat i ett antal solvärme- och solcellsanläggningar som stärkt deras gröna varumärke, engagerat hyresgäster och bidragit till miljön [48]. Coop Forum i Karlshamn investerade i Sveriges tredje största solcellsanläggning år 2013 och har blivit det mest uppmärksammade av deras projekt för hållbar utveckling. Som Conny Berg, stormarknadschef, uttrycker det gör de något för "samhället, miljön och företaget" [49].

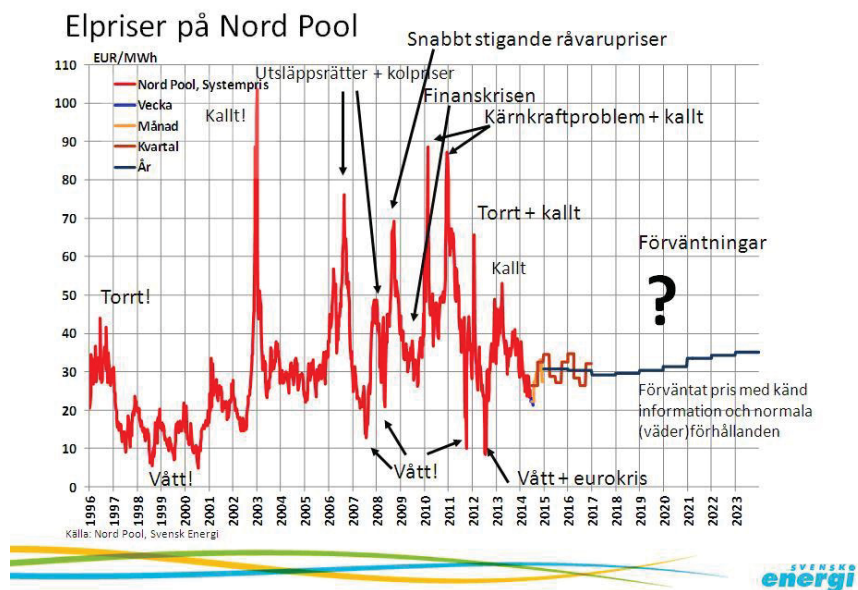
### 3.5 Ekonomiska förutsättningar för solceller

Enligt Haegermark [50] är solcellers lönsamhet en komplex fråga som beror på bland annat årlig elanvändning, takets orientering och subventioner. Priserna på solceller har sjunkit och är med de rätta förutsättningarna lönsamt. De mest gynnsamma förutsättningarna är vid hög elanvändning [50].

För att avgöra dagens och framtida ekonomiska förutsättningar för en solcellsanläggning krävs uppgifter om dagens och framtidens priser för el och solceller. Priset för solel uttrycks i kr/kWh vilket sätts i relation till det elpris Landstinget Blekinge betalar.

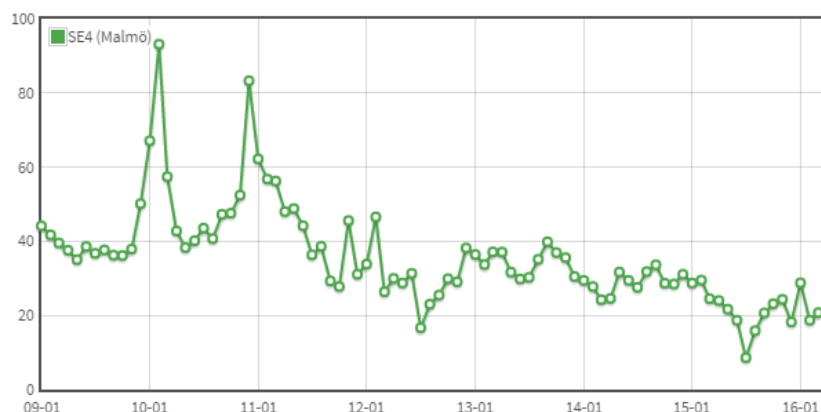
#### 3.5.1 Dagens elpriser och framtida prognos

Elpriset konsumenterna betalar består av elhandelskostnader (spotpriser), kostnader för el överföring, skatter och avgifter [51]. Faktorer som påverkar priset är bland annat råvarupriser, ekonomisk utveckling och väderförhållande. Den nordiska marknaden är starkt beroende av nederbörd, vind och temperatur [52] eftersom den till stor del består av vind- och vattenkraft. Nedanstående figur 2 visar olika parametrars påverkan på elhandelspriset och att det kan variera kraftigt.



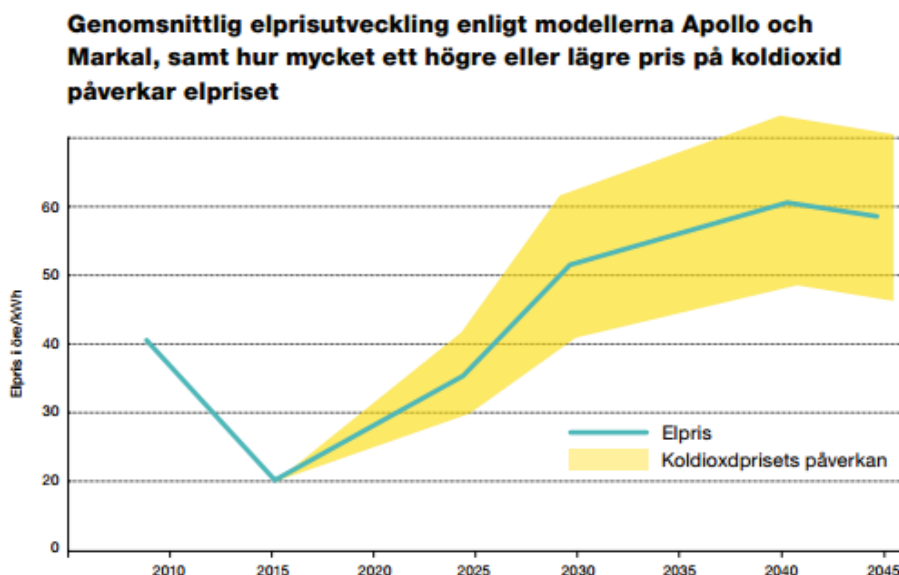
Figur 2. Visar hur elhandelspriset på Nord Pol påverkats av nederbörd, vind och väderförhållande. Källa: [52].

Prisutveckling sedan 1 januari 2009



Figur 3. Prisutveckling av spotpriset på Nord Pol från 1 januari 2009 till 1 januari 2016 för område SE4 Malmö. Källa: [53].

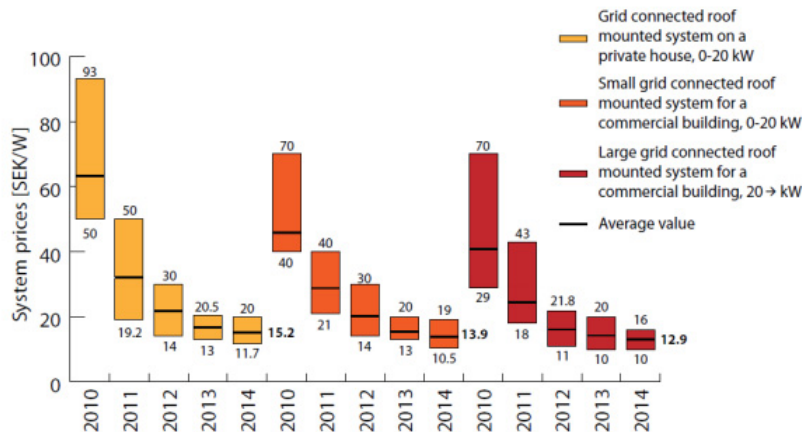
Tillsammans visar figur 2 och 3 att från år 2012 har elpriser sjunkit jämförelsevis med tidigare år. Dagens Industri publicerade i april år 2016 [54] att dagens elpriser har inte varit lägre på över 10 år och att utifrån en prognos gjord av GodEl kommer det att vara fortsatt låga elpriser. Medan Energimyndigheten [41] i framtagandet av fyra scenarier för framtida energisystem i Sverige efter år 2020 mot år 2050 (se avsnitt 3.3) genomfört simuleringar med ett stigande elpris som påverkas av priset på koldioxid och en ökad efterfrågan på el (se figur 4).



Figur 4. Visar genomsnittlig elprisutveckling enligt modellerna som använts av Energimyndigheten i framtagandet av de fyra framtidsscenarioerna för framtida energisystem i Sverige (se avsnitt 3.3), samt hur koldioxidpriset påverkar priset på el. Källa: [41]

### 3.5.2 Prisutveckling för solceller

Enligt Lindahl [4] pekar trender mot en snabb prisutveckling med sjunkande priser för solcellssystem i Sverige. Det genomsnittliga priset för stora anläggningar har gått ner från strax över 40 kr/Wp till 12,9 kr/Wp mellan år 2010 och 2014 för installationer gjorda av svenska installatörer (se figur 5) (priset är exklusive moms och utgår från kostnader för installatörer). Statistiken visar även att större anläggningar är mer ekonomiskt lönsamma.



Figur 5. Visar prisutveckling för solcellssystem från år 2010 till år 2014 exklusive moms. Källa: [4].

Anledningen till att priserna har gått ner i Sverige uppges vara på grund av att priserna internationellt sjunkit, den svenska marknaden har växt och att konkurrensen nationellt ökat. Lindahl uppger i sin rapport att antalet aktiva företag har ökat från 37 stycken år 2010 till 126 stycken år 2014 [4]. I rapporten anger företagen att kostnadsänkningar i framtiden troligen kommer att bero på lägre kostnader för solcellsmodulerna, som står för cirka 30 % av totalkostnaden för ett installerat system för en villaanläggning.

### 3.5.3 Solcellstödet

Regeringen avsätter medel för att främja investeringar i solcellsanläggningar och utbyggnaden av solenergi i Sverige [55]. Solcellstödet är ett statligt bidrag som är möjligt för Landstinget Blekinge att söka vid en investering, som avser nätanslutna solcellssystem och sol/solvärmehybridssystem.

Pengar som regeringen avsätter för stödet ansvarar Energimyndigheten för att dela ut till länsstyrelserna runt om i landet. Nya regler för solcellstödet infördes den 1 januari 2015 och stödnivån är idag att maximalt 30 % av investeringskostnaden kan subventioneras för företag och organisationer och maximalt 20 % för privatpersoner. Det högsta beloppet som kan delas ut per solcellssystem är 1,2 miljoner kr, samt att de stödberättigande kostnaderna maximalt är 37 000 kr plus moms per installerad kW elektriskt topp-effekt [55]. Före 1 januari 2015 var stödnivån maximalt 35 % för företag och organisationer.

Den mängd pengar som regeringen avsätter för solcellstödet enligt budgetpropositionen för år 2016 är 224 miljoner kr och därefter 390 miljoner kr år 2017-2019. Vilket sammanlagt blir

1,4 miljarder kr. Tidigare var stödet 50 miljoner kr per år. Anledningen är det ökade intresset för solcellssystem och att det tidigare stödet inte räckt till [38].

Bidraget kan sökas på två olika sätt, men det är Länsstyrelsen som i turordning behandlar ansökningarna. Antingen kan en blankett på Energimyndighetens hemsida fyllas i som skickas till Länsstyrelsen eller kan en digital ansökan göras via Boverket [56]. Ansökan behandlas sen hos Länsstyrelsen där den placeras i kö, därefter tas ett beslut när det finns stöd att tillgå. Den ansökande får en utbetalningsblankett för stödet och vilka kompletterande uppgifter som behövs för att det ska betalas ut. När projektet är färdigt skickas den blanketten tillbaka till Länsstyrelsen och först då betalas stödet ut [57].

Efter kontakt med handläggare på Länsstyrelsen Blekinge Län [58] kan det ta ett par år innan ansökningen står först i tur. Väntetiden beror på hur mycket pengar som tilldelas länet av regeringen, hur stora investeringarna är och hur många som sökt. Efter att beslut ha tagits om ett beviljande och om solcellsanläggningen redan är upprättad kan det ta några månader innan en utbetalning sker. Den sökande är skyldig till att tillhandahålla Länsstyrelsen med en årlig uppföljning av producerad el i tre år.

Ansökningarna inom länet varierar från år till år och månatlig statistik över antal ansökningar visar att 47 % av dem har beviljats och att 87 % av dem har utbetalats [59]. Det motsvarar 3 % av de total utbetalade ansökningarna i Sverige. Statistiken sträcker sig från bidragets start fram till den 31 mars 2016.

### **3.5.4 Elcertifikatsystem**

Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat ekonomiskt stöd för förnybar elproduktion som ger extra intäkt till elproducenter utöver vanlig försäljning av el [60]. I Sverige har elcertifikatsystemet funnits sen år 2003 [60], men sedan 1 januari år 2012 infördes en gemensam elcertifikatsmarknad mellan Sverige och Norge [61]. Systemet berör producenter av förnybar el, elleverantörer, elintensiv industri och vissa elanvändare. Solenergi är en av de förnybara energikällor som är berättigade till att ansöka om elcertifikat.

För varje producerad megawattimme i en godkänd anläggning kan elproducenterna tilldelas ett elcertifikat av staten som kan säljas på en öppen marknad där pris bestäms mellan säljare och köpare. Nya anläggningar driftsatta efter införandet av systemet är berättigade elcertifikat i 15 år, men längst till utgången av år 2035 [60].

Köparna är främst elleverantörer med en så kallad kvotplikt att köpa ett antal elcertifikat om året. Hur stor andel de är pliktiga att köpas bestäms varje år genom en kvot i lagen om elcertifikat. Kvotnivåerna är bestämda till och med år 2035 [60].

Förutom elleverantörer är elanvändare som använder den egenproducerade elen, elanvändare som importerar eller köper el på den nordiska marknaden, samt elintensiva industrier som har registrerats av Energimyndigheten kvotpliktiga [60].

För att få elcertifikat görs en ansökan till Energimyndigheten och ett godkännande för att tilldelas certifikat sker vid komplett ansökan och när anläggningen är driftsatt. Krav för att få certifikat är att en timmätare av produktionen installeras. Mätaren placeras antingen direkt efter produktion eller vid nätanslutning, vilket gör att certifikat tilldelas hela produktionen av el eller den som leveras till externt elnät [62]. Tjänsten kostar då ett rapporterande företag krävs och Energimyndigheten tar ut avgifter för konto och administration, samt för ursprungsgarantier [63].

## 3.6 Att vara producent av solel

Att producera egen el från solceller innebär olika åtagande från projektering till möjligheten att sälja överskottsel. Det krävs bygglov med undantag för specifika fall inom Karlskrona Kommun [64]. För Landstinget Blekinge som anses som professionella byggherrar krävs bygglov för yttreförändringar, men de är inte bygganmälningspliktiga. Ägaren av anläggningen ansvarar för att funktion och säkerhet upprätthålls, samt ska anläggningen vara installerad av behörig installatör. Andra krav från specifik nätägare för området är [65]:

- Elnätsägaren installerar dubbelriktad mätare för konsumtion och produktion för separat mätning och som sker varje timme, samt byter ut elmätaren. Enligt ellagen ska inmatning mätas på upp till 100 Ampere.
- Vara elhandelskund åt elnätsbolaget.
- Vara nettokonsument, inte producera mer el än som konsumeras.

Överskottsel kan säljas till elhandelsbolag [66] och från och med 1 januari år 2015 ges ersättning för nettokonsumtion av el på 60 öre/kWh och upp till 18 000 kr/år (30 000 kWh/år). För att få skattereduktion krävs momsregistrering, anmälan till elnätsföretag att det sker produktion av förnybar el, att inmatning och uttag från elnätet sker i samma anslutningspunkt, samma huvudsäkkring och samma elmätare och att säkningen i anslutningspunkten inte överstiger 100 Ampere [66].

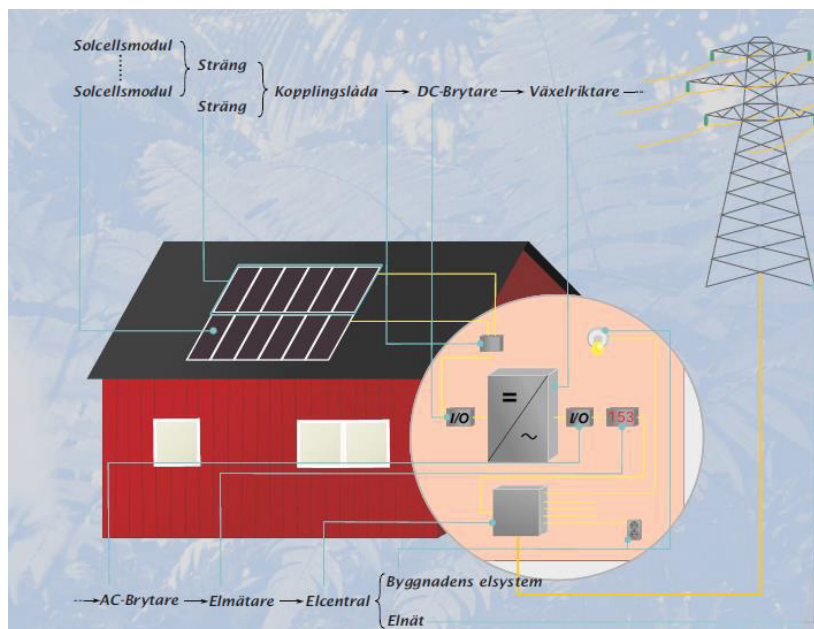
Idag är elproduktion från solceller befriade från energiskatt förutom vid försäljning av överskottsel då hela anläggningens produktion kan bli skattepliktig. Regeringen anger i ett nytt förslag gällande produktion av solel att anläggningar under en installerade topp effekt på 255 kW blir befriade från energiskatt på den egenkonsumerade elen och betalar enbart energiskatt för elen som säljs [67]. Förslaget planeras att träda i kraft den 1 juli år 2016 och blir om det träder i kraft en utvidgad skattebefrielse för de som säljer överskottsel.

### 3.6.1 Uppbyggnad av en solcellsanläggning

Nätanslutna solcellsanläggningar är system som består av flera komponenter som gör det möjligt att ta tillvara på den energi som omvandlas till el i en byggnad. Den el som inte använts inne i byggnaden skickas ut på elnätet. Översiktligt består en solcellsanläggning (se figur 6) av solcellsmoduler och växelriktare [68]. Det är modulerna som fångar energin i solinstrålningen och konverterar det till likström, medan växelriktarna omvandlar den strömmen till växelström som är det som används i elnätet. Systemet består alltså av en likströms- och en växelströmssida.

Enskilda moduler ger upphov till en begränsad spänning på 12, 24 och ibland 48 V, vilket gör att för att uppnå önskad topp effekt i systemet seriekopplas moduler till strängar [68] som sedan kan parallellkopplas med andra strängar efter anläggningens storlek. Det är arbetsspänningen som avgör hur modulerna är kopplade. Den spänningen begränsas av växelriktarna som har ett specifikt inspänningsområde, vilket gör att för hög spänning kan förstöra växelriktaren.

För att producera el är solcellsmodulerna beroende av solen och utav skuggning. När en modul av sammankopplade celler skuggas påverkar det hela modulens ström som den producerar. Genom att placera Bypass-dioder i systemet kan de negativa konsekvenserna på grund av skuggning minimeras. Vid placering av dioder är det viktigt att ha kunskap om hur skuggor faller på anläggningen [68].



Figur 6. Visar en översiktlig uppbyggnad av en solcellsanläggning. Källa: [68].

En mer ingående förklaring av ovanstående och övriga komponenter i en solcellsanläggning är [68]:

- **Kopplingslåda;** finns det fler än en sträng i en solcellsanläggning kopplas de samman i en kopplingslåda innan den leds mot en DC-brytare genom växelriktaren. Kopplingslådan innehåller spärrdioder, överspänningsskydd och säkringar. Finns det flera strängar bör varje sträng ha en inkopplad spärrdiod.
- **DC-brytare (likströmsbrytare);** för att kunna bryta likströmssidan vid till exempel service eller underhåll installeras en DC-brytare nära växelriktaren för att enkelt avskilja den.
- **Växelriktaren;** dess uppgift är att omvandla likströmmen till växelspanning. Växelriktaren har en funktion som gör att de arbetar mot att maximera effekten. Genom att styra spänningen från likströmssidan letar den efter den punkten på systemets ström- och spänningskurva som ger högst effekt
- **AC-brytare (växelströmsbrytare);** precis som en DC-brytare används AC-brytaren till att koppla bort vid till exempel service eller underhåll, men istället från elnätet. Även den brytaren placeras i närheten av växelriktaren för att enklare avskilja.
- **Elmätare;** den mäter hela anläggningens produktion av el. De används också för att kontrollera växelriktarens funktion.

### 3.6.2 Underhåll

Tack vare att en solcellsanläggning inte har några rörliga komponenter och att solcellsmodulerna har lång livslängd krävs inget större underhålls- eller servicearbete. Däremot krävs det viss rengöring, snöröjning, felsökning och systemkontroll [68]:

Rengöring krävs sällan för att det oftast räcker med vanligt regn som naturligt sköljer modulerna. Det kan finnas speciella fall där regn inte tillräckligt rengör på vissa områden.

Om snöröjning krävs beror på mängden snö och vinkeln modulerna är monterade i. Däremot utgör den förlust i anläggningens produktion som utgörs på grund av snö en väldigt liten procentuell andel av den årliga produktionen. Den största delen av en anläggnings produktion är under sommarhalvåret. Därför kan det vara nödvändigt att väga kostnaderna för snöröjning gentemot produktionsbortfall, samt säkerhetsrisken för halka i samband med skottning. Vid felsökning indikerar växelriktaren på fel i systemet. Andra saker som bör kontrolleras är att AC- och DC-brytare är inkopplade, kontroll av säkringar på både lik- och växelströmssidan, samt att nätet inte är fränkopplat.

Systemkontroll avser att avgöra anläggningens driftsfunktion i form av energiproduktion och prestanda. För att mäta produktionen avläses en installerad elmätare. För att övrigt bestämma prestanda kan temperatur och solinstrålning även loggas.

### 3.6.3 Säkerhet

Solcellssystem är starkströmsanläggningar som kan ge upphov till livsfarlig ström och spänning. Anläggningen är ständigt spänningssatt när ljus når modulerna. Enligt SolEls-programmets installationsguide [68] för nätanslutna solcellsanläggningen utgörs en brandfara på grund av hög spänning och stark ström. Däremot finns idag inga generella regler.

## 4 Resultat – teoretisk projektering av solcellsanläggning

För att avgöra lönsamheten för en investering av en solcellanläggning genomförs en fallstudie där två olika anläggningar tas fram för samma byggnad och tak. Anläggningarna skiljer sig på vilket sätt de är placerade i lutning för att avgöra kostnads- och produktionsskillnad.

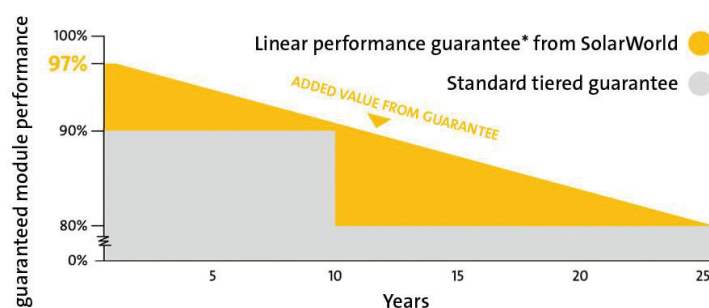
För projekteringen valdes byggnad 02-33 utav ansvariga inom organisationen [69] i enlighet med genomförd utredning angående lämpliga byggnader för solcellsanläggningar av Solect Power [5] på uppdrag av Landstinget Blekinge. Idag verkar byggnad 02-33 som parkeringshus och miljöstation, samt rymmer materialdepån. Anläggningen tänks ha anknytning till byggnad 02-32 som har en mer energiintensiv verksamhet eftersom det är en försörjnings- och servicebyggnad för kök och restaurang. I framtiden planeras en påbyggnad av två våningar på vald byggnad [69]. Det finns idag inget beslut om vilken form av verksamhet de två nya våningarna kommer att innehålla.

För att dimensionera solcellsanläggningen och genomföra beräkningar används en godtycklig solcellsmodul som referens. Den valda modulen är tillverkad av Solar World och är av typen mono-kristallint kisel (Sunmodule® Plus SW 275 Mono black) [70]. Den har en maxeffekt på 275 W och verkningsgrad på 16,4 %. Tabell 1 visar övrig data som använts.

Tabell 1. Datablad: Solar Module, Sunmodule® Plus SW 275 Mono black. Källa: [70].

Maxeffekt (Wp):	275
Dimensioner, yttermått (mm):	1675 x 1001
Verkningsgrad (%):	16,4
Vikt (kg):	18

Tillverkaren har angett en linjär effektgaranti (se figur 7) för den valda modulen med en prestanda på 80,2 % efter 25 år och minst 97 % av installerad topp effekt första året [71].



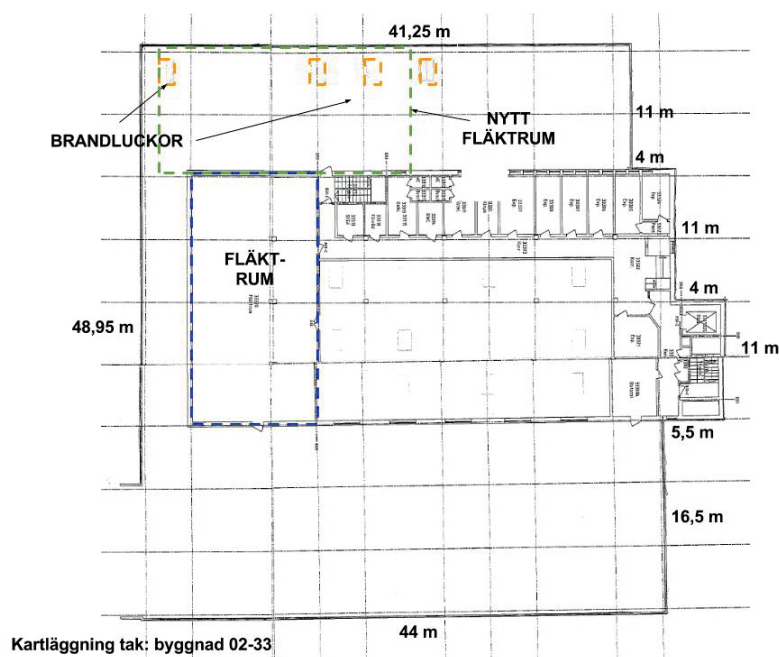
\*25-year performance guarantee in accordance with the applicable SolarWorld service certificate upon purchase.

Figur 7. Visar modulen Solar Module, Sunmodule® Plus SW 275 Mono black effektgaranti över 25 år. Källa: [71].

Hedström och Palmblad [72] menar att i det svenska klimatet är en livslängd på 25 år sannolik och rentav i underkant. För kristallina solcellsmoduler kan livslängden bedömas upp till 30 år [73].

## 4.1 Kartläggning av tak

Byggnad 02-33 består av ca 2200 m<sup>2</sup> plan takyta beläget i söderriktning med uppskattat vinkel på 9° mot väst. Idag är ett fläktrum och brandluckor ovanför materialdepån (se figur 8) placerade på taket.



Figur 8. Kartläggning utav taket för byggnad 02-33 sett söderifrån med vinkel på 9° åt väst. Blå markering = befintligt fläktrum, grön markering = nytt fläktrum, gul markering = befintliga brandluckor ovanför materialdepån. Källa: [74].

Eftersom ytterligare två våningar planeras att byggas på byggnad 02-33 i samband med renovering kan taket redan i projekteringsfasen utformas utefter bästa möjliga förutsättningar för en solcellsanläggning. I denna studie bortser från brandluckorna därför att de går till materialdepån (byggs bara för stora lager med hög takhöjd för att få ut röken) och denna verksamhet ska flytta från byggnaden till andra lokaler våren år 2017 [69]. I det befintliga fläktrummet finns 4 stycken fläktaggregat, med två nya våningar står det gamla fläktrummet kvar eftersom det fortfarande förser de befintliga lokalerna med luft. Däremot kommer det krävas nya intag, det vill säga ett nytt fläktrum. Det nya fläktrummet som förser de tillkommande våningsplaner antas ha samma storlek som det befintliga. Vad gäller placeringen måste tilloppsluften ha ett avstånd på 8 meter till närmaste byggnad för brandsäkerheten [75]. Börjar det brinna i huset vid tilloppsluften kan det dras in i ventilationen. Fläktrummet ska även placeras som sådant att intaget är mot norr [75]. Figur 6 visar den tilltänkta placeringen av det nya fläktrummet inför projektering av solcellsanläggningarna.

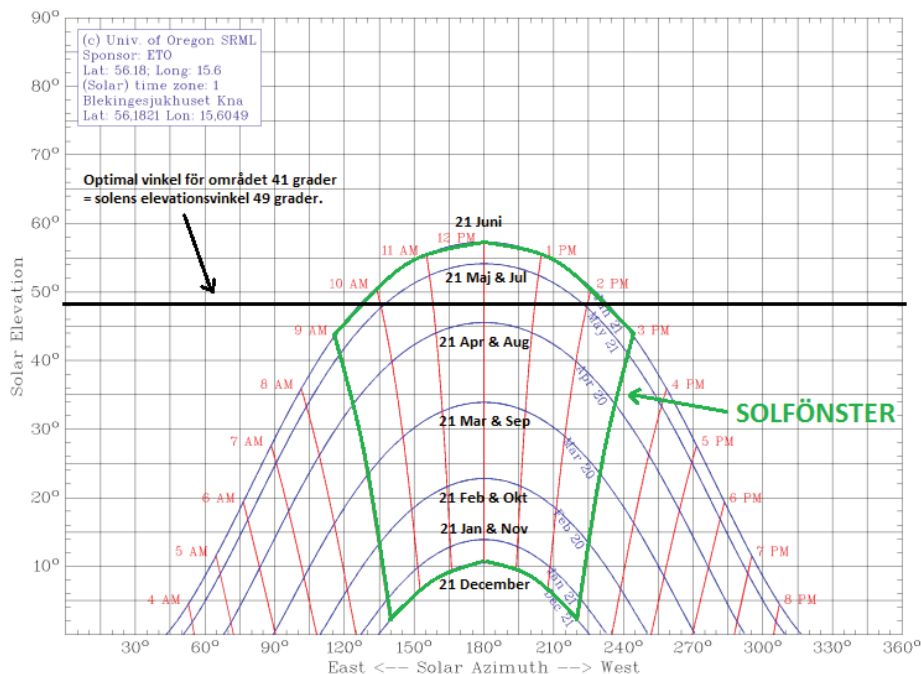
## 4.2 Optimal vinkel och skugganalys

För att bestämma optimal vinkel för solcellsmodulernas placering på taket användes beräkningsprogrammet PVGIS-CMSAF [15] som har som funktion att beräkna optimal vinkel för ett geografiskt område. Optimal vinkel enligt programmet för Blekingesjukhuset i Karlskrona är 41°. Solceller tar emot störst mängd energi när vinkeln mot solen är 90° och vid optimal vinkel för området är solens elevations vinkel då 49° (se figur 9).

Genom att mata in koordinaterna för Blekingesjukhuset i Karlskrona [14](se avsnitt 2.3) tillhandahölls ett diagram som visar solens position på himlen sett från jorden utifrån dess elevationsvinkel som en funktion av azimutvinkeln (se figur 9). Solens position förändras från öst till väst under dygnet och dess höjd förändras över året. Solen står som högst i juni och som lägst i december.

Soldiagrammet användes vid skugganalysen och ur diagrammet fastställdes solfönstret. Det visar solens position över himlen mellan kl. 09.00 – 15.00 [12] oberoende årstid och under den tiden fås mest energi av solen som kan tas tillvara på av solcellerna. Under den tiden bör inte solcellsanläggningen skuggas utav exempelvis träd eller byggnader eftersom produktionen av el är starkt beroende av att modulerna inte skuggas.

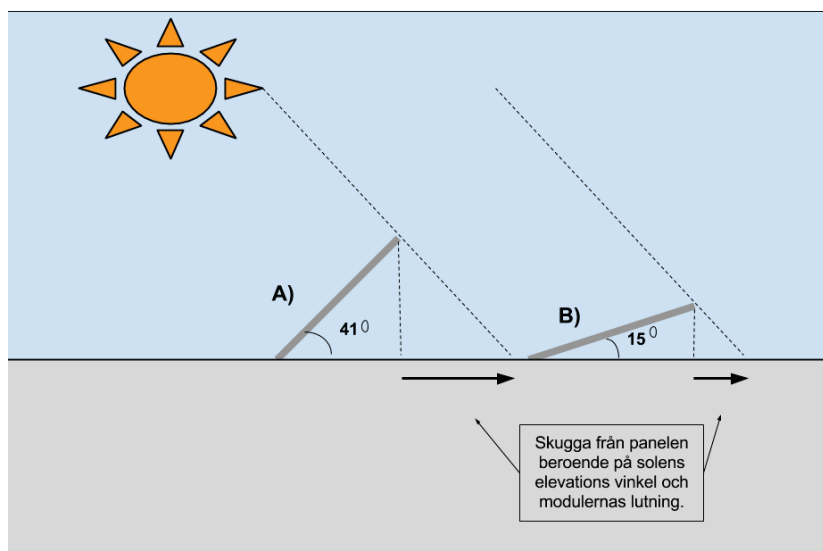
Byggnad 02-33 har idag ingen skuggning från närliggande träd eller byggnader som kan komma att påverka anläggningen. Det kommer inte att förändras i framtiden vid påbyggnad av ytterligare två våningar. Byggnadens placering är sådan att solcellsanläggningarna placeras nästan rakt söderut, med en uppskattad vinkel på 9° åt väst.



Figur 9. Soldiagrammet för området Blekingesjukhuset i Karlskrona, som visar solens position på himlen beroende månad och tid på dygnet som funktion av azimutvinkeln. Källa: [13]

### 4.3 Placering och montering

Det finns olika sätt att placera och montera solcellsmoduler beroende på takets utformning och önskad vinkel. Den valda byggnaden har platt tak vilket gör att monteringen kan räknas som fristående. Vid val om i vilken lutning solcellsmodulerna ska placeras bör hänsyn tas till antal producerade kWh/m<sup>2</sup> takyta, samt kr/kWh och kWh/investerad krona i förhållande till investeringskostnaden. I denna studie tas två olika monteringsätt i perspektiv och de är stående moduler med 41° lutning och liggande moduler med 15° lutning (se figur 10 och 11).



Figur 10. Visar studiens två placeringsalternativ där A) är stående solcellsmodul med lutning 41° och B) liggande solcellsmodul med lutning 15°



Figur 11. Visar skillnaden mellan A) stående modul och B) liggande modul.

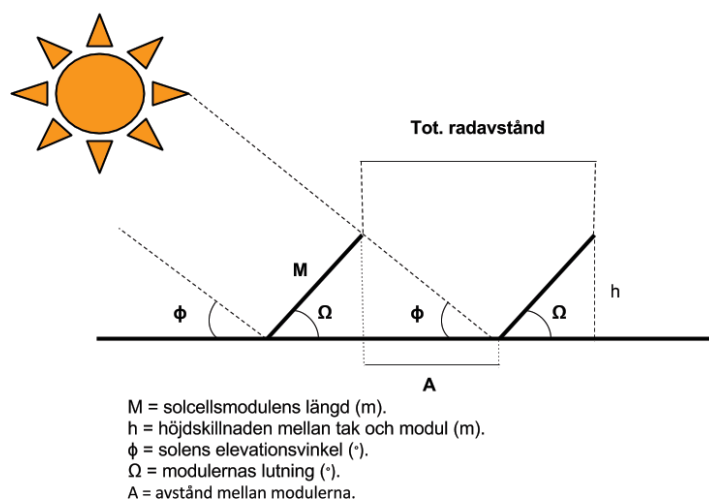
Placeringsalternativ A) är utformad efter den framtagna optimala vinkeln på 41° (se avsnitt 4.2) för området Blekingesjukhuset i Karlskrona. Eftersom mest energi i solens strålning tas till vara på av solceller vid 90° vinkel mot solen på grund av reflektion och intensitet ger den optimala produktion utifrån förutsättningar under sommarhalvåret. Modulerna är stående, det vill säga längsta sidan upp från taket, vilket gör att vindlasten ökar och ställer därmed högre krav på monteringen och takets hållfasthet. Även på grund av den högre vinkeln kastar modulerna en längre skugga vilket ökar avståndet mellan varje monterad rad på taket.

Placeringsalternativ B) bygger på teorin om att med lägre lutning på panelen blir det en mindre vindlast, samt kortare skuggkastning. Lutningen blir inte optimal ur produktionssynpunkt, men fler paneler kan placeras på taket och mindre krav på montering och takets hållfasthet.

## 4.4 Beräkning av avstånd mellan solcellsmoduler

Anledningen till att det behövs ett avstånd mellan solcellsmodulerna är för att undvika produktionsbortfall på grund av skuggning. Desto högre solens elevationsvinkel är desto kortare avstånd krävs mellan modulerna och tvärtom.

Beräkningarna byggdes på skugganalysen i avsnitt 4.2 och genomfördes enligt följande (se figur 12) [76]:



Figur 12. Visar teorin bakom om hur avstånd mellan solcellmoduler beräknas utifrån solens position på himlen och modulernas lutning. Källa: [76].

Där [76]:

$$h = \sin(\Omega) * M \quad (4)$$

$$A = \frac{h}{\tan(\phi)} \quad (5)$$

$$\text{Tot. radavstånd} = A + \cos(\Omega) * M \quad (6)$$

$h$  = höjdskillnaden mellan tack och modul,  $M$  = solcellenslängd (m)

$\phi$  = solens elevationsvinkel (°),  $\Omega$  = modulernas lutning (°)

$A$  = avstånd mellan modulerna (m)

Aspekter att ta hänsyn till är att största delen av produktionen sker mellan mars till oktober, vinterhalvåret utgör en liten del av den totala årliga produktionen. Vilket direkt hänvisar till att optimera avståndet utefter solens position under sommarhalvåret. Däremot varierar solens position stort över ett år i Sverige, därför bör hänsyn tas till månader då produktionen inte är

lika hög, men fortfarande betydlig. Nedanstående tabell visar avstånd mellan modulerna beroende på månad och solens position:

*Tabell 2. Avstånd mellan moduler beroende på månad och solens elevationsvinkel.*

Placeringsalt:	Dec (11°)	Jan/Nov (14°)	Feb/Okt (23°)	Mar/Sep (34°)	Apr/Aug (46°)	Maj/Jul (54°)	Jun (57°)
A) 41°	5,6 m	4,4 m	2,6 m	1,6 m	1 m	0,8 m	0,7 m
B) 15°	1,3 m	1 m	0,6 m	0,4 m	0,25 m	0,26 m	0,17 m

Avståndet valdes att optimeras efter solens position i februari – oktober och enligt soldiagrammet (se avsnitt 4.2 och figur 8) har den då en elevationsvinkel på ca 23°. Det valdes därför att avståndet anses ta hänsyn till ett produktionsspann som sträcker sig över största delen av året. Kortare avstånd medför däremot att fler moduler kan placeras på taket, vilket skulle göra att fler paneler producerar sammantaget mer el under sommarhalvåret, men skulle skuggas i större utsträckning större delen av året.

Totalt radavstånd blir; 3,9 m för placeringsalternativ A) vid 41° lutning stående paneler och 1,9 m för placeringsalternativ B) vid 15° lutning liggande paneler.

## 4.5 Projekterade solcellsanläggningar

Nedanstående avsnitt beskriver de två olika alternativen för en solcellsanläggning med avseende på uppskattad årsproduktion, minskade koldioxidutsläpp och ekonomisk lönsamhet med och utan solcellsstöd. I avsnitt 6.5.3 analyseras alternativen genom en jämförelse.

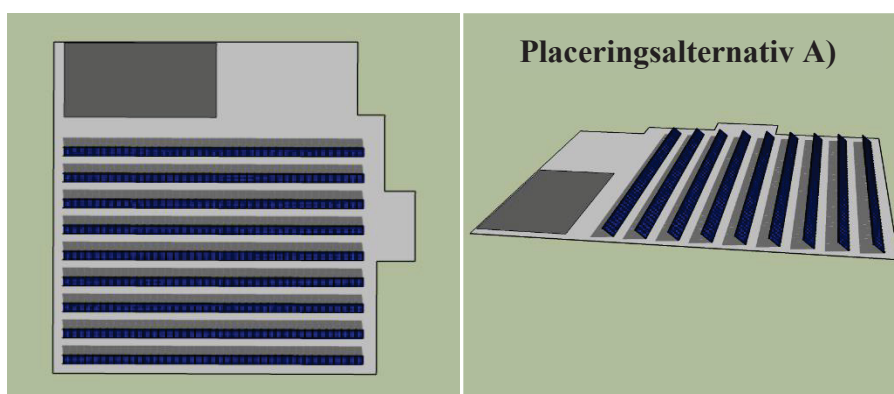
För att ge ett hållbarhetsperspektiv uppskattas mängden koldioxidutsläpp som minskar till följd av en investering i en solcellsanläggning. Landstinget Blekinge har idag ett grönt elavtal med närproducerad förnybar energi [23], men produktionen av solel stärker mängden förnybar energi i det svenska kraftnätet. Därför görs ett antagande om minskade koldioxidutsläpp utifrån den svenska energimixen som ger upphov till 20 – 40 gram koldioxid/kWh beroende på om det är ett vått eller torrt år, med tanke på andelen vattenkraft i Sverige[78].

Beräkningarna utgår från en livslängd på 25 år för anläggningarna. Den uppskattade årsproduktionen är ett medelvärde utslaget på 25 år enligt effektgarantin (se avsnitt 4 och figur 5). Investeringkostnaden är uppskattad utav två olika solcells företag och är angiven exklusive moms [18][19]. För fördjupning av beräkningar för produktion och minskade koldioxidutsläpp per år, samt ekonomisk analys se appendix avsnitt 9.1 och 9.2.

### 4.5.1 Placeringsalternativ A) – stående paneler 41° vinkel

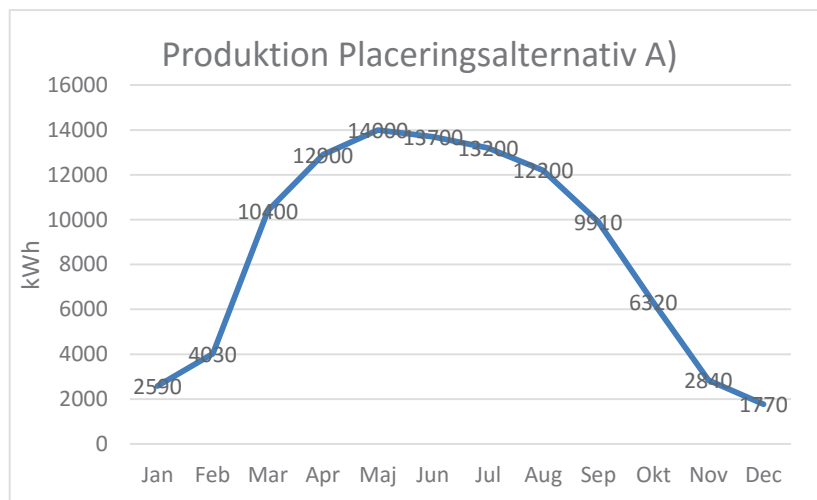
Placeringsalternativ A) består av totalt 369 solcellsmoduler och en installerad topp effekt på 101 kW (se figur 13). Årsproduktionen uppskattas bli ca 92 440 kWh/år vilket ger 42 kWh/m<sup>2</sup> takyta och år (beräknat på en takyta på ca 2 200 m<sup>2</sup>, se avsnitt 4.1). År 2015 hade Landstinget Blekinge ett elbehov på 16 300 MWh (inköpt el) [22] där årsproduktion motsvarar 0,57 % och baserat på Sveriges energimix skulle koldioxidutsläppen minska med ca 1,8 – 3,7 ton/år.

Total investeringskostnad inklusive installation uppskattas vara 1 100 000 – 1 260 000 kr [18][19] och det ger en återbetalningstid på 9,8 – 11,3 år med solcellstöd och 14 - 16 år utan. Kostnaden för den producerade elen blir 0,58 - 0,66 kr/kWh och 0,81 – 0,92 kr/kWh beroende på beviljat investeringsbidrag.



Figur 13. Visar solcellsanläggningen placering på byggnad 02-33 enligt placeringsalternativ A) med totalt 369 solcellsmoduler och en installerad topp effekt på 101 kW. Totalt radavstånd mellan modulerna är 3.9 m (se avsnitt 4.4).

Nedanstående diagram (se figur 14) visar anläggningens produktionskurva under ett helt år. Månaderna november till februari motsvarar ca 11 % av den totala årsproduktionen.

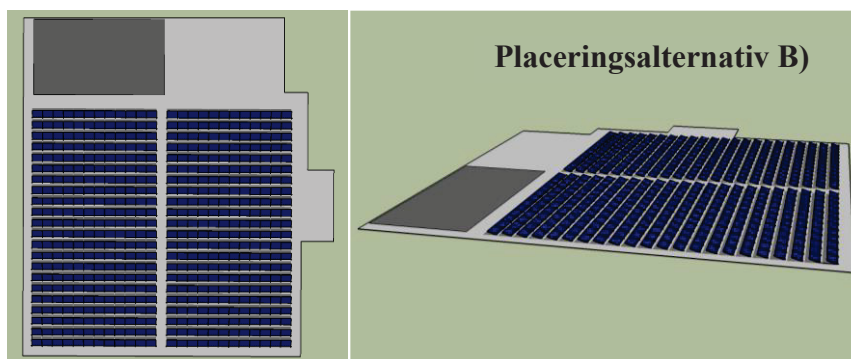


Figur 14. Produktionskurvan under ett år för placeringsalternativ A). Baseras på resultat från beräkningar med programmet PVGIS-CMSAF [15], se appendix 9.1.1 och figur 16.

#### 4.5.2 Placeringsalternativ B) – liggande paneler 15° vinkel

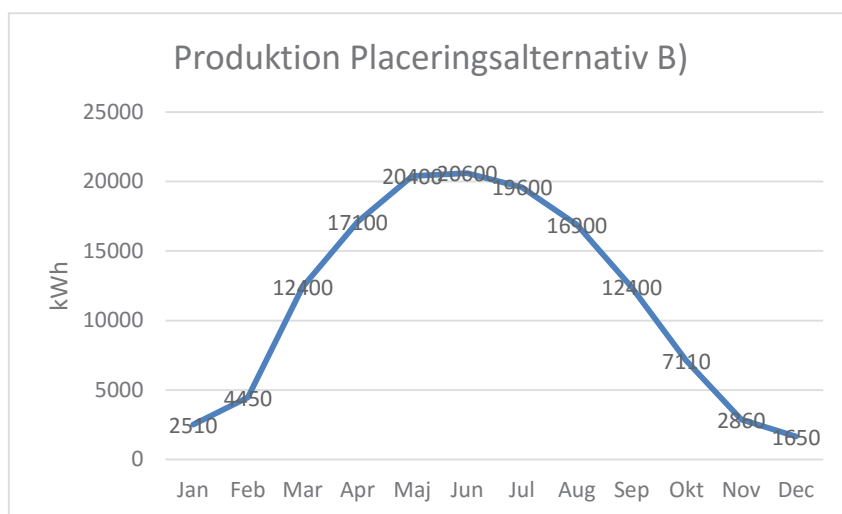
Placeringsalternativ B) består av total 528 solcellsmoduler och en installerad topp effekt på 145 kW (se figur 15). Årsproduktionen uppskattas bli 122 660 kWh/år vilket blir 55,8 kWh/m<sup>2</sup> tak och år (beräknat på ca 2200 m<sup>2</sup> tak, se avsnitt 4.1). Det motsvarar 0,75 % av Landstingets totala elbehov av inköpt el år 2015 (16 300 MWh [22]) och en minskning av koldioxidutsläppen gentemot Sveriges energimix på ca 2,4 – 4,9 ton/år.

Total investeringskostnad uppskattas till 1 500 000 – 1 740 000 kr [18][19], inklusive installationskostnader, med en återbetalningstid på 10 – 11,5 år med solcellstöd och 14,2 – 16,5 år utan. Priset för den producerade elen blir 0,59 – 0,67 kr/kWh respektive 0,82 – 0,94 kr/kWh beroende på beviljat stöd.



Figur 15. Visar solcellsanläggningens placering på byggnad 02-33 enligt placeringsalternativ B) med totalt 528 solcellsmoduler och en installerad topp effekt på 145 kW. Totalt radavstånd mellan paneler är 1,9 m (se avsnitt 4.4.)

Figur 16 visar produktionskurvan under ett år för solcellsanläggningen enligt placeringsalternativ B). Den visar att ca 8 % av den årliga produktionen sker mellan november till februari.



Figur 16. Produktionen per månad för solcellsanläggningen enligt placeringsalternativ B). Baseras på resultat från beräkningarna med programmet PVGIS-CMSAF [15], se appendix avsnitt 9.1.2 och figur 16.

#### 4.5.3 Jämförelse av placeringsalternativ A) och B)

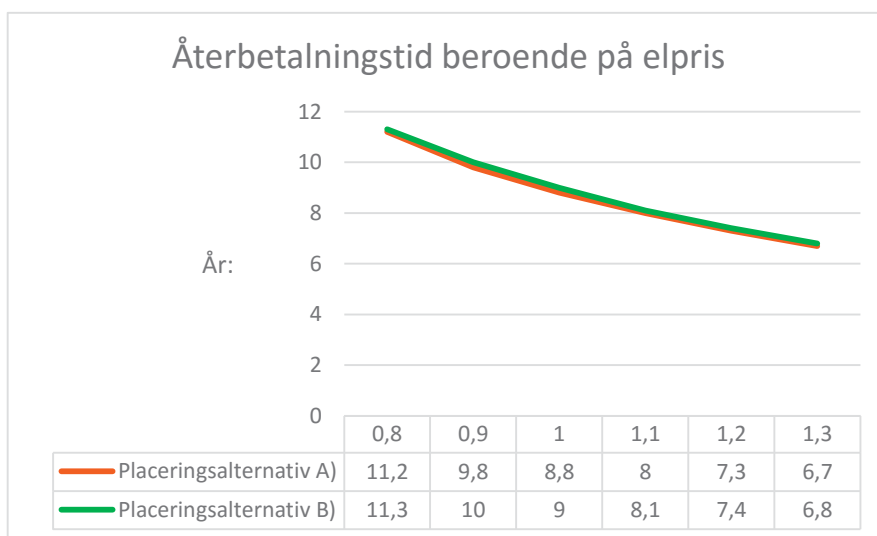
Trots olika storlekar och total investeringskostnad är det ingen markant skillnad för återbetalningstid och kostnad för producerad el (se tabell 3) beroende på placeringsalternativ A) eller B) med eller utan solcellsstöd. Ur produktionssynpunkt fås ett högre värde för kWh/år och kWh/m<sup>2</sup> takyta för alternativ B), samt större minskning av koldioxidutsläpp per år till följd av en högre årsproduktion av el. Även en årlig kostnadsbesparing är högre för alternativ B) än A).

För både placeringsalternativ A) och B) ger en investering utan solcellsstöd ett pris per producerad kWh som är högre än värdet på elen som är elpriset på 0,9 kr/kWh för den högre investeringskostnaden. Det ger en negativ årlig besparing.

Tabell 3. Jämförelse av placeringsalternativ A) och B), samt med och utan solcellstöd.

	A)		B)	
		Med solcellstöd:		Med solcellstöd:
Antal solcellsmoduler (st):	369		528	
Installerad topeffekt (kW):	101		145	
Tot. Investeringskostnad (kr):	1 100 000 - 1 260 000	770 000 - 882 000	1 500 000 - 1 740 000	1 050 000 - 1 218 000
Investerad kr/Wp:	11 - 12,5	7,6 - 8,7	10,0 - 12	7,2 - 8,4
Årsproduktion (kWh):	92 440		122 660	
Andel av tot. Inköpt elbehov (%):	0,57		0,75	
Årsproduktion/m <sup>2</sup> takyta (kWh/m <sup>2</sup> ):	42		55,8	
Återbetalningstid (år):	14 - 16	9,8 - 11,3	14,2 - 16,5	10 - 11,5
Kostnad för solel (kr/kWh):	0,81 - 0,92	0,58 - 0,66	0,82 - 0,94	0,59 - 0,67
Årlig besparing (kr/år):	8 299 - - 1 868	29 268 - 22 152	10 080 - - 5 170	38 075 - 27 999
Minskade CO2-utsläpp (ton/år):	1,8 - 3,7		2,4 - 4,9	

Återbetalningstiden beror på mängden årligen producerad el och det rådande elpriset. Diagrammet i figur 17 visar återbetalningstiden med solcellsstöd för bägge solcellsanläggningar beroende på elpris med konstant årsproduktion enligt tidigare angivna värden.



Figur 17. Visar återbetalningstiden för placeringsalternativ A) och B) beroende på elpris. Plac.alt A) = 92 440 kWh/år och plac.alt B) = 122 660 kWh/år. Återbetlaningstiden är beräknat för lägsta investeringskostnad.

#### **4.5.4 Underhåll**

Vid underhåll av solcellsanläggning framkom genom intervjuer [48][49][77] rekommendation om en årlig kontroll, samt installation av ett digitalt larm som indikerar på fel i systemet inkopplat till solcellsanläggningen. Respondenterna (se avsnitt 2.2) uppgav att ingen snöskottning förekom, förutom vid enstaka tillfälle då is skrapats bort från modulerna. Snöskottning genomförs inte därför att underhållskostnaden anses för stor i förhållande till elproduktionen och med hänsyn till personals säkerhet. Rengöringen av modulerna skedde naturligt genom regn. För Landstinget Blekinge att ta i beaktning för eventuell snöskottning är om solcellsanläggningen i kombination med mycket snö kan påverka takets konstruktion.

Vid konsultation med avdelningschef för underhållsavdelningen Darek Olsson [79], Landstinget Blekinge, uppgavs en årlig underhållskostnad för en solcellsanläggning till ca 5 000 kr, med avseende på övervakning.

#### **4.5.5 Säkerhet**

Det finns inga generella skrivelser angående säkerheten kring en solcellsanläggning utan specifika krav och önskemål från, i detta fall räddningstjänsten. Utifrån genomförd intervju [11] framgår det att räddningstjänsten har önskemål om att på byggnadens brandpanel få information om att det finns en solcellanläggning på taket. Samt ha en DC-brytare (likströmsbrytare) placerad nära panelerna och innan växelriktaren innanför taket i byggnaden för att kunna bryta likströmskabeln och likströmsspänningen. Det förhindrar att en likströmskabel går genom byggnaden och medför att enbart taket blir spänningsatt.

Övrig information från intervjuer tyder på att för att ha en god säkerhet föra en god dialog med räddningstjänst och brandmyndigheten [48][49].

## 5 Hållbarhetsanalys av solcellsanläggning

Alla energisystem, inklusive hållbara och förnybara har en viss miljöpåverkan. Vad gäller solceller har de en viss miljöpåverkan under tillverkningsfasen och vid drift beroende på typ av solcell. Hållbarhetsanalysen inkluderar kiselbaserade solceller och tunnfilmssolceller, CIGS (koppars, indium, gallium och selenid) och CdTe (kadmium och tellur). Framställningen av kiselbaserade solceller och tunnfilmssolceller är relativt lika och har därför en snarlik miljöpåverkan under materialutvinningen och vid produktion av modulerna [80]. Processen är energikrävande, men kiselbaserade solceller har idag en positiv energibalans med en energiåterbetalningstid på 3 – 5 år med en livslängd på 25 – 30 år, även vid lägre solinstrålning [81][82].

Kiselbaserade solceller består av solid dopad halvledarkristall och produceras till största del av rent kisel som framställs från kiseloxid. För att solcellen ska fungera optimalt används även koppar, silver och dopningsmaterial vilket också är energiintensivt vid framställning. Malmbrytningen för kisel, koppar och silver kan ge upphov till utsläpp av lakvatten från slagghögar som innehåller metaller [80], vilket ökar spridningen av ämnen från berggrunden. Tunnfilmssolceller består av plast som täcks med tunna lager av halvledande och halvmetaller som kadmium, indium, gallium, selenid och tellur vilket är relativt ovanliga metaller. Brytning och produktion av de metallerna ger upphov till samma miljöpåverkan som för kiselbaserade [80].

För montering av både kiselbaserad solceller och tunnfilmssolceller krävs ställningar i vanligtvis stål eller aluminium där malmbrytningen, som för materialutvinningen, kan ge upphov till utsläpp av lakvatten [80]. Metallproduktionen för ställningarna även den energikrävande.

Tunnfilmssolceller är lättare, kräver mindre material till ställningar och ger upphov till en något mindre miljöpåverkan vid framställningen. Däremot har de lägre verkningsgrad och producerar mindre el jämfört med en kiselbaserad under samma livslängd [80].

Sherwani, A.F. et al [83] visar i en sammanställning för studier av livscykelanalyser för mono- och polykristallina solceller av kisel, samt tunnfilmssolceller att samtliga har utsläpp av växthusgaser under livslängden, men anses fortfarande vara en lovande energikälla för att minska utsläppen eftersom de är i förhållande med fossila bränslen är låga [84]. Sherwani et. al menar att utveckling av högre verkningsgrad, minskning av mängden material som används i solceller och om systemet designas efter maximal återvinning kommer utsläppen minska ytterligare.

British Geological Survey (BGS) [85] gav år 2015 ut en uppdaterad risklista som ger en indikation över risken för bristande tillgång för 41 olika grundämnen som behövs för att bibehålla dagens ekonomi och livsstil [86]. På den listan återfinns koppar, indium, gallium och kadmium som finns i tunnfilmssolceller, samt aluminium som monteringsställningar tillverkas av. Indium, gallium och kadmium utgör en relativt hög risk för framtida brist på tillgång, medan övriga utgör en relativt låg risk.

Listan är internationellt erkänd och ämnena rankas efter sju faktorer; koncentration av produktion, fördelning av utvinningsresurser, återvinningsgrad, styrelseskick för ledande produktionsländer, styrelseskick för länder med högst utvinningsreserver och procentuell andel av en metal som utvinns som biprodukt [86].

Nedan följer en analys gentemot hållbarhetsprinciperna som utgör grundstenarna i ett hållbart samhälle [27]:

*Hållbarhetsprincip 1:*

På grund av utsläpp vid materialutvinningen för bägge typer av solceller och växthusgasutsläpp ur ett livscykelperspektiv ökar systematiskt spridning av ämnen från berggrunden. Återvinns inte solcellsmodulerna eller ställningarna för montering av moduler bidrar även de till spridning av ämnen från berggrunden i slutet av anläggningens livslängd. Eftersom flera metaller som ingår i solcellsmoduler återfinns på risklistan över grundämnen och metaller som det kan bli brist på tillgång på är det önskvärt att planera för en god resthantering.

*Hållbarhetsprincip 2:*

I den här studien inkluderas ingen information angående solceller som bryter mot hållbarhetsprincip 2.

*Hållbarhetsprincip 3:*

Metallbrytningen i gruvor bidrar till systematisk undanträngning av naturen med fysiska metoder. Under drift- och underhållsfasen bryter inte anläggningen mot hållbarhetsprincip 3 eftersom den planeras att anläggas på befintligt tak.

*Hållbarhetsprincip 4:*

Säkerheten kring solcellsanläggning utgör en viss fara för räddningstjänst vid otillräcklig informationsutbyte.

Eftersom mycket av Landstinget Blekinges verksamhet utgörs av vård bör placeringen av en solcellsanläggning noga planeras i förhållande till de risker som utgörs vad gäller brand. Det kan mer fördelaktigt placeras på byggnader där ingen vård av brukare bedrivs för att inte riskera deras sociala hållbarhet.

Solcellanläggningen kan skapa mervärde för Landstinget i form av ett starkare och grönare arbetsgivarevarumärke, samt för samhället eftersom miljöpåverkan minskar.

## 6 Slutsats

Resultatet av studien visar på goda möjligheter för Landstinget Blekinge att investera i en solcellsanläggning, både ur ett ekonomiskt och hållbart perspektiv.

Projekteringen resulterade i två olika solcellsanläggningar, placeringsalternativ A) och B). Placeringsalternativ A) har en installerad topp effekt på 101 kW till en total investeringskostnad på 1 100 000 – 1 260 000 kr och placeringsalternativ B) en installerad topp effekt 145 kW till en total investeringskostnad på 1 500 000 – 1 740 000 kr. Anläggningarna utgår från samma referensmodul, men skiljer sig i vinkel på modulerna och om de är liggande eller stående.

Trots olika storlekar och investeringskostnader utgjorde återbetalningstiden, kostnaden för den producerade elen och investeringskostnad per installerad watt en marginell skillnad mellan alternativen. Återbetalningstiden för placeringsalternativ A) blev 9,8 – 11,3 år med beviljat solcellstöd och 14 – 16 år utan investeringsbidrag. För placeringsalternativ B) blev återbetalningstiden 10 – 11,5 år med solcellstöd och 14,2 – 16,5 år utan. Tiden för återbetalning kan efter en investering påverkas både positivt och negativt beroende på elprisets utveckling. Det visades genom att beräkningar med både högre och lägre elpriser (0,8 – 1,3 kr/kWh) än antaget för Landstinget i studien (0,9 kr/kWh) genomfördes (avsnitt 4.5.3 och figur 17).

I jämförelsen mellan de två olika projekterade solcellsanläggningarna visades placeringsalternativ B) vara mest fördelaktig. Det är till följd av den högre årsproduktionen vilket gör att den är mer lönsam efter att återbetalningstiden är klar då den skulle ge en högre årlig kostnadsbesparing gentemot elpriset. Andra fördelar som talar för placeringsalternativ B) är att takytan skulle utnyttjas effektivare tack vare högre produktion av el per kvadratmeter, samt att monteringen skulle vara lättare med tanke på att vindlasten blir mindre för hur solcellsmodulerna är placerade jämfört med placeringsalternativ A).

Solceller är ett lönsamt energiförsörjningsalternativ för Landstinget eftersom den ekonomiska analysen visar att bägge solcellsanläggningar återbetalas innan den ekonomiska livslängden tagit slut både med och utan solcellstöd. Den ekonomiska livslängden som beräkningarna utgår från är 20 år, men en anläggning skulle ha en livslängd på 25 – 30 år. Däremot visar resultatet av studien att lönsamheten är mest fördelaktig vid ett beviljat solcellstöd eftersom det minskar återbetalningstiden med ca en tredjedel, sänker kostnaden för den producerade elen, samt ger en högre årlig kostnadsbesparing. Värt att notera är att utan ett beviljat solcellstöd vid den högre investeringskostnaden för bägge alternativen blir priset för den producerade elen högre än det elpris som studien utgår från på 0,9 kr/kWh.

Eftersom Landstingets elbehov är stort och att solcellsanläggningarnas uppskattade årsproduktion var för sig stod för mindre än 1 % av organisationens externa elbehov medför det att det inte kommer att innebära extra intäkter i form av försäljning av överskottsel, därmed inte heller något skattereduktion. Däremot finns det möjlighet att generera extra intäkter genom elcertifikatsystemet för varje producerad megawattimme. Placeras en elmätare direkt efter produktionen innan användning av el blir en anläggnings hela elproduktion berättigad elcertifikat. Det bör däremot vägas gentemot kostnaderna för att erhålla ett konto och kostnaderna för att ha ett rapporterande företag för produktionen som krävs för att tilldelas elcertifikat.

En solcellsanläggning medför inga stora förändringar för drift- och underhållsorganisationen eller stora underhållskostnader som skulle påverka lönsamheten. Organisationen skulle inte heller påverkas av regeringens nya lagförslag gällande energiskatt för solceller eftersom bägge projekterade anläggningar är under 255 kW och att all el skulle konsumeras inom egna fastigheter (lagförslaget innebär att enbart den el som säljs blir skattepliktig).

Kopplat till lönsamhet är ett mervärde för Landstinget att utifrån genomförda intervjuer genererar investeringar i solcellsanläggningar god publicitet ut mot samhället vid god marknadsföring. Det skulle utveckla och stärka ett grönare varumärke genom att en solcellsanläggning förbättrar miljön och att samhället gynnas. Därmed kan Landstinget Blekinge också stärka sitt arbetsgivarvarumärke vid rekrytering av framtida medarbetare och ses som en organisation som tänker på helhetsperspektivet.

Solceller är ett långsiktigt hållbart energiförsörjningsalternativ därför att trots utsläpp av växthusgaser ur ett livscykelperspektiv är produktionen av el klimat- och miljöneutral. Till följd av det är en minskad miljöpåverkan i form av minskade koldioxidutsläpp stor med solceller gentemot konventionell fossil elförsörjning. Även om Landstinget har ett grönt elavtal skulle en solcellsanläggning stärka mängden förnybar el i det svenska kraftnätet. Den mängd inköpt el som en anläggning skulle ersätta skulle istället kunna användas av andra konsumenter.

Solceller har en potential i Sverige och blir alltmer konkurrenskraftigt i takt med sjunkande priser på solcellsmoduler och en ökande marknad. Enligt litteraturstudien anges solceller av flera källor som en del i ett framtida energisystem, vilket tyder på en långsiktig hållbarhet. De är bland annat Boverket, Energimyndigheten och Naturvårdsverket.

Vid ett uppförande av en solcellsanläggning skulle Landstinget bidra till klimat- och energimål både på nationell och europeisk nivå som bygger på minskade koldioxidutsläpp, ökad andel förnybar energi och minskad energiintensitet till år 2020. I förlängningen skulle en solcellsanläggning bidra till Sveriges mål om att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till år 2050 (år 2045 enligt nytt förslag). Solceller stödjer även Landstingets miljöplan eftersom det skulle öka andelen egenproducerad el från en förnybar energikälla och det skulle föra organisationen ett steg framåt mot att vara fossilt oberoende. Eftersom en anläggning planeras att placeras på ett befintligt tak skulle det dessutom inte ske någon undanträngning av naturen. Annat som talar för solcellers hållbarhet är att trots energikrävande materialutvinning av metaller till solceller och en energikrävande tillverkning av moduler är energiåterbetalningstiden på 3 – 5 år (kiselbaserade solceller) kort i förhållande till en anläggnings livslängd på 25 – 30 år.

Hållbarhetsproblem med solceller som påvisas är framförallt användningen av metaller som det riskeras att råda bristande tillgång på. För att förebygga bristande tillgång på metaller och en koncentrationsökning av ämnen från bergrunden krävs en god planering för resthantering efter anläggningens livslängd har tagit slut.

I förhållande till förändrade förutsättningar i Landstingets dagliga verksamhet förväntas inte belastningen att öka på driftpersonal då studien visar på att solcellsanläggningar har ett lågt underhållsbehov. Säkerheten antas inte utgöra en större fara om installationen genomförs korrekt, samt att en tydlig dialog med räddningstjänsten förs och att deras önskemål tillgodoses. Eftersom att det planeras en påbyggnad av ytterligare två våningar på den valda byggnaden ger det Landstinget goda möjligheter att optimera taket efter en solcellsanläggning.

## 7 Diskussion

Resultatet pekar på en ekonomisk investering som är mest fördelaktigt lönsam vid beviljat solcellsstöd. Däremot är den ekonomiska analysen genomförd med hjälp av enkla metoder som kan tolkas mer fördelaktiga än vid användandet av grundligare metoder som kan krävas för att få ett bättre underlag. Vid beräkning av återbetalningstiden tas exempelvis inte hänsyn till kalkylränta, ekonomisk livslängd eller restvärde.

Den uppskattade årsproduktionen är beräknat med ett program som ger bäst resultat för mindre anläggningar och tar inte hänsyn till skuggning av solcellsmoduler. Att hänsyn inte tas till skuggning kan göra att produktionen från slutet av oktober till slutet av februari i verkligheten blir mindre eftersom avståndet mellan modulerna är beräknat utifrån solens position på himlen i just oktober och februari. Däremot är produktionen för solcellsanläggningarna återhållsamt beräknad och utgår från ett medelvärde utifrån effektgarantin på 25 år.

Annat som kan förändra de ekonomiska förutsättningarna för en investering är framtida priser på solceller och elprisets utveckling. Eftersom resultatet visar att lönsamheten är kopplad till ett beviljat solcellstöd är det mindre ekonomiskt försvarbart med dagens elpriser eller lägre. På grund av att elpriset i studien är en uppskattning för att få ett fast värde i förhållande till det rörliga elpriset som Landstinget Blekinge har kan även det ge upphov till felkällor. Vad gäller elprisets utveckling är det svårt att avgöra hur det kommer att utvecklas, även om Energimyndigheten använder stigande elpriser i deras framtidsscenarior som presenteras i denna studien (avsnitt 3.5.1). Återbetalningstiden förändras dessutom över tid efter en investering på grund av skiftande elpris och det kan därför vara förmånligt att genomföra en grundligare undersökning av elprisets framtida utveckling än vad denna studie framhåller.

Däremot visar litteraturstudien på en positiv prisutveckling av solceller med sjunkande priser från 40 kr/Wp till 12,9 kr/Wp (exklusive moms) mellan år 2010 och år 2014. Priserna förväntas sjunka ytterligare och det kan betyda att om tre till fem år kan en investering bli ekonomisk försvarbart utan solcellstöd och med dagens elpris.

Jämfört med tidigare utredning genomförd av Solect Power skiljer sig resultatet i denna studien med avseende på installerad topp effekt, uppskattad årlig produktion och total investeringskostnad exklusive moms.

Anläggningarna i denna studie är dimensionerade efter ett framtida tak efter en påbyggnad av två våningsplan vilket medför att mängden tillgänglig takyta blir mer än idag. Därför kan det utifrån denna studien placeras ett större antal solcellsmoduler på byggnad 02-33 och till följd av det blir anläggningarna större i installerad topp effekt. Jämfört med en installerad topp effekt på 100 kW, som uppges i den tidigare utredningen, blir framförallt placeringsalternativ B) betydligt större på 145 kW. Placeringsalternativ A), med solcellsmoduler som är placerade med en vinkel på 41 grader, kräver ett längre radavstånd och därför antas den ha resulterat i en snarlik installerad topp effekt i förhållande till den tidigare utredningen. Utifrån det dras en antagen slutsats om att i den tidigare utredningen dimensionerades anläggningarna utifrån att solcellsmodulerna placerades med en vinkel på 15 grader som i placeringsalternativ B).

De totala investeringskostnaderna för studien är uppskattade av två olika solcells företag och är något lägre än det som uppges i utredningen av Solect Power. Förklaring till det kan vara en eventuell prissänkning på solcellsmoduler.

Den tidigare utredningens förslag om montering av solcellmoduler med en vinkel på 15° bekräftas genom att placeringsalternativ B), med moduler placerade i samma vinkel, resulterade i en mer fördelaktig anläggning jämfört med placeringsalternativ A) där de placerades med en vinkel på 41°.

Den teoretiska projekteringen begränsas i form av grundlig genomgång av bland annat eltekniska komponenter och kabeldimensionering för en solcellsanläggning. Förslag till fortsatta studier är eltekniska komponenter som exempelvis antal växelriktare som krävs för anläggningen, kabeldimensionering och installation, samt djupare analys av bästa montering och placering för specifik fastighet och tak som genomförs av ett sakkunnigt företag.

För att undvika sociala och ekologiska hållbarhetsproblem vad gäller exempelvis utvinning av material till och produktionen av solceller rekommenderas vidare studier för att genomföra en grundlig upphandling vid ett investeringstillfälle och på så sätt ställa krav utifrån ekologisk och social hållbarhet. Flera av de metaller som används i dagens solceller återfinns även på en risklista över grundämnen som det kan råda brist på tillgång för. Därför rekommenderas även en utredning angående resthantering för solceller.

## 8 Referenser

1. Landstinget Blekinge (2014) *Energi*.  
Senast uppdaterad: 2014-01-16 17:15:08. Sökdatum: 2016-03-30.  
Länk: <http://ltblekinge.se/Om-landstinget/Miljo/Landstingets-miljofragor/Energi/>
2. Landstinget Blekinge (2014) *Miljö- och hållbarhetsplan för Landstinget Blekinge – Policy, visioner, mål och åtgärdsförslag för miljö, ekonomi samt socialt ansvarstagande*.  
Framtagen: 2014. Sökdatum: 2016-03-30. Använder: s.3-4 och s. 9.  
Länk: [http://ltblekinge.se/globalassets/om-landstinget/sa-styrs-landstinget/policydokument/miljo--och-hallbarhetsplan-for-landstinget-blekinge\\_-lf-nov-2014.pdf](http://ltblekinge.se/globalassets/om-landstinget/sa-styrs-landstinget/policydokument/miljo--och-hallbarhetsplan-for-landstinget-blekinge_-lf-nov-2014.pdf)
3. Vanek, F., Albright L. (2012) *Energisystemteknik*. Upplaga: 1:1. Stockholm: Liber AB. Kapitel 10, s. 276-277.
4. Energimyndigheten (2014) *National Survey Report of PV Applications in Sweden 2014*.  
Framtagen av: Johan Lindahl, Uppsala Universitet. Sökdatum: 2016-04-05.  
Länk: [https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/stod-till-solceller/national\\_survey\\_report\\_of\\_pv\\_power\\_applications\\_in\\_sweden\\_2014.pdf](https://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/stod-till-solceller/national_survey_report_of_pv_power_applications_in_sweden_2014.pdf)
5. Solect Power (2015) *Inventering solcellsmöjligheter Blekingesjukhuset Karlskrona*.  
Uppdragsgivare: Lennarth Ohlsson, Landstingsservice, Affärsområde Fastighet.
6. Rienecker, L., Jorgensen, P. S. (2015) *Att skriva en bra uppsats*.  
Upplaga: 1:3. Stockholm: Liber AB. ISBN: 978-91-47-11151-0. s. 138, 143.
7. Solect Power (2016) *Om oss*.  
Sökdatum: 2016-05-15.  
Länk: <http://www.solectpower.se/om-oss>
8. Karlskronahem AB (2016) *Energi- och miljö*.  
Sökdatum: 2016-05-27.  
Länk: <http://www.karlskronahem.se/om-oss/energi-och-miljo/>
9. Karlskronahem AB (2016) *Ledning*.  
Sökdatum: 2015-05-27.  
Länk: <http://www.karlskronahem.se/kontakt/ledning/>
10. Coop Forum, Karlshamn (2016) *Miljö*.  
Sökdatum: 2016-05-27.  
Länk: <https://www.coop.se/Globala-sidor/OmKF/Konsumentforeningar/Coop-Karlshamn/Miljo/>
11. Intervju med Kenth Petersson, brandskyddscontroller på Landstinget Blekinge, Karlskrona, den 29 april 2016.
12. Solar Schoolhouse (2011) *Intro to solar orientation*.  
Publicerad: 2011-06-27. Sökdatum: 2016-05-21.  
Länk: <https://www.youtube.com/watch?v=OR8EQ0DWpPw>
13. University of Oregon (2015) *Sun Path Chart Program*.  
Senast uppdaterad: December 2015. Sökdatum: 2016-05-04.

- Länk: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php>
14. Koordinater.se (2010) *Blekingesjukhuset*.  
Sökdatum: 2016-05-04.  
Länk: <http://www.koordinater.se/intressepunkt.aspx?poiid=23011>
  15. JRC European Commission / CM SAF (2015) *PVGIS-CMSAF. (Beräkningsprogram)*  
Sökdatum: 2016-05-11.  
Länk: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
  16. SketUp (2016) *Ritprogram I 3D*.  
Sökdatum: 2016-05-12.  
Länk: [www.sketchup.com](http://www.sketchup.com)
  17. PVGIS-CMSAF (2016) *Warning – Why? Isn't PVGIS good enough??*  
Sökdatum: 2016-05-12.  
Länk: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVlargesystem\\_en.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVlargesystem_en.html)
  18. Uppskattning av total investeringskostnad, inklusive installation, av Fredrik Sjöholm, Solar Supply Sweden AB, Karlshamn, 2016-05-16.
  19. Uppskattning av total investeringskostnad, inklusive installation, av Ulf Åman, Solect Power, Vilshult, 2016-05-24.
  20. Carlsson, P., Sundin, A. (2007) *Ekonomiskt upplagsbok*.  
Upplaga: 1:2. Näsviken: Björn Lundén Information AB. ISBN: 978-91-7027-517-3. S. 18, 28, 75, 139, 230.
  21. Yard, S. (2001) *Kalkyler – för investeringar och verksamheter*.  
Upplaga: 1:2. Lund: Studentlitteratur AB. ISBN: 91-44-01057-5. S. 33.
  22. Information tillhandahållen av Veronica Andersson, Affärsområde Fastighet, Landstingsservice, Landstinget Blekinge. 2016-04-25.
  23. Bixia (2016) *Rörligt elpris*.  
Sökdatum: 2016-06-13.  
Länk: <https://www.bixia.se/elpriser/elavtal/orligt-pris>
  24. Information tillhandahållen genom mejl av Landstinget Blekinges kontaktperson på elhandelsbolaget Bixia, 2016-06-14.
  25. Affärsverken (2016) *Priser och avtalsvillkor*.  
Sökdatum: 2016-06-14.  
Länk: [http://www.affarsverken.se/Privat/El/Elanslutning/Natpriser\\_och\\_villkor/](http://www.affarsverken.se/Privat/El/Elanslutning/Natpriser_och_villkor/)
  26. Compricer (2016) *Energiskatt*.  
Sökdatum: 2016-06-14.
  27. Det Naturliga Steget (2016) *Vår metod*.  
Sökdatum: 2016-06-09,  
Länk: <http://www.detnaturligasteget.se/var-metod/>

28. Det Naturliga Steget (2016) *Vår historia*.  
Sökdatum: 2016-02-15.  
Länk: <http://www.detnaturligasteget.se/om-oss/#var-historia>
29. Steeby, D. L. (2012) *Alternative energy sources and systems*.  
Delmar, Cengage Learning. S. 3.
30. Sidén, G. (2009) *Förnybar energi*.  
1:3 upplagan. Lund: Studentlitteratur AB. ISBN: 978-91-44-04889-5. s. 71
31. Statens Energimyndighet (2015) *Energiläget 2015*.  
Publicerad: 2015 av energimyndigheten. Sökdatum: 2016-04-05. S. 7.  
Länk:  
[https://www.energimyndigheten.se/contentassets/50a0c7046ce54aa88e0151796950ba0a/energilaget-2015\\_webb.pdf](https://www.energimyndigheten.se/contentassets/50a0c7046ce54aa88e0151796950ba0a/energilaget-2015_webb.pdf)
32. Wolff, A. (Naturskyddsföreningen) (2011) *El från solen – för en ljusare framtid*.  
Sökdatum: 2016-05-24. S. 10 – 13.  
Länk: [http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011\\_energi\\_transport\\_solceller\\_for\\_en\\_ljusare\\_framtid.pdf](http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011_energi_transport_solceller_for_en_ljusare_framtid.pdf)
33. Dagens Nyheter (2016) *Kraftig ökning av solenergi – men stora skillnader i landet*.  
Publicerad: 2016-04-05. Skriven av: Jannike Kihlberg. Sökdatum: 2016-04-05.  
Länk: <http://www.dn.se/nyheter/sverige/kraftig-okning-av-solenergi-men-stora-skillnader-i-landet/>
34. European Commission, Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport (IET) (2016) *Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe*.  
Sökdatum: 2016-05-24.  
Länk: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>
35. Regeringskansliet (2015) *Övergripande mål och Sveriges nationella mål*.  
Publicerad: 2015-04-07. Senast uppdaterad: 2015-04-23. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: <http://www.regeringen.se/sverige-i-eu/europa-2020-strategin/overgripande-mal-och-sveriges-nationella-mal/>
36. Regeringskansliet (2016) *Sverige når de klimat och energipolitiska målen och regeringen tar fram strategi för klimatanpassning*.  
Publicerad: 2016-02-02. Senast uppdaterad: 2016-02-02. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/02/sverige-nar-de-klimat--och-energipolitiska-malen-och-regeringen-tar-fram-strategi-for-klimatanpassning/>
37. Regeringskansliet (2016) *Miljömålsberedningen föreslår ett klimatpolitiskt ramverk med klimatmål till 2045 och en klimatlag som reglerar former för arbetet*.  
Publicerad: 2016-03-09. Senast uppdaterad: 2016-09-16. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2016/03/miljomalsberedningen-foreslar-ett-klimatpolitiskt-ramverk-med-klimatmal-till-2045-och-en-klimatlag-som-reglerar-former-for-arbetet/>
38. Regeringskansliet (2015) *Regeringens insatser för att utveckla solenergin*.  
Publicerad: 2015-10-06. Senast ändrad: 2016-10-06. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: <http://www.regeringen.se/artiklar/2015/10/regeringens-insatser-for-att-utveckla-solenergin/>

39. Regeringskansliet (2015) *Strategi för solen*.  
Publicerad: 2015-07-23. Senast ändrad: 2015-07-23. Sökdatum: 2016-05-16.  
Länk: <http://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2015/07/strategi-for-solel2/>
40. Energimyndigheten (2016) *Vårt framtida energisystem – fyra scenarier utforskas*.  
Publicerad: 2016-04-27. Senast ändrad: 2016-04-28. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2016/vart-framtida-energisystem---fyra-scenarier-utforskas/>
41. Energimyndigheten (2016) *Fyra framtider – energisystemet efter 2020*.  
Publicerad: 2016-04. Sökdatum: 2016-05-23. S. 15, 112 – 114, 106-107.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/klimat--miljo/fyra-framtider/fyra-framtider-forskarmlasning.pdf>
42. Boverket (2012) *Säkerställ framtidens elförsörjning*.  
Publicerad: 2012-11-30. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: <http://sverige2025.boverket.se/sakerstall-framtidens-elforsorjning.html>
43. Svensk Solenergi (SSE) (2016) *Om oss*.  
Sökdatum: 2016-05-16.  
Länk: <http://www.svensksolenergi.se/om-oss>
44. Svensk Solenergi (SSE) (2013) *Solenergins roll i det framtida energisystemet*.  
Publicerad: 2013-03-21. Sökdatum: 2016-05-16.  
Länk: <http://www.svensksolenergi.se/nyheter/nyheter-2013/solenergins-roll-i-det-framtida-energisystemet>
45. Naturskyddsföreningen (2012) *Dags att välja framtidens energisystem*.  
Publicerad: 2012 Sökdatum: 2016-05-23. S. 6, 8, 14, 21.  
Länk: [http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2012maj\\_energi\\_framtidens\\_energisystem.pdf](http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2012maj_energi_framtidens_energisystem.pdf)
46. Ottosson, M. och Parment, A. (2015) *Sustainable marketing*.  
Upplaga: 1:1. Lund: Studentlitteratur AB. ISBN: 978-91-44-10485-0. Kapitel: 1, 7.
47. Parment, A. (2011) *Generation Y in consumer and labour markets*.  
New York: Routledge.
48. Intervju med Ulf Klinth, teknisk chef på Karlskronahem AB, Karlskrona, den 10 maj 2016.
49. Intervju med Conny Berg, stormarknadschef för Coop Forum Karlshamn, Karlshamn, den 13 maj 2016.
50. Haegermark, M. (2016) *Solcellers lönsamhet på fastigheter - en komplex fråga*.  
Publicerad: 2016-04-21. Senast uppdaterad: 2016-04-25. Sökdatum: 2016-05-23.  
Länk: [http://www.chalmers.se/sv/institutioner/cee/nyheter/Sidor/Solcellers-lonsamhet-pa-fastigheter.aspx?utm\\_source=apsis&utm\\_medium=nyhetsbrev&utm\\_content=unspecified&utm\\_campaign=unspecified](http://www.chalmers.se/sv/institutioner/cee/nyheter/Sidor/Solcellers-lonsamhet-pa-fastigheter.aspx?utm_source=apsis&utm_medium=nyhetsbrev&utm_content=unspecified&utm_campaign=unspecified)
51. Svensk energi (2016) *Elpriser och skatter*.  
Publicerad: 2012-07-19. Senast ändrad: 2016-04-14. Webbredaktör: Magnus Thorstensson. Sökdatum: 2016-04-28.

Länk: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elpriser-och-skatter/>

52. Svensk energi (2016) *Spotprisets utveckling*.  
Publicerad: 2012-10-03. Senast ändrad: 2016-04-15. Webbredaktör: Magnus Thorstensson. Sökdatum: 2016-04-28.  
Länk: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Elmarknaden/Spotprisets-utveckling/>
53. elen.nu (2016) *Dagens spotpris på el*.  
Sökdatum: 2016-04-29.  
Länk: <http://elen.nu/>
54. Dagens Industri (2016) *Låga elpriser spås fortsätta*.  
Publicerad: 2016-04-19. Publicerad av: Jesper Klingnell. Sökdatum: 2016-04-29.  
Länk: <http://www.di.se/artiklar/2016/4/5/laga-elpriser-spas-fortsatta/>
55. Energimyndigheten (2016) *Stöd till solceller*.  
Publicerad: 2015-10-21. Senast uppdaterad: 2016-03-21. Sökdatum: 2016-04-21.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/stod-till-solceller/>
56. Energimyndigheten (2015) *Investeringsstöd*.  
Publicerad: 2015-06-16. Ansvarig: Andreas Gustafsson. Senast uppdaterad: 2015-09-15. Sökdatum: 2016-04-21.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/stod-till-solceller/investeringsstod/>
57. Länsstyrelsen Blekinge Län (2016) *Solceller*.  
Publicerad: 2016- Sökdatum: 2016-04-21.  
Länk: <http://www.lansstyrelsen.se/blekinge/Sv/samhallsplanering-och-kulturmiljo/boende/Pages/Solceller.aspx>
58. Skriftlig kontakt med Samuel Karlström, handläggare klimat- och energi, Länsstyrelsen Blekinge Län.  
2016-05-02.
59. Energimyndigheten (2016) *Stöd för installation av solceller*.  
Sökdatum: 2016-04-21.  
Länk:  
<http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/solenergi/manadsrapporter/2016/manadsrapport-solcellsstodet-mars-2016.pdf>
60. Energimyndigheten (2015) *Om elcertifikatsystemet*.  
Publicerad: 2014-11-04. Senast uppdaterad: 2015-10-21 Sökdatum: 2016-05-30.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/>
61. Energimyndigheten (2015) *En svensk-norskelcertifikatsmarknad*.  
Publicerad: 2014-11-04. Senast uppdaterad: 2015-11-26. Sökdatum: 2016-05-30.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/en-svensk-norsk-elcertifikatsmarknad/>
62. Energimyndigheten (2015) *Mätning och rapportering av elproduktion*.  
Publicerad: 2015-06-09. Senast uppdaterad: 2015-10-21. Sökdatum: 2016-05-31.  
Länk: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/elproducent/matning-och-rapportering-av-elproduktion/>

63. Energimyndigheten (2016) *Öppna ett konto*.  
Sökdatum: 2016-05-31.  
Länk: <https://cesar.energimyndigheten.se/Lists/PublicPages/AboutEICertificates.aspx>
64. Karlskrona Kommun (2012) *Riktlinjer för uppförande av solpaneler*.  
Publicerad: 2012-02-08. Publicerad av: Samhällsbyggnadsförvaltningen. Senast uppdaterad: 2012-02-08. Sökdatum: 2016-05-17.  
Länk: <http://www.karlskrona.se/sv/Bostad--miljo/Aktuellt-inom-Bostad--Miljo/Riklinje-for-uppforande-av-solpaneler/>
65. Affärsverken (2012) *Producera egen el*.  
Senast ändrad: 2012-05-15. Sökdatum: 2016-05-17.  
Länk: <http://www.affarsverken.se/Foretag/El/Producera-egen-el/>
66. Skatteverket (2016) *Skattereduktion för mikroproduktion av förnybar el*.  
Sökdatum: 2016-05-17.  
Länk: <https://www.skatteverket.se/privat/fastigheterbostad/mikroproduktionavfornybarel/skattereduktionformikroproduktionavfornybarel.4.12815e4f14a62bc048f4220.html>
67. Nohrstedt, L., Ny Teknik (2015) *Förslaget: Gränsen för skatt på solex ändras*.  
Publicerad: 2015-07-02. Publicerad av: Linda Nohrstedt. Sökdatum: 2016-05-18.  
Länk: <http://www.nyteknik.se/energi/forslaget-gransen-for-skatt-pa-solex-andras-6392851>
68. SolEl-programmet, *Installationsguide Nätanslutna Solcellsanläggningar*. Guide för installation av solceller, SolEl-programmet i samarbete med Energimyndigheten
69. Muntlig information efter möte med Åsa Norrby, Affärsområdeschef Fastighet, Landstingsservice, Landstinget Blekinge 2016-04-01 11:00.
70. Solar World (2016) *Datablad: Sunmodule® Plus SW 275 mono black*.  
Sökdatum: 2016-05-04.  
Länk: [http://www.solarworld.de/en/products/products/solar-modules/sunmodule-plus/http://www.solarworld.de/fileadmin/downloads\\_new/produkt/sunmodule/datenblaetter/en/mono/mono\\_black\\_275-285\\_en.pdf](http://www.solarworld.de/en/products/products/solar-modules/sunmodule-plus/http://www.solarworld.de/fileadmin/downloads_new/produkt/sunmodule/datenblaetter/en/mono/mono_black_275-285_en.pdf)
71. Solar World (2016) *The linear performance guarantee*.  
Sökdatum: 2016-05-18.  
Länk: <http://www.solarworld.de/en/service/linear-performance-guarantee/>
72. Hedström, J. och Palmblad, L. (2006) *Performance of old PV modules – measurement of 25 years old crystalline silicone modules*. Elforsk rapport 06:71. Publicerad: Oktober 2006.
73. Svensk Solenergi (2016) *Drift och underhåll av solcellsanläggningar*.  
Sökdatum: 2016-05-21.  
Länk: <http://www.svensksolenergi.se/fakta-om-solenergi/Solel/drift-och-underhall-av-solcellsanlaegningar>
74. Sammanställning av sektionsritningar över byggnad 02-33 tillhandahållna av Ann-Helene Svensson, Affärsområde Fastighet, Landstingsservice, Landstinget Blekinge 2016-04-18.

75. Muntlig information efter möte med Anders Tovesson, Affärsområde Fastighet, Landstingsservice, Landstinget Blekinge 2016-04-26.
76. Civicsolar™ (2015) *Determining module inter-row spacing*.  
Publicerad: 2015-05-21. Publicerad av: Adam Diehl. Sökdatum: 2016-05-05.  
Länk: <https://www.civicsolar.com/resource/determining-module-inter-row-spacing>
77. Intervju med Ulf Åman, VD för Solect Power, Vilshult, den 4 maj 2016.
78. Svensk energi (2016) *Hur mycket koldioxid medför din elanvändning?*  
Publicerad: 2012-08-12. Senast uppdaterad: 2016-04-14. Webbredaktör: Cecilia Kellberg. Sökdatum: 2016-05-12.  
Länk: <http://www.svenskenergi.se/Elfakta/Miljo-och-klimat/Klimatpaverkan/Hur-mycket-koldioxid-medfor-din-elanvandning/>
79. Muntligt möte med Darek Olsson, Drift- och underhållschef, Landstingsservice, Landstinget Blekinge. 2016-04-25.
80. Molander, M., Ahlborg, H., Arvidsson R., Hammar, L., Kushnir, D., Wallin, A., Westerdahl, J. (Naturvårdsverket) (2010) *Förnybara energikällors inverkan på de svenska miljömålen*. ISBN: 978-91-620-6391-7 s. 125 – 129.  
Publicerad: 2010. Sökdatum: 2016-05-24.  
Länk: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/978-91-620-6391-7.pdf>
81. Laleman, Albrecht, Dewulf (2010) Life Cycle Analysis to estimate the environmental impact of residential photovoltaic systems in regions with a low solar irradiation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, In press. Doi:10
82. Dincer F (2010) The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* article in press.  
Doi:10.1016/j.rser.2010.09.026 46
83. Sherwani, A.F., Usmani, J.A., Varun (2010) *Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review*. Volume 14
84. Wolff, A. (Naturskyddsföreningen) (2011) *El från solen – för en ljusare framtid*.  
Sökdatum: 2016-05-24. S. 10 – 13.  
Länk: [http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011\\_energi\\_transport\\_solceller\\_for\\_en\\_ljusare\\_framtid.pdf](http://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2011_energi_transport_solceller_for_en_ljusare_framtid.pdf)
85. British Geological Survey (BGS) (2016) *About us*.  
Sökdatum: 2016-05-31.  
Länk: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/aboutus.html>
86. British Geological Survey (BGS) (2016) *Risk list 2015*.  
Publicerad: 2015. Sökdatum: 2016-05-31.  
Länk: <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/risklist.html>

## 9 Appendix

### 9.1 Uppskattad årsproduktion av solel

Nedanstående produktionsvärden, tabeller och diagram visar uppskattad årsproduktion och inmatade värden i programmet PVGIS-CMSAF [15] för solcellsanläggningarna placeringsalternativ A) och placeringsalternativ B). Samtliga uppgifter är hämtade från resultatet av beräkningsprogrammet. Samt uppskattad årsproduktion utifrån referenspanelens effektgaranti (se avsnitt 4 och figur 7 [71]) där den årliga produktionen utgör ett medelvärde för garantin på 25 år.

#### 9.1.1 Uppskattad årsproduktion - Placeringsalternativ A)

Nominal power of the PV system: 101.5 kW (crystalline silicon)  
Estimated losses due to temperature and low irradiance: 7.3% (using local ambient temperature)  
Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.9%  
Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
Combined PV system losses: 22.6%

**Fixed system: inclination=41°, orientation=9°**

Month	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	83.60	2590	0.97	30.2
Feb	144.00	4030	1.70	47.7
Mar	336.00	10400	4.10	127
Apr	429.00	12900	5.39	162
May	451.00	14000	5.87	182
Jun	456.00	13700	6.01	180
Jul	427.00	13200	5.66	176
Aug	393.00	12200	5.18	161
Sep	330.00	9910	4.24	127
Oct	204.00	6320	2.51	77.9
Nov	94.70	2840	1.13	34.0
Dec	56.90	1770	0.66	20.6
<b>Yearly average</b>	<b>284</b>	<b>8650</b>	<b>3.63</b>	<b>110</b>
<b>Total for year</b>		<b>104000</b>		<b>1330</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)  
 $E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)  
 $H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)  
 $H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Figur 18. Visar beräknad årsproduktion för placeringsalternativ A) utifrån PVGIS-CMSAF [15].

Tabell 4. Placeringsalternativ A) – uppskattad årsproduktion under 25 år enligt effektgarantin (se avsnitt 4 och figur 7 [71]).

År:	Verkningsgrad (%):	Årsproduktion (kWh):	CO2-utsläpp, 20 g (kg):	CO2-utsläpp, 40 g (kg):
1	97%	100 880	2 017	4 035
2	96,3	100 152	2 003	4 006
3	95,6	99 424	1 988	3 976
4	94,9	98 696	1 973	3 947
5	94,3	98 072	1 961	3 922
6	93,6	97 344	1 946	3 893
7	92,9	96 616	1 932	3 864
8	92,3	95 992	1 919	3 839
9	91,6	95 264	1 905	3 810
10	90,9	94 536	1 890	3 781
11	90,3	93 912	1 878	3 756
12	89,6	93 184	1 863	3 727
13	88,9	92 456	1 849	3 698
14	88,3	91 832	1 836	3 673
15	87,6	91 104	1 822	3 644
16	86,9	90 376	1 807	3 615
17	86,2	89 648	1 792	3 585
18	85,6	89 024	1 780	3 560
19	84,9	88 296	1 765	3 531
20	84,2	87 568	1 751	3 502
21	83,5	86 840	1 736	3 473
22	82,8	86 112	1 722	3 444
23	82,2	85 488	1 709	3 419
24	81,5	84 760	1 695	3 390
25	80,2	83 408	1 668	3 336

**Totalt:** 2 310 984 46 207 92 426

## 9.1.2 Uppskattad årsproduktion - Placeringsalternativ B)

Nominal power of the PV system: 145.0 kW (crystalline silicon)  
 Estimated losses due to temperature and low irradiance: 6.2% (using local ambient temperature)  
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 3.7%  
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
 Combined PV system losses: 22.3%

<b>Fixed system: inclination=15°, orientation=9°</b>				
<b>Month</b>	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	81.00	2510	0.69	21.3
Feb	159.00	4450	1.33	37.2
Mar	400.00	12400	3.38	105
Apr	571.00	17100	4.95	149
May	657.00	20400	5.90	183
Jun	687.00	20600	6.27	188
Jul	633.00	19600	5.82	180
Aug	544.00	16900	4.96	154
Sep	413.00	12400	3.68	110
Oct	229.00	7110	1.99	61.6
Nov	95.20	2860	0.82	24.6
Dec	53.20	1650	0.46	14.3
<b>Yearly average</b>	<b>378</b>	<b>11500</b>	<b>3.36</b>	<b>102</b>
<b>Total for year</b>		<b>138000</b>		<b>1230</b>

$E_d$ : Average daily electricity production from the given system (kWh)

$E_m$ : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

$H_d$ : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m<sup>2</sup>)

Figur 19. Visar beräknad årsproduktion för placeringsalternativ B) enligt PVGIS-CMSAF [15].

Tabell 5. Placeringsalternativ B) – uppskattad årsproduktion under 25 år enligt effektgarantin (se avsnitt 4 och figur 7 [71]).

År:	Verkningsgrad (%):	Årsproduktion (kWh):	CO2-utsläpp, 20 g (kg):	CO2-utsläpp, 40 g (kg):
1	97	133 860	2 677	5 354
2	96,3	132 894	2 657	5 315
3	95,6	131 928	2 638	5 277
4	94,9	130 962	2 619	5 238
5	94,3	130 134	2 602	5 205
6	93,6	129 168	2 583	5 166
7	92,9	128 202	2 564	5 128
8	92,3	127 374	2 547	5 094
9	91,6	126 408	2 528	5 056
10	90,9	125 442	2 508	5 017
11	90,3	124 614	2 492	4 984
12	89,6	123 648	2 472	4 945
13	88,9	122 682	2 453	4 907
14	88,3	121 854	2 437	4 874
15	87,6	120 888	2 417	4 835
16	86,9	119 922	2 398	4 796
17	86,2	118 956	2 379	4 758
18	85,6	118 128	2 362	4 725
19	84,9	117 162	2 343	4 686
20	84,2	116 196	2 323	4 647
21	83,5	115 230	2 304	4 609
22	82,8	114 264	2 285	4 570
23	82,2	113 436	2 268	4 537
24	81,5	112 470	2 249	4 498
25	80,2	110 676	2 213	4 427

**Totalt:** 3 066 498 61 318 122 648

## 9.2 Ekonomisk analys av en investering

De ekonomiska beräkningarna beräknas med annuitetsmetoden/årskostnadsmetoden och återbetalningsmetoden (Pay-Back-metoden) (se avsnitt 2.5). De utgår från första årets produktion, avskrivningstid på 20 år, en räntesats på 2,4 % och ett elpris på 0,9 kr/kWh (värdet på producerad el, se avsnitt 2.6).

Återbetalningstiden beräknas med och utan solcellstöd på 30 % av total investeringskostnad.

### 9.2.1 Ekonomisk analys – Placeringsalternativ A)

Installerad toppeffekt = 101 kW.

Investeringskostnad  $K_i = 1\,100\,000 - 1\,260\,000$  kr (inklusive installationskostnader),

Investeringskostnad per installerad kW = 10 891 – 11 881 kr/kWp.

Årlig underhållskostnad  $K_u = 5\,000$  kr.

Årsproduktion = 100 880 kWh.

Värde på producerad el = 0,9 kr/kWh.

Investeringsbidrag (solcellstöd) = 30% av investeringskostnad.

Kalkylränta = 2,4 %.

Avskrivningstid = 20 år.

$$(1) a = \frac{0,024}{1 - (1 + 0,024)^{-20}} = 0,06354$$

<b><u>UTAN</u> Solcellstöd</b>	<b><u>MED</u> Solcellstöd</b>
<p><b>Årskostnad (avskrivningstid 20 år):</b> (1 100 000 kr)</p> <p>(2) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 1\,100\,000 =</math> 69 897 kr</p> <p>Tot. årskostnad = 69 897 + 5000 = 74 897 kr</p> <p>Årlig besparing = 0,9 * 92 440 – 74 897 = 8 299 kr</p>	<p><b>Årskostnad (avskrivningstid 20 år):</b> (770 000 kr)</p> <p>(2) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 770\,000</math> = 48 928 kr</p> <p>Tot. årskostnad = 48 928 + 5000 = 53 928 kr</p> <p>Årlig besparing = 0,9 * 92 440 – 53 928 = 29 268 kr</p>
<p>(1 260 000 kr)</p> <p>(2) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 1\,260\,000 =</math> 80 064 kr</p> <p>Tot. årskostnad = 80 064 + 5000 = 85 064 kr</p> <p>Årlig besparing = 0,9 * 92 440 – 85 064 = - 1 868 kr</p>	<p>(882 000 kr)</p> <p>(2) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 882\,000</math> = 56 044 kr</p> <p>Tot. årskostnad = 56 044 + 5000 = 61 044 kr</p> <p>Årlig besparing = 0,9 * 92 440 – 61 044 = 22 152 kr</p>

<p><b>Återbetalningstid:</b> (1 100 000 kr)</p> $(3) tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{1\,100\,000}{0,9 * 92\,440 - 5\,000}$ $= 14 \text{ år}$ <p>(1 260 000 kr)</p> $(3) tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{1\,260\,000}{0,9 * 92\,440 - 5\,000}$ $= 16 \text{ år}$	<p><b>Återbetalningstid:</b> (770 000 kr)</p> $(3) tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{770\,000}{0,9 * 92\,440 - 5\,000}$ $= 9,8 \text{ år}$ <p>(882 000 kr)</p> $(3) tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{882\,000}{0,9 * 92\,440 - 5\,000}$ $= 11,3 \text{ år}$
<p><b>Kostnad för producerad el:</b> (1 100 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{74\,897}{92\,440}$ $= 0,81 \text{ kr/kWh}$ <p>(1 260 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{85\,064}{92\,440}$ $= 0,92 \text{ kr/kWh}$	<p><b>Kostnad för producerad el:</b> (770 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{53\,928}{92\,440}$ $= 0,58 \text{ kr/kWh}$ <p>(882 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{61\,044}{92\,440}$ $= 0,66 \text{ kr/kWh}$

## 9.2.2 Ekonomisk analys – Placeringsalternativ B)

Installerad toppeffekt = 145 kW.

Investeringskostnad  $K_i = 1\,500\,000 - 1\,740\,000$  kr (inklusive installationskostnader),

Investeringskostnad per installerad kW =  $10\,344 - 11\,724$  kr/kWp.

Årlig underhållskostnad  $K_u = 5\,000$  kr.

Årsproduktion =  $133\,860$  kWh.

Värde på producerad el =  $0,9$  kr/kWh.

Investeringsbidrag (solcellstöd) =  $30\%$  av investeringskostnad.

Kalkylränta =  $2,4\%$ .

Avskrivningstid =  $20$  år.

$$(1) a = \frac{0,024}{1 - (1 + 0,024)^{-20}} = 0,06354$$

<b><u>UTAN</u> Solcellstöd</b>	<b><u>MED</u> Solcellsstöd</b>
<p><b>Årskostnad:</b> (1 500 000 kr) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 1\,500\,000 = 95\,314</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>Tot. \text{årskostnad} = 95\,314 + 5000</math> <math>= 100\,314</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>\text{Årlig besparing} = 0,9 * 122\,660 - 100\,314</math> <math>= 10\,080</math> kr</p> <p>(1 740 000 kr) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 1\,740\,000 = 110\,564</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>Tot. \text{årskostnad} = 110\,564 + 5000</math> <math>= 115\,564</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>\text{Årlig besparing} = 0,9 * 122\,660 - 115\,564</math> <math>= -5\,170</math> kr</p>	<p><b>Årskostnad:</b> (1 050 000 kr) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 1\,050\,000</math> <math>= 66\,719</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>Tot. \text{årskostnad} = 66\,719 + 5000</math> <math>= 72\,319</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>\text{Årlig besparing} = 0,9 * 122\,660 - 72\,319</math> <math>= 38\,075</math> kr</p> <p>(1 218 000 kr) <math>K_a = a * K_i = 0,06354 * 1\,218\,000</math> <math>= 77\,395</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>Tot. \text{årskostnad} = 77\,395 + 5000</math> <math>= 82\,395</math> kr</p> <p style="text-align: center;"><math>\text{Årlig besparing} = 0,9 * 122\,660 - 82\,395</math> <math>= 27\,999</math> kr</p>
<p><b>Återbetalningstid:</b> (1 500 000 kr)</p> $tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{1\,500\,000}{0,9 * 122\,660 - 5\,000}$ $= 14,2 \text{ år}$	<p><b>Återbetalningstid:</b> (1 050 000 kr)</p> $tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{1\,050\,000}{0,9 * 122\,660 - 5\,000}$ $= 10 \text{ år}$

<p>(1 740 000 kr)</p> $tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{1\,740\,000}{0,9 * 122\,660 - 5\,000}$ $= 16,5 \text{ år}$	<p>(1 218 000 kr)</p> $tPB = \frac{K_i}{Solel - K_u}$ $= \frac{1\,218\,000}{0,9 * 122\,660 - 5\,000}$ $= 11,5 \text{ år}$
<p><b>Kostnad för producerad el:</b> (1 500 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{100\,314}{122\,660}$ $= 0,82 \text{ kr/kWh}$ <p>(1 740 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{115\,564}{122\,660}$ $= 0,94 \text{ kr/kWh}$	<p><b>Kostnad för producerad el:</b> (1 050 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{72\,319}{122\,660}$ $= 0,59 \text{ kr/kWh}$ <p>(1 218 000 kr)</p> $kr \text{ per kWh} = \frac{tot. \text{ årskostnad}}{\text{årsproduktion}}$ $= \frac{82\,395}{122\,660}$ $= 0,67 \text{ kr/kWh}$

