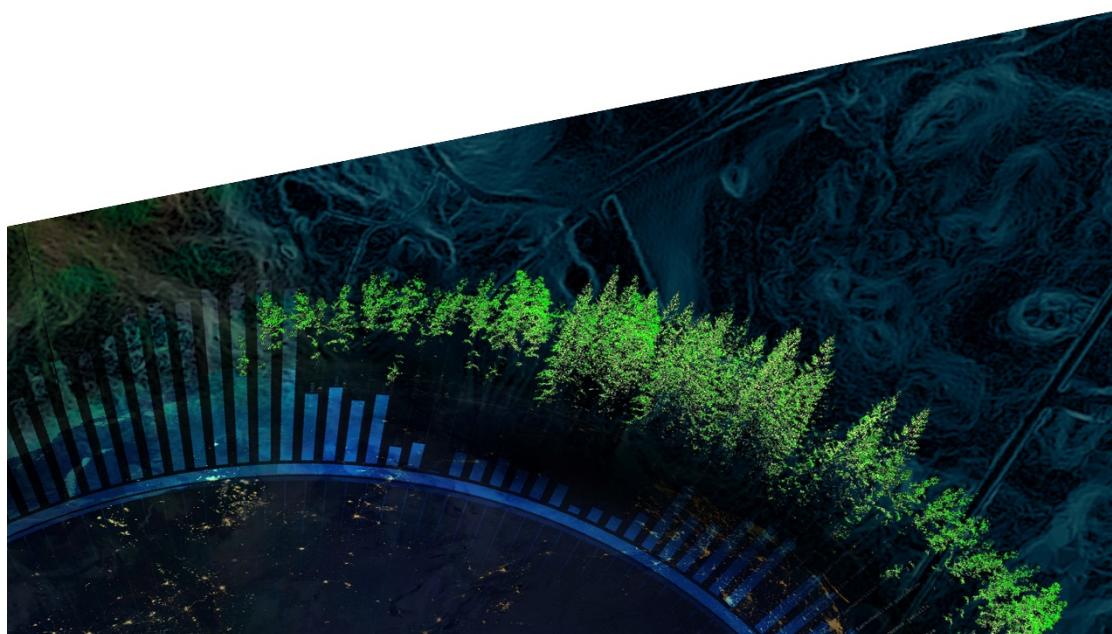


# Solceller till Uppsalas sportanläggningar

*Solar cells for Uppsala's sports facilities*

Johan Backman, Ebba Björk, Alexander Bouveng Sellin, Alice Karlsson, Sarah Kunz, Alexandra Sederholm, Sophie Ågren



Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2020:06  
ISSN 1654-9392  
Uppsala 2020



# Solceller till Uppsalas sportanläggningar

Solar cells for Uppsala's sports facilities

*Johan Backman, Ebba Björk, Alexander Bouveng Sellin, Alice Karlsson, Sarah Kunz, Alexandra Sederholm, Sophie Ågren*

**Handledare:** Anders Larsolle, institutionen för energi och teknik, SLU  
**Examinator:** David Ljungberg, institutionen för energi och teknik, SLU

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå, fördjupning och ämne:** Grundnivå, G2E, teknik

**Kurstitel:** Självständigt arbete i energisystem

**Kurskod:** EX0946

**Program/utbildning:** Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

**Kursansvarig institution:** energi och teknik

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2020

**Serietitel:** Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

**Delnummer i serien:** 2020:06

**ISSN:** 1654-9392

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** solceller, solar cells, PV-modules, självförsörjningsgrad, självvanvningsgrad, simulering, Uppsala, dimensionering, klimatpåverkan, miljöpåverkan, sportfastighet

Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Institutionen för energi och teknik



## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Mer information om publicering och arkivering går att hitta här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

# Abstract

The aim of this project was to evaluate the possibilities for solar panels on Uppsala's sporting facilities and to suggest an expansion strategy. The project was based on a literature study concerning solar panels in general, an investigation of the most established solar panel manufacturers and an evaluation of their panels on a variety of factors. Additionally, an evaluation of Uppsala Sport- och Rekreationsfastigheters sporting facilities was made and combined with a field trip to gain more information about the buildings. The results from these investigations were used in the simulation programme PV\*SOL, where five different facilities were simulated in two different scenarios with three different solar modules. The main difference between the two simulated scenarios was the amount of electricity sold to the grid. The simulation results show that facilities with large roof areas and high electricity consumption are most suited for installation. PV-modules of the manufacturer Sonnenstrom are recommended and a dimensioning of the installation according to scenario 2, where some electricity is sold to the grid, is proposed.

# Sammanfattning

Syftet med detta projekt var att utvärdera möjligheterna för att installera solceller på Uppsalas sportanläggningar och att föreslå en utbyggnadsstrategi. Projektet baserades på en litteraturstudie om solpaneler i allmänhet, en undersökning av de mest etablerade tillverkarna av solpaneler och en utvärdering av deras paneler med hänsyn till olika faktorer. Dessutom gjordes en utvärdering av Uppsala Sport- och Rekreationsfastigheters sportanläggningar som kombinerades med en fältstudie för att få mer information om byggnaderna. Resultaten från dessa undersökningar användes i simuleringsprogrammet PV\*SOL, där fem olika anläggningar simulerades i två olika scenarier med tre olika moduler. Den huvudsakliga skillnaden mellan de två simulerade scenarierna var mängden elektrisk energi som såldes till nätet. Simuleringsresultaten visar att anläggningar med stora takytor och hög förbrukning av elektrisk energi är bäst lämpade för installation. Solceller från tillverkaren Sonnenstrom rekommenderas och en dimensionering av installationen enligt scenario 2, där en del elektrisk energi säljs till nätet, föreslås.

Nyckelord: solceller, solar cells, PV-modules, självförsörjningsgrad, självanvändningsgrad, simulering, Uppsala, dimensionering, klimatpåverkan, miljöpåverkan, sportfastighet



# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>1</b>
1.1	Projektbeskrivning och syfte . . . . .	1
1.2	Frågeställningar . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Teori</b>	<b>1</b>
2.1	Beståndsdelar och grundläggande funktion hos solceller . . . . .	1
2.1.1	Faktorer som påverkar produktionen . . . . .	3
2.1.2	Självförsörjnings- och självanvändningsgrad . . . . .	3
2.1.3	Energiskatt och kostnader . . . . .	4
2.2	PV*SOL . . . . .	4
2.3	Livscykelanalyser . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Metod</b>	<b>6</b>
3.1	Allmänt tillvägagångssätt . . . . .	6
3.2	Urval av fastigheter . . . . .	7
3.3	Val av solcellsmodeller . . . . .	7
3.4	Simulering . . . . .	7
3.5	Systemutformning och förenklingar . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>8</b>
4.1	Valda solcellsmodeller . . . . .	8
4.1.1	Trina Solar . . . . .	8
4.1.2	SunPower . . . . .	8
4.1.3	Sonnenstrom . . . . .	9
4.2	Simulering . . . . .	9
4.2.1	Vattholma Sporthall . . . . .	10
4.2.2	Gamla Uppsala Sporthall . . . . .	10
4.2.3	Anders Diöshallen . . . . .	10
4.2.4	Gränby Hall A & C . . . . .	11
4.2.5	Ekebyvallen . . . . .	11
4.2.6	Jämförande sammanställning . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>13</b>
5.1	Svar på frågeställningar . . . . .	13
5.1.1	Vilken solcellstyp bör Sport- och Rekreationsfastigheter AB satsa på och vilka aspekter är viktiga för att avgöra det? . . . . .	13
5.1.2	Hur ska solcellsanläggningarna dimensioneras? . . . . .	14
5.1.3	På vilka byggnader är det lönsamt för Sport- och Rekreationsfastigheter AB att installera solceller? . . . . .	14
5.2	Allmän diskussion . . . . .	15
5.2.1	Alternativ teknik . . . . .	15
5.2.2	Jämförelser ur ett miljöperspektiv . . . . .	15
5.2.3	Jämförelser ur ett ekonomiskt perspektiv . . . . .	15
<b>6</b>	<b>Slutsats och rekommendation</b>	<b>16</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Projektbeskrivning och syfte

Projektet grundar sig på en önskan från Sport- och Rekreationsfastigheter AB att utföra en utbyggnad av solceller. För att göra detta behövs en utbyggnadsstrategi och det är detta som utformas i projektet. I strategin tas både ekonomisk och miljömässig hållbarhet i beaktning. Olika exempel på dimensionering ska tas upp och jämföras. Aspekter för dimensioneringen som kan vara intressanta att få med är till exempel elförbrukning, självförsörjningsgrad och vilken tid som konsumtionen sker i förhållande till produktionen. Beroende på fastighetens användningsområde samt dess tekniska möjligheter kan sedan potentialen och lönsamheten för solceller bedömas.

Uppsala Sport- och Rekreationsfastigheter omfattas av ett mål uppsatt av Uppsala kommun som säger att utsläppen av växthusgaser från kommunala transporter och arbetsmaskiner samt från energianvändningen vid år 2030 ska vara nära noll. För att kommunen ska uppnå detta har de satt upp flera olika delmål varav ett av dem är att installera 100 MW solkraft, vilket motsvarar att man installerar solpaneler på ungefär 10 % av Uppsalas takytor (*Uppsala kommun* 2019).

Syftet är att utvärdera installationer av solceller på byggnader på Uppsala kommuns sportfastigheter. Utvärderingen görs med avseende på självanvändnings- och självförsörjningsgrad av producerad elektrisk energi, samt ekonomi. Kommunens sportfastigheter utvärderas, och studien fokuserar på lämpliga fastigheter utifrån förslag till dimensionering av anläggningar. Även en enklare utvärdering av solcellernas miljömässiga hållbarhet inkluderas i studien och olika solcellsmodeller jämförs. Det övergripande målet är att resultatet av denna studie skall fungera som beslutsstöd i Sport- och Rekreationsfastigheters vidare arbete med att projektera anläggningar av solceller inom Uppsala kommun.

## 1.2 Frågeställningar

För att utforma en utbyggnadsstrategi för solpaneler på Sport- och Rekreationsfastigheters tak avses det inom ramarna av projektet att besvara följande frågeställningar:

- Vilken solcellsmodell bör Sport- och Rekreationsfastigheter satsa på och vilka aspekter är viktiga för att avgöra det?
- Hur ska solcellsanläggningarna dimensioneras?
- På vilka byggnader är det lönsamt för Sport- och Rekreationsfastigheter att installera solceller?

# 2 Teori

## 2.1 Beståndsdelar och grundläggande funktion hos solceller

Det grundläggande kravet för att solceller ska producera elektrisk energi är tillgång till solens energi. En solcellsmodul är uppbyggd av flera ihopkopplade solceller som inkapslas mellan två genomskinliga skivor. Skivorna består vanligtvis av glas och är till för att skydda mot väder och vind. Glaskanten omges ofta av en aluminiumram med hål för montering (*Nationalencyklopedin* 2020). Själva solcellen består av en halvledare, vanligtvis i kisel, med en så kallad framkontakt överst, ett aktivt skikt i mitten och en bakkontakt underst (*Kunagl.*

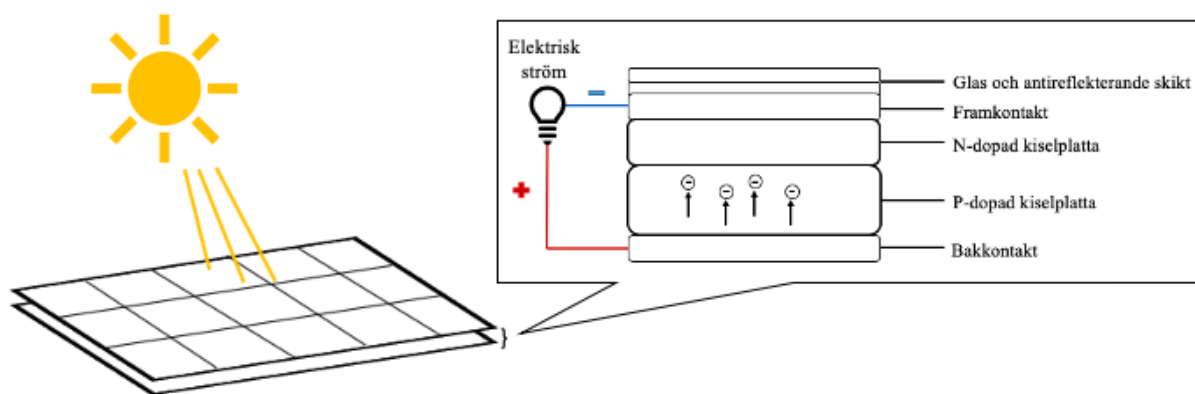
vetenskapsakademien 2009). Fram- och bakkontakten är dopade på olika sätt; den ena är p-dopad och den andra är n-dopad. Dopning innebär att materialet i sidorna har injicerats med olika andra ämnen och därför reagerar olika när energi tillförs (*Nationalencyklopedin* 2020). Med hjälp av energin från solljuset exciteras elektroner i halvledaren kisel så att det blir en ledare (Pellby & Larsson 2015)(*Nationalencyklopedin* 2020).

Cellen är uppbyggd av två lager med kisel. Det översta lagret, närmast solljuset, är n-dopat kisel. Med det menas att ett ämne med fler valenselektroner än kisel, så som till exempel fosfor, injiceras i kisel så att det uppstår ett överskott av fria elektroner i kristallstrukturen. Överskottet uppkommer eftersom att kisel har fyra valenselektroner medan fosfor har fem. När de två atomerna binder till varandra blir det en elektron över som inte är bunden till någon atom. Detta medför att hela den n-dopade plattan får ett överskott av fria elektroner vilka fungerar som laddningsbärare (Pellby & Larsson 2015).

Det nedersta kisellagret är p-dopat kisel, vilket innebär att ett ämne med färre valenselektroner än kisel, som till exempel bor, har injicerats i strukturen. Bor har endast tre valenselektroner som alla binder till kislets elektroner, men eftersom kisel har fyra blir det ett så kallat *hål* i elektronstrukturen. Det p-dopade kislet har alltså en avsaknad av fria elektroner och dessa *hål* kan agera som laddningsbärare (ibid.).

I mitten av panelen, där de två kisellagerna möts, reagerar n-skiktet och p-skiktet med varandra. Elektroner överförs från n- till p-skiktet vilket medför att det förra blir positivt laddat närmast gränsskiktet och det senare blir negativt laddat. Spänningsskillnaden mellan de två sidorna medför att det bildas ett elektriskt fält i mitten av solcellen (*Nationalencyklopedin* 2020)(Pellby & Larsson 2015).

Den elektriska energi som solcellen producerar uppstår genom att solljuset träffar solcellen och denna energi tillförs till det negativt laddade p-skiktet. Den tillförda energin exciterar p-skiktets elektroner som blir fria laddningar vilka genom det elektriska fältet förs över till det nu positivt laddade n-skiktet. Genom att ansluta n-skiktet och p-skiktet till varsin kontakt bildas en krets där strömmen av elektroner leds runt och på så sätt kan elektronernas rörelse utnyttjas, se figur 1 (ibid.) (*Nationalencyklopedin* 2020).



Figur 1: Materiallager och uppbyggnad av en solcell.

Kiselsolceller kan tillverkas med mono- eller polykristallint kisel. Monokristallina solceller är oftast svarta och har en verkningsgrad på 15-22 % medan polykristallina solceller ofta är mörkblåa och har en verkningsgrad på 15-17 %. Polykristallina kan göras svarta, men har då som följd att verkningsgraden försämras. Monokristallina solceller är dock generellt dyrare

än polykristallina (*Nationalencyklopedin* 2020). Anledningen till att monokristallina celler är bättre än polykristallina celler är för att monokristallina celler är uppbyggda av hela kristaller istället för en hopsamling av flera fragment av hela kristaller. I polykristallina material finns det gränser mellan de olika kristallbitarna, gränser som skapar hinder för elektronerna vilket leder till resistans. (*Energysage* 2019).

### 2.1.1 Faktorer som påverkar produktionen

Solinstrålningen varierar beroende på väderstreck, där söderläge har mest solinstrålning och norrläge minst. För att få ut så mycket effekt av en solcell som möjligt ska solcellen vara placerad i söderläge med en lutning på mellan 30° och 50°. En avvikelse på 10° ger en minskning av årsproduktionen på 1-2 %. Moduler riktade i öst och väst producerar cirka 80 % av effekten av en solcellsmodul i söderläge (*Solcellskollen* 2020). Dock finns det fördelar med att moduler är riktade i öst och väst eftersom det ger en större produktion på morgon respektive kväll. Det är fördelaktigt eftersom det ofta är då elförbrukningen är som störst (*Energimyndigheten* 2018).

En annan parameter som påverkar produktionen av elektrisk energi är om solcellen skuggas av träd, byggnader eller andra närliggande objekt. Även om en solcellsmodul bara skuggas delvis minskar produktionen av elektrisk energi eftersom solcellerna i en modul är seriekopplade. Skuggning resulterar i att hela eller en stor del av modulen inte genererar någon elektrisk energi (*ibid.*).

### 2.1.2 Självförsörjnings- och självanvändningsgrad

Om mängden solpaneler som installeras maximalt kan ge en effekt som är lika stor som byggnadens genomsnittliga dagsförbrukning av elektrisk energi, kommer produktionen av elektrisk energi ändå tidvis vara otillräcklig. Samtidigt kommer det tidvis bli överskott som måste säljas till nätet. Sportfastigheter används i regel under dag- och kvällstid. Under dagtid kan solpaneler tillgodose fastighetens behov, men under kvällstid är man beroende av nätets elförsörjning. Då solinstrålningen och fastigheternas behov av elektrisk energi varierar över året, leder även detta till problem när produktionen inte sker samtidigt som behovet är som störst. Sammanfattningsvis, för att maximera nyttan av en solcellsanläggning måste matchningen av behov och produktion optimeras. Självförsörjnings- och självanvändningsgraden är två indikationer på hur bra matchningen är.

Självanvändningsgraden är ett mått på hur stor andel av den elektriska energi som solcellsanläggningen producerar som används av fastigheten själv. 100 % självanvändningsgrad kan alltså översättas till att fastigheten använder upp all elektrisk energi som produceras, inget säljs till nätet. 0 % innebär istället att allt som produceras säljs till nätet och inget används av fastigheten. Självanvändningsgraden beräknas enligt följande:

$$\text{Självanvändningsgrad} = \frac{\text{Produktion} - \text{Såld elektrisk energi till nätet}}{\text{Produktion}} \quad (1)$$

Självförsörjningsgraden är ett mått på hur stor andel av en anläggnings konsumtion som kan täckas med den egna produktionen av elektrisk energi från solcellssystemet. Vid 100 % självförsörjningsgrad har alltså produktionen kunnat täcka hela förbrukningen under ett år.

Självförsörjningsgraden beräknas enligt följande:

$$\text{Självförsörjningsgrad} = \frac{\text{Produktion} - \text{Såld elektrisk energi till nätet}}{\text{Konsumtion}} \quad (2)$$

### 2.1.3 Energiskatt och kostnader

Energiskatt behöver betalas för alla större anläggningar som producerar elektrisk energi, vilket regleras av Skatteverket. En solcellsanläggning med mindre installerad topp effekt än 255 kWp (kilowatt peak) klassificeras inte som producent och därmed är fastighetsägaren inte skatteskyldig. Om en part äger flera mindre anläggningar som är tekniskt eller geografiskt sammankopplade, anses dessa som en enda anläggning och får inte tillsammans överstiga den givna gränsen. Om de inte är geografiskt eller tekniskt sammankopplade anses anläggningar vara enskilda och får, var för sig, inte överstiga gränsen trots att de har samma fastighetsägare. Energiskatten som betalas i fallet där fastighetsägaren är skatteskyldig är 0,5 öre/kWh efter avdrag (Skatteverket u.å.).

Det totala priset på solcellssystem beror delvis på vilken modell som installeras. En stor del av den totala kostnaden är dock installationskostnader. Ett antagande man kan göra vid installation av solceller är att 50-70 % av den totala kostnaden går till installationen och resterande kostnad är för själva modulerna (*Samtal med Marika Edoff 2020*).

## 2.2 PV\*SOL

Projektet går ut på att utvärdera installationer utifrån produktion och användning av elektrisk energi. För att kunna göra detta väljer man i denna studie att modellera och simulera solkraftsanläggningar. För att möjliggöra detta krävs ett simuleringsprogram. Programvaran PV\*SOL används för att kunna dimensionera och simulera solkraftsanläggningar i 3D. För att få ett realistiskt resultat använder programmet diverse olika modeller för att kunna beräkna effektuttaget. Nedan beskrivs ekvationer och modeller som finns inbyggda i programmet.

Modellen som används för att beräkna solinstrålningen på jorden är Reindls strålningsmodell och baseras på horisontella ytor. Modellen tar hänsyn till utomhustemperatur, luftfuktighet, solens höjd över havet och tre olika intervall av luftens klarhetsindex.

De solceller som skall installeras på fastigheternas tak kommer att vara vinklade, vilket leder till att ytterligare en modell är nödvändig för att ta hänsyn till instrålning på en vinklad yta. Den modell som används är Hay and Davies *anisotropic sky model* och bygger på att den del av den diffusa strålningen som kommer i rak riktning från solen är *circumsolar* och anisotrop. Resterande strålning antas vara isotrop och kommer från övriga delen av himlavalvet. Ekvationen för den totala instrålningen  $\bar{H}_T$  på den vinklade ytan blir enligt ekvation 3 med parametrarna enligt tabell 1:

$$\bar{H}_T = (\bar{H}_b + \bar{H}_d A) \bar{R}_b + \bar{H}_g \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) + \bar{H}_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) (1 - A) + A \bar{R}_b \quad (3)$$

När solinstrålningen på modulen är beräknad, beräknas effektuttaget med hjälp av modulens vinkel, solens höjd och modulens azimutvinkel. Med hjälp av PV\*SOL beräknas även skuggningsfaktorn genom att beakta hur lång tid under en dag en viss area är skuggad. Det är den diffusa strålningen som skärmas av skuggning. För att göra simuleringen ännu mer

exakt tas med hjälp av PV\*SOL även hänsyn till modultemperatur  $T_{\text{modul}}$  och vindavkylning. Modulens temperatur beror linjärt på instrålningen,  $G$ , eftersom utomhustemperatur,  $T_a$ , moduluppbyggnad,  $k$ , och maximal instrålning,  $G_{\text{STC}}$ , alla antas vara konstanta för varje tidssteg:

$$T_{\text{modul}} = T_a + k \frac{G}{G_{\text{STC}}} \quad (4)$$

För att få ett mer exakt resultat tas termisk tröghet med i modellen för modultemperatur, där modultemperatur deriveras med avseende på tid eftersom temperaturen varierar över tid. Varje simulationssteg, där ett steg representerar en timme, delas upp i flera mindre steg enligt ekvation 5 med parametrarna enligt tabell 1:

$$m_{\text{modul}} \cdot c_{\text{modul}} \cdot \frac{dT_{\text{modul}}}{dt} + P_{el} = \dot{Q}_G - \dot{Q}_S - \dot{Q}_K \quad (5)$$

Tabell 1: De parametrar som ingår i ekvation 3 och 5

$\bar{H}_b$	Genomsnittlig instrålning	$m_{\text{modul}}$	Modul-massa
$\bar{H}_d$	Genomsnittlig diffus instrålning	$c_{\text{modul}}$	Modulens värmekapacitet
$A$	Anisotrop index	$t$	Tid
$R_b$	Siktfaktor	$P_{el}$	Levererad effekt
$\rho$	Markens reflektans	$Q_g$	Absorberad effekt
$\bar{H}_g$	Genomsnittlig global instrålning	$Q_s$	Karaktäristisk värmeeffekt
$\beta$	Vinkel på ytan	$Q_k$	Konvektion

Temperaturen på modulen påverkas, förutom av instrålningen och de modulspecifika parametrarna, kraftigt av dess installation till exempel om modulen är takinstallerad eller fristående. Kylningen från vinden beror på dess hastighet och definieras enligt ekvation 6:

$$v = v_{10} \cdot \frac{\ln \frac{h_v}{z_0}}{\ln \frac{10}{z_0}} \quad (6)$$

I PV\*SOL används en logaritmisk lag för att beräkna vindhastigheten där  $v_{10m}$  är en referenshastighet tagen från en klimatdatabas,  $h_v$  är höjden där hastigheten ska beräknas, 10 är höjden på referenshastigheten i meter och  $z_0$  är en faktor som beror på hur mycket hinder vinden stöter på. I PV\*SOL används en faktor 0.3 för  $z_0$ , vilket representerar ett slags mellanting av en liten stad och jordbruksland som har många träd och hus.

## 2.3 Livscykelanalyser

I en livscykelanalys (LCA) beskrivs en produkts påverkan på miljön från att den produceras tills att den inte längre används, det vill säga från vaggan till grav. I en LCA undersöks oftast en rad olika miljöpåverkanskategorier (*SLU.SE* 2019). Målet med en installation av solpaneler är en hållbar och miljövänlig elektrisk energiproduktion. Därför är solcellsproduktionens påverkan på miljö och klimat en viktig faktor att ta i beaktande. I den här rapporten har fokus valts att läggas på klimatpåverkan där indikatorn kallas Global Warming Potential (GWP) som anges i  $CO_2$ -ekvivalenter.

I ett examensarbete som genomfördes på KTH gjordes en livscykelanalys på en solcellsanläggning i Stockholm (Raouz 2017). Solcellsmodellen som undersöks är framtagen av Trina Solar och produceras i Vietnam och i Jiangsu provinsen i Kina. I rapporten kommer författarna fram till att klimatpåverkan av solpanelen totalt har ett värde på 42,6 g  $CO_2$ -ekv./kWh. Det som är anmärkningsvärt är att den främsta källan till utsläpp av koldioxid kommer från kiselproduktionen. Kiselproduktionen sker i Kina och släpper ut 19,19 g  $CO_2$ -ekv./kWh, vilket är 45 % av de totala utsläppen. Anledningen till det höga värdet är att Kinas produktion av elektrisk energi till stor del är kolbaserad och därmed släpper ut mycket koldioxid. Enligt samma studie har Kina en nätutsläppsfaktor på 811 g  $CO_2$ -ekv./kWh (ibid.).

I en rapport gjord av organisationen *Climate Transparency* sammanfattas olika nätutsläppsfaktorer för ett antal länder, se tabell 2 (*Climate Transparency* 2018). Observera att denna rapport har ett annat värde för Kinas nätutsläppsfaktor än examensarbetet som presenterades ovan (Raouz 2017). Avvikelser mellan livscykelanalyser är ett återkommande problem och beror på att man tagit hänsyn till olika faktorer, det finns många olika sätt att genomföra en LCA.

En rapport om nordens elektriska energiproduktion har analyserats för att hitta på nätutsläppsfaktorn för länderna Norge, Sverige och Finland (Raadal, Nyland & Hanssen 2009). I rapporten redovisas flera olika siffror för varje land och för att vara på den säkra sidan har den högsta siffran valts att användas som jämförelseunderlag. Resultaten redovisas i tabell 2.

Tabell 2: Nätutsläppsfaktor för olika länders elmix (*Climate Transparency* 2018)(Raadal, Nyland & Hanssen 2009).

Land	Nätutsläppsfaktor [g $CO_2$ -ekv./kWh]
Sydafrika	961
Kina	624
Mexiko	464
Tyskland	400
Europeiska Unionen	289
Norge	15
Sverige	17
Finland	39
Nordisk elmix	26

## 3 Metod

### 3.1 Allmänt tillvägagångssätt

Vid projektets inledande fas samlades information rörande solcellsteknik, främst med litteraturstudier men även genom kontakt med solcellsgrossister, tillverkare samt installatörer. Ett möte hölls med Marika Edoff, ledande inom solcellsforskning på Uppsala Universitet. Ett urval av fastigheter gjordes och de utvalda granskades vid studiebesök ledda av fastighetsskötaren. En investeringskalkyl konstruerades med programvaran Matlab, med syftet att skildra avvikelser i den ekonomiska investeringen för olika dimensioneringar. Utvärden från kalkylen inkluderar återbetalningstid och restvärdet av vinsten efter 25 år. 25 år valdes med anledning av att den tekniska livslängden är densamma hos en majoritet av solcellsmodellerna. Deltidsrapporter utformades som grund till den slutliga rapporten och i dessa finns ytter-

ligare detaljerad information om projektet. De fyra delrapporterna berör fastigheterna, solcellsteknik, simulering samt ekonomi.

### 3.2 Urval av fastigheter

För att göra ett första urval utifrån vilka fastigheter från Sport- och Rekreationsfastigheter som är mest lämpade för en solcellsinstallation var det särskilt två faktorer som togs hänsyn till. Det mest kritiska för att få ut maximal effekt från solcellerna är takets riktning i relation till syd, där rakt söderläge leder till högst antal soltimmar och högst strålningsintensitet. *Uppsala-nya-solkartan* är en karta som visar solinstrålning på alla stora fastigheter i Uppsala. Solinstrålningen mäts i  $kWh/m^2\text{år}$  (*Uppsala-nya-solkartan* 2020). Takarea var ännu en viktig aspekt och det gjordes en visuell uppskattning av vilka tak som var lämpliga.

Konsumtionen av elektrisk energi var nästa faktor som togs i beaktande. För att kunna utföra simuleringar behövde fastigheternas konsumtion av elektrisk energi tas med i beräkningen. De fastigheter där Sport- och Rekreationsfastigheter inte äger elavtalet kunde inte gå vidare i urvalet. Utifrån dessa aspekter komprimerades listan av 50 fastigheter till 5 för vidare analys.

### 3.3 Val av solcellsmodeller

För att göra en omfattande undersökning med olika simuleringar valdes tre olika solcellsmodeller. För valet av solceller genomfördes en översiktlig analys av vilka solceller som är etablerade på marknaden idag. Utifrån etablering på marknaden jämfördes sedan olika modeller från flera olika solcellstillverkare. Parametrar som var viktiga i bedömningen var framförallt pris, verkningsgrad och effekt per yta. Även solcellstillverkarens olika miljöpåverkan jämfördes. Dessa faktorer vägdes slutligen samman och lade grunden för valet av tre solcellsmodeller till simuleringen.

Verkningsgrad, effekt och mått återfinns i produktbladen för varje modell. Pris erhöles från leverantörer för respektive modell. Det visade sig vara väldigt svårt att få tillgång till färdiga livscykelanalyser för alla olika modeller som undersöktes. Det antogs i denna rapport att det är tillräckligt att jämföra utsläppen av olika länders elmix, beroende på var solpanelens kiselproduktion sker. Elmixen som används för kiselproduktionen är den enskilda faktorn som påverkar GWP-värdet mest (Raouz 2017).

### 3.4 Simulering

Simuleringen gjordes i programmet PV\*SOL och de tre valda solcellsmodellerna simulerades för två olika scenarion på samtliga fem fastigheter. Två olika scenarion undersöktes med 100 %, scenario 1, respektive 85 %, scenario 2, själv användningsgrad för de olika fastigheterna.

I scenario 1 var den avgörande faktorn att titta på systemets själv användningsgrad för att undvika en överdimensionering av solceller. Enligt önskemål från Sport- och Rekreationsfastigheter var noll såld elektrisk energi till nätet det som eftersträvades. Scenario 2 kan ses som ett rimligt alternativ om man någon gång vill gå ifrån önskemålet om noll såld elektrisk energi till nätet. För att hålla produktionen på en rimlig nivå gjordes dimensioneringen främst efter att uppnå en själv användningsgrad på 85 % men inte lägre.

En annan aspekt som togs i beaktande i båda scenarierna var estetik. Mellanrum mellan moduler är också en viktig aspekt, inte bara för estetiska skäl utan även för underhållstek-

niska skäl. Dessutom följdes Skatteverkets gräns för energiskatt på max 255 kWp installerad toppeffekt per anläggning.

Växelriktare var inte i fokus för simuleringarna. För att köra programmet krävdes dock ett urval av växelriktare för att utföra en simulering. Urvalet gjordes enbart utifrån varumärke för att låta programmet välja mellan samma varumärken varje gång simuleringarna gjordes. Ingen hänsyn togs till växelriktarens inverkan på systemets produktion. Vid risk för skuggning togs det hänsyn till olika skuggfaktorer som undersöktes på studiebesöket.

### 3.5 Systemutformning och förenklingar

Eftersom samtliga avgränsningar gjordes på samma sätt på alla simuleringar och för alla solcellstyper kommer resultaten kunna jämföras rättvist dem emellan. Val av fastigheter baserades på vilka som efter en visuell inspektion verkade mest lämpade och på hur mycket data som var tillgänglig. 50 fastigheter begränsades till fem. Tre solcellsmodeller valdes för simuleringen, alla dessa valdes vara av den monokristallina typen. Ingen hänsyn togs till övriga solcellstyper som finns tillgängliga på marknaden. Ur ett LCA-perspektiv undersöktes enbart produktionslandets elektrisk energimix. Inga egna LCA:er genomfördes. Förändringar av växande natur och nybyggnationer togs ej med i beräkning vid simuleringen. Likaså gjordes valet av växelriktare av programmet själv, bland fyra förutvalda varumärken. Kabel-förlusterna för varje simulering valdes till noll, eftersom det skulle innebära fler felkällor vid ytterligare uppskattningar.

Vid skapandet av investeringskalkylen gjordes en del förenklingar som förmodligen påverkar resultatet något. Till exempel antogs det årliga inbetalningsöverskottet vara konstant. Det statliga investeringsstödet på 20 % antogs gälla för alla system. Kostnaden för anläggningarna baserades på systemets storlek i kWp, ju större system desto lägre pris per kWp. Denna prisförändring är uppskattad och kan innebära resultat som skiljer sig från verkligheten. Varken energiskatt eller skattereduktion för utmatad elektrisk energi på nätet har tagits hänsyn till.

## 4 Resultat

### 4.1 Valda solcellsmodeller

Tre solcellsmodeller valdes. Fokus var inte att bara välja de mest effektiva modellerna som finns på marknaden utan istället eftersträvades diversitet.

#### 4.1.1 Trina Solar

Modellen från Trina solar är vald främst för märkets relativt förmånliga pris samt dess starka etablering på marknaden. I tabell 3 återfinns specifikationerna för modellen. GWP återfinns i tabell 2, priset hämtades från leverantören (Augustsson 2020), resten kommer från Trina Solars egna produktblad för den valda modellen (*Trina Solar* 2019).

#### 4.1.2 SunPower

Modellen från SunPower är vald för dess höga effekt. I tabell 3 återfinns specifikationerna för modellen. GWP återfinns i tabell 2, priset hämtades från leverantören (*OBills* u.å.), resten kommer från SunPowers egna produktblad för den valda modellen (SunPower u.å.).



### 4.1.3 Sonnenstrom

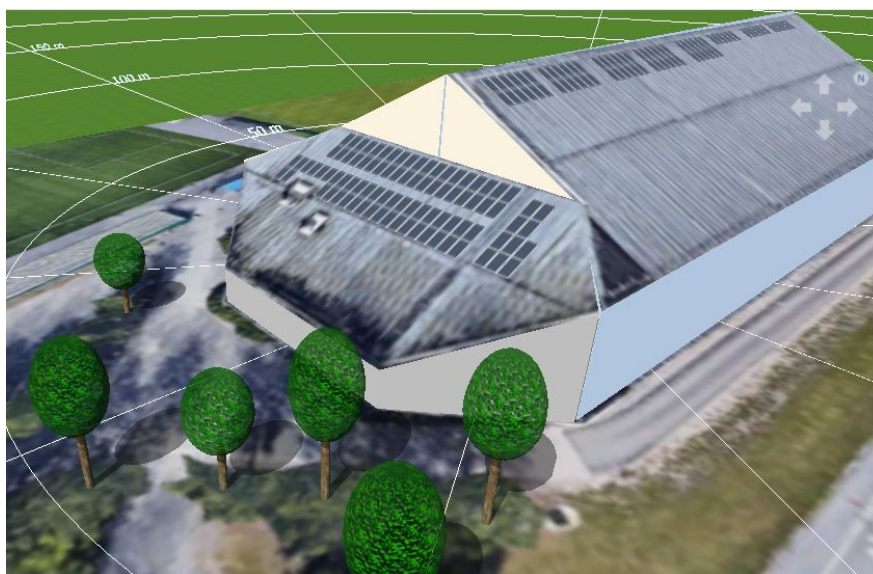
Modellen från Sonnenstrom är vald ur ett miljömässigt perspektiv, eftersom den har en låg klimatpåverkan vid produktion jämfört med många andra solceller på marknaden. I tabell 3 återfinns specifikationerna för modellen. GWP återfinns i tabell 2, priset erhöles för den mycket liknande modellen *Excellent M60 310Wp very low carbon* (Karlsson 2020), resten kommer från Sonnenstroms egna produktblad för den valda modellen (Sonnenstromfabrik u.å.).

Tabell 3: Specifikationer för de valda monokristallina solcellerna.

Varumärke	Modell	Produktionsland	Nätsläppsfaktor [g CO <sub>2</sub> /kWh]	Effekt (STC) [W/m <sup>2</sup> ]	Vikt [kg]	Pris per m <sup>2</sup> [SEK]	Verkningsgrad (STC) [%]
Trina solar	TSM-325-DD06M .05(II)	Kina	624	198.5	18	834	19.3
SunPower	SPR-MAX3-400	Mexiko	464	226.0	19	2060	22.6
Sonnenstrom	Professional 310 M60 Low carbon	Norge	15	184.5	19	949	18.5

## 4.2 Simulering

Figur 2 visar ett exempel på en 3D-modell av Anders Diöshallen i simuleringsprogrammet PV\*SOL från scenario 2. För att göra simuleringen så realistisk som möjligt modellerades träden i olika storlekar för att likna uppskattade mått från platsen. Även föremål på taken som snörasskydd och stegar finns med i modellen för att kunna undvika dessa områden när solceller placerats ut på taken.



Figur 2: Bild på 3D modell av Anders Diöshallen i PV\*SOL.

### 4.2.1 Vattholma Sporthall

Vattholma Sporthall är en gymnastiksal där främst skolklasser utövar aktivitet om dagarna. Viss aktivitet förekommer även kvällstid. Uppvärmningen sker med fjärrvärme. Taket är ett sadeltak i sydöstlig riktning. När solcellsmodulerna skulle placeras ut gjordes detta främst på den sydliga delen av sydöst-taket.

Tabell 4: Resultat för antal  $m^2$  solceller och dess totala vikt för varje solcellsmodell och scenario för Vattholma sporthall.

	Scenario 1		Scenario 2	
	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]
<b>Trina solar</b>	49	540	121	1332
<b>SunPower</b>	42	456	117	1254
<b>Sonnenstrom</b>	55	627	141	1596

### 4.2.2 Gamla Uppsala Sporthall

Gamla Uppsala Sporthall är en gymnastiksal där skolklasser utövar aktivitet, men där även kvällsaktiviteter med idrottsklubbar förekommer. Uppvärmningen sker med fjärrvärme. Taket är ett sadeltak i sydlig riktning. Solcellsmodulerna placerades främst på sydtaketets östra sida för att undvika eventuell skuggning, som var en risk vid den västra sidan.

Tabell 5: Resultat för antal  $m^2$  solceller och dess totala vikt för varje solcellsmodell och scenario för Gamla Uppsala Sporthall.

	Scenario 1		Scenario 2	
	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]
<b>Trina solar</b>	11	126	44	486
<b>SunPower</b>	9	95	39	418
<b>Sonnenstrom</b>	12	133	47	532

### 4.2.3 Anders Diöshallen

Anders Diöshallen är en större hall där fotbollsträningar och cuper bedrivs på konstgräs inomhus. Till fastigheten hör även belysningen på konstgräsplanerna utanför. Uppvärmningen sker med fjärrvärme. Taket är delvis ett slags sadeltak i öst-västlig riktning. Kortsidorna har även egna tak i sydlig respektive nordlig riktning. Vid simulering placerades moduler först och främst på sydtaket och därefter högst upp längs nocken på det större öst-väst-taket. Snörasskydd, stegar och en skylt undveks för att förhindra komplicerade installationer och skuggning.

Tabell 6: Resultat för antal  $m^2$  solceller och dess totala vikt för varje solcellsmodell och scenario för Anders Diöshallen.

	Scenario 1		Scenario 2	
	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]
<b>Trina solar</b>	41	450	400	4392
<b>SunPower</b>	35	380	346	3724
<b>Sonnenstrom</b>	44	494	444	5016

#### 4.2.4 Gränby Hall A & C

Dessa två ishallar är både geografiskt och tekniskt sammankopplade. Då konsumtionsdatan redovisades sammanslaget så beskrevs även den simulerade solcellsanläggningens produktion sammanslaget. A-hallen är den större av de två och har ett tak som är rundat. På grund av detta placerades moduler istället först på den sydliga kortsidans tak som inte är rundat. C-hallen har ett sadeltak i öst-västlig riktning och moduler placerades högst upp längs nocken på båda sidor efter att A-hallens sydsida fyllts. Placeringen högst upp gjordes bland annat för att en närliggande hall riskerar att skugga den nedre delen av den östliga takhalvan.

Tabell 7: Resultat för antal  $m^2$  solceller och dess totala vikt för varje solcellsmodell och scenario för Gränby Hall A & C.

	Scenario 1		Scenario 2	
	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]
<b>Trina solar</b>	170	1872	766	8424
<b>SunPower</b>	147	1577	686	7372
<b>Sonnenstrom</b>	188	2128	823	9310

#### 4.2.5 Ekebyvallen

Fastigheten Ekebyvallen består av en mindre byggnad med tre omklädningsrum och förråd, elkonsumention är därför jämförelsevis låg. Taket är ett sadeltak i sydlig riktning. Placeringen av solcellsmoduler utgick från västra sidan då risk för skuggning från träd eventuellt kunde bli ett problem allra längst åt öst.

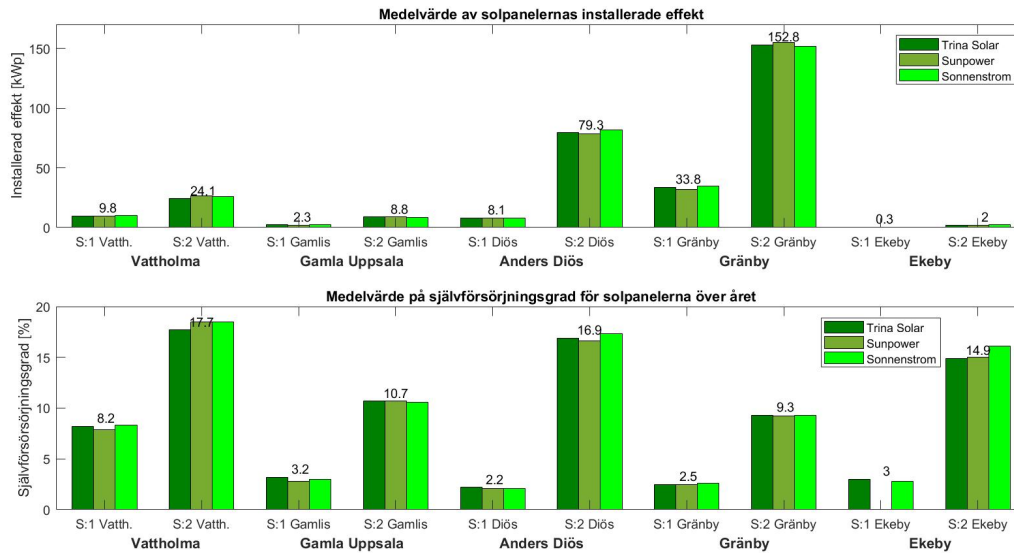
Observera i tabell 8 att det inte finns några moduler alls av modellen SunPower på Ekebyvallens tak i scenario 1. Detta beror på att effekten hos SunPowermodulerna är så hög att med endast en modul skulle produktionen av elektrisk energi bli för hög för scenario 1.

Tabell 8: Resultat för antal  $m^2$  solceller och dess total vikt för varje solcellsmodell och scenario för Ekebyvallen.

	Scenario 1		Scenario 2	
	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]	Yta [ $m^2$ ]	Total vikt paneler [kg]
<b>Trina solar</b>	2	18	10	108
<b>SunPower</b>	-	-	9	95
<b>Sonnenstrom</b>	2	19	12	133

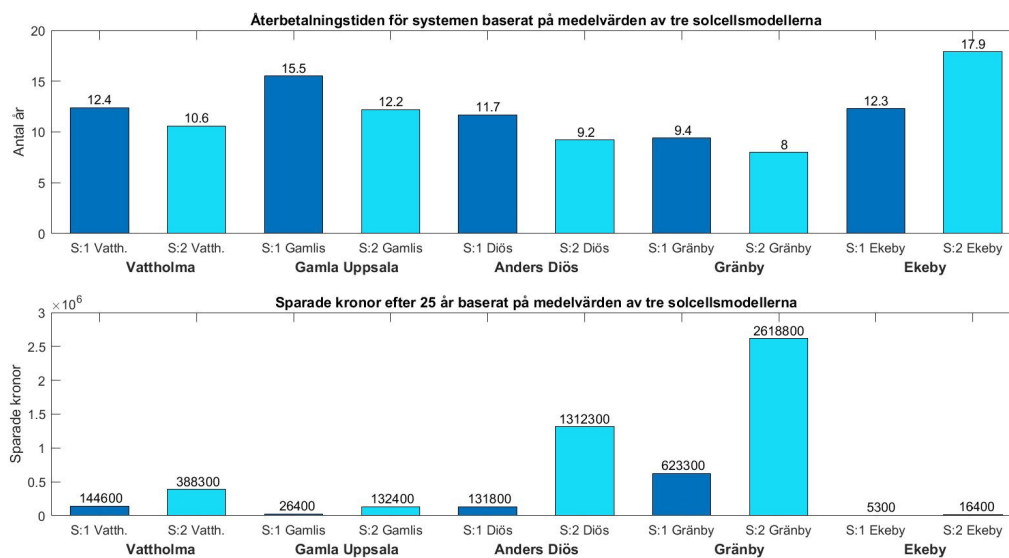
#### 4.2.6 Jämförande sammanställning

I detta avsnitt jämförs solcellsinstallationer på de olika fastigheterna med hänsyn till en rad olika faktorer. Figur 3 visar den installerade effekten och självförsörjningsgraden för alla solcellsmodeller och fastigheter. I första delen ser man att den installerade effekten är störst på Anders Diöshallen och Gränbyhallarna. I andra delen syns det att självförsörjningsgraden är störst för Vattholma och Anders Diöshallen men även relativt högt för Ekebyvallen i andra scenariot. För scenario 2 ligger samtliga fastigheters självförsörjningsgrad mellan 10-17 %.



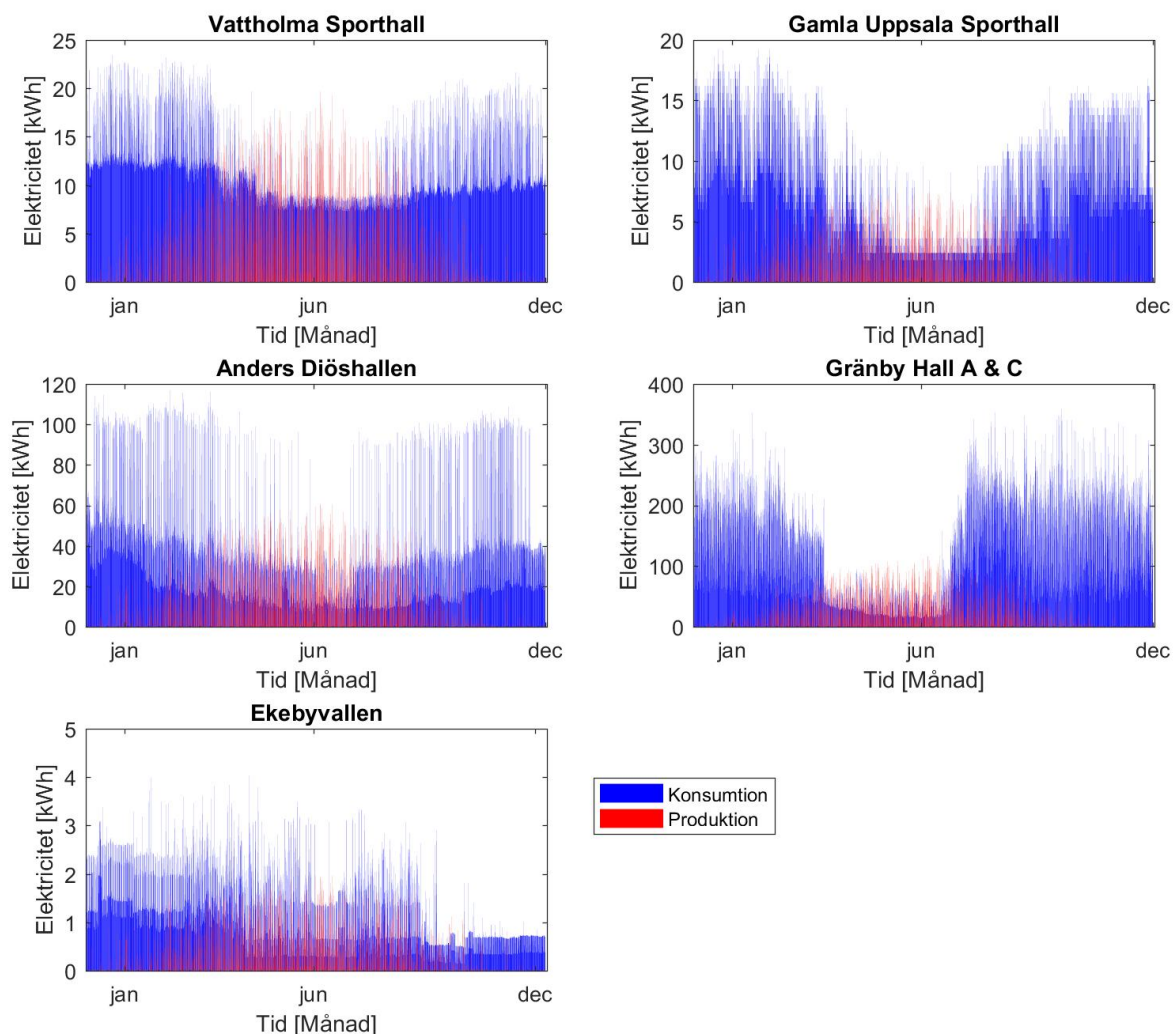
Figur 3: Installerad effekt och självförsörjningsgrad för alla solcellsmodeller och fastigheter i scenario 1 respektive scenario 2. Värdena ovanför staplarna är medelvärden av värdet för varje modell för varje fastighet och scenario.

Figur 4 visar återbetalningstid och antalet sparade kronor 25 år efter installationen av solcellerna. I båda scenarierna är payback-tiden lägst för Gränbyhallarna med Anders Diöshallen på andra plats. Antalet sparade kronor är betydligt högre för både Gränby och Anders Diöshallen, medan det framförallt för Ekebyvallen och Gamla Uppsala ligger på väldigt låga värden.



Figur 4: Återbetalningstid och antal sparade kronor 25 år efter installationen för fastigheterna i scenario 1 respektive 2. Värdena är baserade på medelvärden av de tre modellerna för varje fastighet och scenario.

I figur 5 visas elkonsumtionen och produktionen för samtliga fastigheter under ett år. Det kan observeras att det är högst produktion på sommarhalvåret. Det som sticker ut är Gränbyhallarna där konsumtionen går ned dramatiskt under sommarhalvåret när produktionen är som störst. Gränbyhallarna har en mycket sämre matchning än till exempel Vattholma eller Ekebyvallen där konsumtionen är ganska jämnt fördelat över året.



Figur 5: Konsumtion och produktion, scenario 2, Trina Solar.

## 5 Diskussion

### 5.1 Svar på frågeställningar

#### 5.1.1 Vilken solcellstyp bör Sport- och Rekreationsfastigheter AB satsa på och vilka aspekter är viktiga för att avgöra det?

Valet av solceller är beroende av företagets mål med installationen och vilka faktorer som prioriteras. Om målet är miljömässig hållbarhet är Sonnenstrom det bästa alternativet eftersom de produceras i Norge och har mindre utsläpp vid produktionen. SunPower och Trina Solar producerar sina solceller i Mexiko respektive Kina. LCA:er har varit svåra att få tag på, därmed är det svårt att hitta jämförbara fakta om hur produktionen i dessa olika länder ser ut. Därför finns inga garantier att produktionen sker under förhållanden som är gynnsamma för miljön.

Om målet är ekonomisk lönsamhet är Trina Solar det bästa alternativet tack vare det förmånliga priset. SunPower är mer än dubbelt så dyr per modul. SunPower har dock en högre

verkningsgrad och producerar mer per modul, men verkningsgraden är inte tillräckligt hög för att väga upp för det höga priset. Sonnenstrom har en lägre verkningsgrad än Trina solar och är aningen dyrare. På grund av verkningsgraden behöver man installera fler moduler av Sonnenstrom för att få ut samma effekt och därför blir installationen dyrare och återbetalningstiden längre. Trina Solar är den modell som av de tre undersökta är mest etablerad på marknaden och därmed även mest lättillgänglig hos fler installatörer.

Om målet med installationen är att få ut så mycket effekt som möjligt är modellen av SunPower att föredra, eftersom den producerar mest per modul och takyta. Taken i detta projekt hade dock väldigt generöst med plats och därför var utrymme inte något problem. Ingen hänsyn togs till hur stor last fastigheternas tak klarar av, men eftersom det behövs färre moduler av SunPower blir installationen lättare och därför är SunPower att föredra på byggnader där snölast är ett problem.

Valet av solceller beror alltså på om syftet med installationen är ekonomisk lönsamhet, miljömässig hållbarhet eller maximal effektproduktion.

### **5.1.2 Hur ska solcellsanläggningarna dimensioneras?**

I projektet undersöks två olika scenarion med 100 respektive 85 % själv användningsgrad för de olika fastigheterna. Som förväntat blir den installerade effekten såväl som självförsörjningsgraden högre för samtliga fastigheter i scenario 2. Antal insparade kronor är även mycket högre och återbetalningstiden kortare. Sammanfattningsvis antyder resultaten att en dimensionering likt den i scenario 2 vore den lämpligaste.

Om just 85 % själv användningsgrad är ett optimalt mått för dimensioneringen av solcellsanläggningar kan ej fastslås inom ramen för det föreliggande arbetet. Siffran 85 valdes som ett rimligt alternativ men vilken procentsats som egentligen är mest optimal beror väldigt mycket på vad företaget vill åstadkomma med installationen. Problemet med att göra en för stor installation är dock att den installerade effekten då överstiger den tillåtna gränsen och företaget får skyldighet att betala energiskatt på den elektriska energin som säljs till nätet. Detta kommer antagligen att leda till ekonomisk förlust eller åtminstone till en väldigt lång återbetalningstid. Med dagens regelverk är det ekonomin som begränsar hur mycket solceller som kan installeras, istället för till exempel area eller hållfastheten på taken. Resultaten som presenteras i denna rapport visar dock på att gränsen för mikroproducent, 255 kWp installerad topp effekt, på en och samma fastighet ej kommer överstigas då den maximala topp effekten som uppnås är 150 kWp på Gränbyhallarna.

### **5.1.3 På vilka byggnader är det lönsamt för Sport- och Rekreationsfastigheter AB att installera solceller?**

På grund av att de fem fastigheterna är väldigt olika till både form, läge och förbrukning av elektrisk energi skiljer de sig åt ganska kraftigt beroende på vilka aspekter som är av störst vikt. Resultaten visar att för största möjliga installerad effekt är det Gränbyhallarna som står ut, vilket inte är så förvånande då det är den största fastigheten. Den sålda elektriska energin producerad från solcellsmoduler på Gränbyhallarna skulle även betala tillbaka installationskostnaden snabbast, redan efter 8 år vid scenario 2. Gränby sticker även ut i form av att den har den sämsta självförsörjningsgraden av alla fem fastigheter och att konsumtionen har sämst förutsättningar att matchas med produktionen. För att täcka samma andel av behovet av elektrisk energi för Gränbyhallarna som för till exempel Vattholma Sporthall krävs en mycket större investering. Detta beror på att förbrukningen skiljer sig anmärkningsvärt.

För att kunna uppnå Uppsala kommuns mål att täcka 10 % av de kommunala fastigheternas takarea med solceller skulle en installation på fastigheter som Gränbyhallarna vara ett rimligt tillvägagångssätt då fastigheten har den största utbyggnadspotentialen. Att göra en installation på fastigheter som till exempel Ekebyvallen blir alldeles för småskaligt för att påverka att målet uppfylls. Även fastigheter som Gamla Uppsala Sporthall har för liten konsumtion av elektrisk energi för att ens scenario 2 ska resultera i en tillräckligt omfattande installation för att kunna påverka målet uppsatt för 2030.

Även för installationer enligt scenario 1, vilket var det som Sport- och Rekreationsfastigheter var mer intresserade av, blir det liknande slutsatser som för scenario 2.

## **5.2 Allmän diskussion**

### **5.2.1 Alternativ teknik**

Valet av monokristallina solceller gjordes för deras höga verkningsgrad. I dagsläget är monokristallina celler de mest effektiva och prisvärda på marknaden. Inköpspriset är däremot högre per modul än för polykristallina celler. Ett alternativ för dimensioneringar på riktigt stora takytor är att installera de mindre effektiva polykristallina solcellsmodulerna eftersom sådana dessutom har lägre inköpspris. Eftersom platsbrist inte är ett problem och om konsumtionen är tillräckligt låg kan polykristallina celler räcka gott och väl. Alternativet med polykristallina solceller har inte undersökts men det kan ändå vara värt att nämna det som en möjlighet till ytterligare studier.

### **5.2.2 Jämförelser ur ett miljöperspektiv**

När olika produkter ska jämföras är livscykelanalys ett verktyg. LCA:er för de solcellerna vi har valt har ej varit tillgängliga. Att göra en egen LCA är ett mycket tidskrävande arbete. På grund av tidsbegränsningen har istället förenklingar gjorts och olika produktionsländers elektriska energimix jämförts. Detta anses vara en rimlig förenkling inom tidsramarna för detta projekt men innebär svårigheter när det gäller att bedöma vilken av solcellsmodellerna som verkligen är mest miljövänlig.

Det är av stor vikt att veta hur solcellsproduktionen påverkar miljön, eftersom målet med att installera solceller är att minska klimatavtrycket. Ett förslag till fortsatta studier är därför att genomföra en jämförande LCA-studie mellan olika etablerade leverantörer.

Slutligen låg fokuset genom projektet enbart på klimatpåverkan (GWP) och tog inte hänsyn till andra miljöpåverkanskategorier. Produktionen av solpaneler påverkar dock på andra sätt än enbart genom utsläpp av växthusgaser. Till exempel kan den leda till försurning, övergödning eller att den biologiska mångfalden påverkas negativt. Dessa är ytterligare parametrar som skulle kunna undersökas i framtida studier.

### **5.2.3 Jämförelser ur ett ekonomiskt perspektiv**

Ett grundläggande problem är att kostnaden för att sätta upp solceller på ett tak beror väldigt mycket på takets egenskaper. Detta gör att installatörer inte kan sätta ett definitivt pris utan att först få veta exakt hur många solceller som ska installeras och på vilken byggnad. De priser per modul som till slut kom att användas i jämförelserna kommer ifrån leverantörer, installatörer och grossister. Det händer att priserna som hittades inte gäller exakt de modeller som användes vid simulationerna. De priser som hittats har ändå använts för att kunna ge en ungefärlig prisklass för att kunna jämföra de olika tillverkarna med varandra.

Investeringskalkylen som skapades var starkt förenklad och saknar en del detaljer som hade kunnat undersökas närmare om tiden hade funnits. Detta gör att resultaten i första hand inte bör användas ur sin kontext, utan endast för att jämföra system i olika storlekar med varandra.

## 6 Slutsats och rekommendation

Val av solceller beror på vad syftet med installationen är. Om miljön ses som den viktigaste aspekten bör Sonnenstrom väljas. För att få det billigaste alternativet bör Trina Solar eller liknande märke väljas. För att få en så effektiv modul som möjligt kan man istället välja SunPower, detta anses dock vara överflödigt för just dessa tak eftersom platsbrist inte är ett problem.

Scenario 2 är mest lämpat för dimensionering sett till självförsörjningsgrad och återbetalningstid. Dock, om just 85 % självanvändningsgrad är optimalt kan ej besvaras, eftersom vilken procentsats som är mest optimal beror på vad företaget vill åstadkomma med installationen. För att klara Uppsala kommuns mål är de stora fastigheterna med hög elkonsument de mest fördelaktiga fastigheterna att installera solceller på.

Projektgruppen rekommenderar Sport- och Rekreationsfastigheter att installera solcellsmoduler på byggnader med stor takarea, som exempelvis Gränby Hall A & C och Anders Diöshallen. Den solcellstillverkare som föreslås är Sonnenstrom eller liknande solpanel som har låg negativ klimatpåverkan. Projektgruppens rekommendationer frångår Sport- och Rekreationsfastigheters önskemål om att inte sälja överskottsel till nätet. Scenario 2 är det scenario som föreslås.



## Referenser

- 0Bills (2020). *SunPower 400W SPR-MAX3-400 Mono Solar Panel*. Library Catalog: zerohomebills.com. Tillgänglig: <https://zerohomebills.com/product/sunpower-400w-spr-max3-400-mono-solar-panel/> [2020-04-24].
- Augustsson, B.-I. (23 april 2020). *Offert*. E-mail.
- Climate Transparency (18 juli 2018). *Brown to Green Report 2018*. Climate Transparency. Library Catalog: [www.climate-transparency.org](http://www.climate-transparency.org). Tillgänglig: <https://www.climate-transparency.org/g20-climate-performance/g20report2018> [2020-04-24].
- Energimyndigheten (2018). *Så undersöker du förutsättningarna för solet*. Energimyndigheten. Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/> [2020-04-13].
- Energysage (12 dec. 2019). *Monocrystalline vs. Polycrystalline Solar Panels*. Tillgänglig: <https://www.energysage.com/solar/101/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/> [2020-04-17].
- Karlsson, B. (2020). *Kontakt angående Solel*. E-mail. [2020-05-08].
- Kommunfullmäktige (2019). *Miljö- och klimatprogram 2014–2023*. Uppsala kommun. Library Catalog: [www.uppsala.se](http://www.uppsala.se). Tillgänglig: <https://www.uppsala.se/organisation-och-styrning/publikationer/miljo--och-klimatprogram-20142023/> [2020-05-07].
- Kungl. vetenskapsakademien (1 maj 2009). *Om solenergi (Populärvetenskaplig information)*. Kungl. vetenskapsakademien. Tillgänglig: <https://kva.se/sv/publicerat/om-solenergi-popularvetenskaplig-information> [2020-04-13].
- Nationalencyklopedin (2020). *solcellsmodul*. Nationalencyklopedin. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/solcellsmodul> [2020-04-13].
- Nationalencyklopedin (2020). *solcell*. Nationalencyklopedin. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/solcell> [2020-04-13].
- Nationalencyklopedin (17 april 2020). *kiselcell*. Tillgänglig: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kiselcell> [2020-04-17].
- Pellby, O. & Larsson, A. (2015). *Solceller på den svenska marknaden*. Tillgänglig: <http://lnu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A815321&dsid=-4578> [2020-04-24].
- Raadal, H. L., Nyland, C. A. & Hanssen, O. J. (sept. 2009). Calculation of Residual Electricity Mixes when Accounting for the EECS (European Electricity Certificate System) — the Need for a Harmonised System. *Energies*, vol. 2 (3). Number: 3 Publisher: Molecular Diversity Preservation International, ss. 477–489. DOI: 10.3390/en20300477. Tillgänglig: <https://www.mdpi.com/1996-1073/2/3/477> [2020-05-04].
- Raouz, K. (2017). *Environmental Impact Assessment of a Photovoltaic Power Station in Stockholm*. Tillgänglig: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-209911> [2020-04-24].
- Samtal med Marika Edoff (2020). collaborator M. Edoff.
- Skatteverket (2020). *Energiskatt på el*. Library Catalog: [www.skatteverket.se](http://www.skatteverket.se). Tillgänglig: <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/energiskattpael.4.15532c7b1442f256bae5e4c.html> [2020-05-05].
- SLU (2019). *Vad är livscykelanalys?* SLU.SE. Library Catalog: [www.slu.se](http://www.slu.se). Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/energi-teknik/forskning/lca/vadar/> [2020-04-29].
- Solcellskollen (10 mars 2020). *Vilken lutning och väderstreck är bäst för solceller?* Solcellskollen. Library Catalog: [www.solcellskollen.se](http://www.solcellskollen.se). Tillgänglig: <https://www.solcellskollen.se/vanliga-fragor/vilken-lutning-och-vaderstreck-ar-bast-for-solceller> [2020-04-13].
- Sonnenstromfabrik (2020). *PROFESSIONAL LOW CARBON*. Tillgänglig: <https://www.sonnenstromfabrik.com/en/products/professional-low-carbon/> [2020-05-04].
- SunPower (2020). *Product Datasheets*. Library Catalog: [www.sunpowercorp.co.uk](http://www.sunpowercorp.co.uk). Tillgänglig: <https://www.sunpowercorp.co.uk/solar-panel-products/sunpower-maxeon-solar-panels> [2020-05-04].
- Trina Solar (18 mars 2019). *MA/HONEY BLACK M-DD06M.05(II)*. Trina Solar. Library Catalog: [www.trinasolar.com](http://www.trinasolar.com). Tillgänglig: <https://www.trinasolar.com/en-glb/product/honey-black-m-dd06m05ii> [2020-05-04].
- Uppsala-nya-solkartan (2020). collaborator Solkartan. Tillgänglig: <http://138.201.245.38/solkartan/upsala-nya-solkarta/> [2020-05-06].

SLU  
Institutionen för energi och teknik  
Box 7032  
750 07 UPPSALA  
Tel. 018-67 10 00  
pdf.fil: [www.slu.se/energiogteknik](http://www.slu.se/energiogteknik)

SLU  
Department of Energy and Technology  
P. O. Box 7032  
SE-750 07 UPPSALA  
SWEDEN  
Phone +46 18 671000