



# TRÄDGÅRDSSTÄDER VS KOMPAKTA STÄDER - SOLCELLER

Fortsättningsstudie

2021 | 09

 **Anthesis**

# TRÄDGÅRDSSTÄDER VS KOMPAKTA STÄDER - SOLCELLER

## Fortsättningsstudie

Efstathia Vlassopoulou

Anthesis

2021-01-30

Rapport 2021:09

[www.anthesis.se](http://www.anthesis.se)

## Innehåll

1. inledning .....	4
1.1 Solceller på 50 procent av hustaken - Bakgrund från de tidigare rapporterna .....	4
1.2 Bakgrund och analys med solcellerna .....	4
2. Genomförande - RESULTAT .....	7
2.1 Solceller på 50 procent av trädgårdsstadens tak .....	8
2.2 Solcellerna på 50 procent av kompakta stadens tak .....	10
2.3 Diskussion om andra solpaneler (CIGS - Midsummers solpaneler) samt annan elmix .....	11
Referenser .....	13

## 1. INLEDNING

### 1.1 Solceller på 50 procent av hustaken - Bakgrund från de tidigare rapporterna

I studien ”Stadsutformning och hållbarhet: En jämförelse mellan lågt byggda ’trädgårdsstäder’ och högt byggda ’kompakta städer’ i förortsområden”, genomfört under våren 2019 (Vlassopoulou, Urban form and sustainability: Comparison between low-rise “garden cities” and high-rise “compact cities” of suburban areas (Dissertation), 2019) byggdes ett scenario med en standarduppsättning av de båda områdestyperna upp imaginärt med placering i samma förortsområde (64,4 ha i Sundbybergs kommun). Trädgårdsstaden bestod av ett antal enplanshus i trä - ’Linnea’ som tillverkas av Älvsbyhus - medan den kompakta staden bestod av ett antal flerbostadshus motsvarande Blå Jungfrun.

I studien ”Trädgårdsstäder och hållbarhet” (Vlassopoulou, Trädgårdsstäder och hållbarhet: Bostadssektorns LCA, känslighetsanalys, 2020) valdes att förändra trädgårdstadsområdet något genom att inkludera flera typer av låga bostadsbyggnader - villor, radhus och ett fyravåningars flerbostadshus, samt att göra en känslighetsanalys för att se hur olika materialval för småhuset Linnea skulle påverka klimatavtrycket. En av dessa förändringsåtgärder var att studera hur Linneas klimatavtryck skulle ändras om solceller installerades ovanpå tegeltakpannorna. Beräkningsresultatet visade en tydlig stor minskning av husets utsläpp i driftfasen, som tydligt överväger de tillverkningsutsläpp som solpanelerna ger. Därför valdes det att även i den här fortsättningsstudien inkludera solpaneler på 50 procent av alla hustak av båda typer av stadsutformning för att analysera den nya skillnaden i klimatpåverkan mellan de två stadsutformningarna.

I denna nya studie används den nya uppsättningen av stadsutformningsalternativen som omfattar ett förändrat trädgårdstadsområde (detta scenario skapades senare och är Alternativ A2 (2.1.2.) i sektion 1 ”Trädgårdsstäder - ny planering” i denna rapport), men med en ytterligare förändring som analyserades i studien ”Trädgårdsstäder VS kompakta städer - kompletteringar och justeringar” (Vlassopoulou, Trädgårdsstäder VS kompakta städer - kompletteringar, 2021). Denna ytterligare förändring är att det flerbostadshus som används i trädgårdsstadens beräkningar har ändrats, och här används värdena från den sistnämnda rapporten (Vlassopoulou, Trädgårdsstäder VS kompakta städer - kompletteringar, 2021). Syftet med den studie som genomförs nu är att undersöka vilken inverkan en integration av solceller på taken i både trädgårdsstaden och den kompakta staden kan få för byggnadernas och stadsdelarnas klimatpåverkan, samt att undersöka hur stor roll taklutning och orientering kan spela för fullt utnyttjande av solcellernas fördelar. Slutligen är ett syfte att undersöka om det är stora skillnader mellan utanpåliggande och byggnadsintegrerade solceller.

### 1.2 Bakgrund och analys med solcellerna

#### 1.2.1. Olika typer av solpaneler

Det finns två montagelösningar för solceller på byggnader. Det är utanpåliggande respektive byggnadsintegrerade solpaneler. Den förstnämnda typen är vanliga solpaneler som monteras ovanpå det ordinarie takmaterialet. De kallas också för BAPV-anläggningar (Building Attached PhotoVoltaics). De byggnadsintegrerade solpanelerna (kallas också BIVP-anläggningar, Building Integrated PhotoVoltaics) ersätter det ordinarie takmaterialet och blir en del av byggnadens klimatskal.

När det gäller vilka material och teknologier som används vid tillverkningen kan solcellerna separeras i monokristallina [mono-Si] och polykristallina [poly-Si] solceller som båda baseras på kristallint kisel [c-Si] respektive tunnfilmssolceller som består av så kallade ”CdTe”-solceller som tillverkas av kadmium och tellurid, ”CIGS” solceller som tillverkas av koppar, indium, gallium och selen, samt solceller av amorft kisel [a-Si]. (Energimyndigheten, 2019). Flera typer av solceller är under utveckling, men de avhandlas

inte här. Baserat på vilken teknologi och material som används har kategorierna olika verkningsgrader.<sup>1</sup> Här sker dock en snabb utveckling. I nuläget är medelvärdet för verkningsgrad ca 18 procent för monokrystallina respektive 16 procent för polykrystallina solcellsmoduler (Kovacs, 2019), ungefär 13 procent för CdTe- och CIGS-tunnsfilmsmoduler samt 8 procent för modulerna av amorft kisel (Kovacs, 2019).

Solpaneler av kristallint kisel har standardmått (ofta ca 1 m \*1,7 m) och en effekt på 280 - 340 W per panel, dvs cirka 165 - 200 W/m<sup>2</sup> panel. I Sverige bidrar varje kilowatt (kW) installerad solpanel till cirka 1 000 kilowattimmar (kWh) per år (SWEDENSOL, u.d.) Vilket innebär att en kvadratmeter solpaneler kan producera upp till 200 kWh/år. (HemSol, 2021)

Både kisel- och tunnsfilmsolceller kan användas som byggnadsintegrerade solceller (Peter Kovacs, RISE, 2019), dock krävs för vanliga solpaneler ett montagesystem som gör att de sluter tätt mellan varandra (Solcellskollen, 2019). Det är viktigt med rätt ventilation i byggnadsintegrerade anläggningar för att öka deras livslängd och effektivitet, (eftersom de är temperaturskänsliga) så rekommenderas användning av luftspalt i undertaket, i form av till exempel ströläkt mellan isolering och undertak. (Elforsk rapport 10:41, 2010) Dessutom är det avgörande att både vatten- och brandskydd samt elsäkerheten garanteras eftersom en BIPV anläggning ersätter det ordinarie taksiktet. (Elforsk rapport 10:41, 2010). Vidare ska solpanelerna följa taket eftersom det är avgörande med rätt byggnadsorientering och taklutning för att solcellerna ska bli så effektiva som möjligt (optimal exponering till solinstrålningen). (Linjord, O'Born, & Imenes, 2017) En förutsättning för att installera BIPV-solceller är att takets lutning är mellan 14-45 grader. (Vattenfall, Soltak - integrerade solceller för en stilren känsla, u.d.). BIPV-anläggningar kan bidra till en ökad hållbarhet genom att ersätta passiva byggnadsmaterial med energigenererade material samt genom att öka det estetiska värdet av husen. (E2B2, 2020)

Ett BIPV-system som används av Vattenfall är SolTechs ShingEL. Det integreras i taket med Benders Carisma betongpanna som används för att ansluta mot skorstenar, regndelar och takgenomföringar. (Energibyggnarna, u.d.). Den teknik som används för ShingEL-solpannorna är tunnsfilmsteknik CdTe, och varje panel har en installerad effekt på 40 Wp eller 100 Wp/m<sup>2</sup>. (SolTech Energy, 2019). Enligt SolTech har tunnsfilmstekniken fördelar i form av homogen design och förmåga att leverera hög verkningsgrad även i skuggiga miljöer. (SolTech Energy, 2019). Solpannorna placeras ovanpå vanlig strö- och bärläkt i trä, precis som vanliga betongpannor. (Vattenfall, SingEl soltak, u.d.). Det är också viktigt att notera att över 90 procent av en byggnadsintegrerad solcellspanel kan återvinnas. (jmhogberg, 2019)

### 1.2.2. Faktorer som påverkar verkningsgrad

Som redan har nämnts har de olika typerna av solceller olika verkningsgrader. Faktorer som påverkar verkningsgraden är inte bara solcellernas typ utan också taklutning, takorientering, solinstrålning och skuggning. Solinstrålningen påverkas mycket av lokalisering, olika platser har olika solinstrålning. Avseende takorientering är det effektivare om solcellerna riktas mot söder, sydöst eller sydväst eftersom det ger en större årlig elproduktion. Det är anledningen till att upplutning av solcellerna mot söder föreslås för platta tak. (Energimyndigheten, 2019). En annan anledning är att vinkeln underlättar att snö och smuts glider av. Installation av solcellernas blir enklare om de har samma lutning som taket. Ett brantare tak brukar ge högre årlig solelproduktion, men det är också beroende av ställen solcellerna installeras. Till exempel är den optimala lutningen i södra Sverige ca 30 grader medan den är 45 grader i norra Sverige. Dock uppges skillnaden i solelproduktion endast vara 10-20 procent för lutningar mellan 10 och 60 graders taklutning. (HemSol, 2020).

---

<sup>1</sup> Verkningsgrad = hur stor del av den solenergi som träffar solpanelerna som omvandlas till soles.  
(HemSol, 2021)

### 1.2.3. Klimatpåverkan

Solcellernas CO<sub>2</sub>-utsläpp bedöms som indirekt eftersom de ger utsläpp främst under sin tillverkningsfas. Därför beror utsläppet mycket på tillverknings sätt och vilken livslängd för solcellerna som används vid beräkningarna av deras CO<sub>2</sub>-utsläpp och dess fördelning per kWh. (Solcellskollen, 2020) Det finns också osäkerhet avseende solcellernas utsläpp i slutskedet beroende på hur stor andel av materialet som kan återvinnas. Dessa faktorer gör det svårt att förutse vilken klimatpåverkan som solcellerna kommer att svara för i framtiden (Solcellskollen, 2020), men också vilken slutlig inverkan solcellerna har när det gäller att minska klimatpåverkan för byggnadernas livscykel. Generellt har solceller en livslängd på 25-30 år.

Solcellernas utsläpp beror på vilken energimix som används vid tillverkningen, vilket i sin tur främst beror på var solcellerna produceras. Dock har många tillverkare nu tagit initiativ till att installera solpanelerna i sina egna verksamheter, och därmed får elen som används för tillverkning av solcellerna lägre emissionsfaktor. När det gäller jämförelse av solcellernas utsläpp (utsläpp från solet) med utsläpp från el som kommer från andra energiresurser påverkas resultatet signifikant av vilka energiresurser som används som alternativ. Den svenska elproduktionen baseras på vattenkraft, kärnkraft, vindkraft, biokraft och solkraft (Naturvårdsverket, 2020) som ger låga utsläpp, 13 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svenska kraftnät, 2019). Dock ingår Sverige i den gemensamma elmarknaden i Norden och el både importeras och exporteras till och från grannländerna då nordisk elmix (50 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svenska kraftnät, 2019)) används vanligtvis vid jämförelsen med soletens utsläpp. Det är också viktigt att notera att integrationen av det nordiska elnätet med nätet i övriga Europa är betydande och fortsätter att öka. Å andra sidan är emissionsfaktorn för den kinesiska elmixen, som vanligtvis används vid tillverkning av delar av solcellerna eftersom de ofta tillverkas i Kina, ca 900 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svensk Solenergi, 2018). Dock har marknadsläget ändrats, och majoriteten av de solceller som installeras i Sverige i dagsläget tillverkas inte i Kina utan i länder med ur ett klimatperspektiv renare elmix, där elproduktionen i större utsträckning baseras på förnybara källor (Svensk Solenergi, 2018). De beräkningar som har gjorts för utsläpp från solceller som är installerade i Sverige men som tillverkades i Kina visar ett utsläpp på cirka 30 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svensk Solenergi, 2018). Om egenproducerad solet med ett klimatavtryck på ca 20-25 g CO<sub>2</sub>/kWh (för poly-Si respektive mono-Si anläggningar enligt (Louwen, Sark, Faaij, & Schropp, 2016) ersätter en del av den el som används vid tillverkningen av solcellerna så kan CO<sub>2</sub>-utsläppet för de svenska kisel-solcellerna idag vara under 20 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svensk Solenergi, 2018). En annan aspekt som är viktig att nämna är att det redan idag finns teknik att återvinna 96 procent av materialen i en kiselmodul (Svensk Solenergi, 2018). En viktig fördel med solpaneler är att användning av egenproducerad solenergi kan minska distribution av el, vilket minskar transmissions- och distributionsförlusterna (Yang & Zou, 2016)

I studien "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems" (IEA , 2015) rapporteras att tidigare beräknade LCA-utsläpp från solceller är betydligt högre än de verkliga utsläppen vid tiden när rapporten skrevs (2015). De tidigaste studierna visade att GHG-utsläpp för mono- och multi-Si solceller låg på 29 respektive 28 g CO<sub>2e</sub>/kWh. Det ska dock noteras att dessa beräkningar inkluderar påverkan av återbruk och återvinning av moduler men inte påverkan av solmodulernas ram. Avseende CdTe-tunnfilmssolceller är de tidigaste värden som nämns i (IEA , 2015) 18 g CO<sub>2e</sub>/kWh. Dessa värden representerar solceller som är monterade på ett europeiskt tak och tillverkade i Europa. Dock är dessa värden sannolikt inte representativa längre.

Som tidigare nämnts kan klimatavtrycket för svenska solceller (mono- och poly-Si) ligga under 20 g CO<sub>2</sub>/kWh (Svensk Solenergi, 2018). Det vill säga en minskning med ca 30 procent jämfört med det lägsta värdet som rapporterades år 2015. Om samma minskning antas för CdTe-tunnfilmssolceller kan man anta ett klimatavtryck på 12 g CO<sub>2e</sub>/kWh i dagsläget. Dessutom har en nyligen genomförd LCA (Midsummer, 2019) visat att den svenska tillverkaren Midsummers solpaneler ger en klimatpåverkan på 3,5 g CO<sub>2e</sub>/kWh vilket är betydligt lägre än publicerade värden från andra genomförda LCA för övriga typer av solpaneler. Midsummers tunnfilmssolceller är flexibla CIGS-solceller som tillverkas i Sverige i

Midsummers anläggning, som drivs med förnybar el. De består inte av några tunga glas- eller aluminiummaterial, de är mycket tunna och de kan ersätta vanligt takmaterial. (Midsummer, 2019)

#### 1.2.4. Jämförande klimatpåverkan från olika typ solceller

I artikeln "Embodied greenhouse gas emissions from PV systems in Norwegian residential Zero Emission Pilot Buildings" (Kristjansdottir, Good, Inman, Schlanbusch, & Andresen, 2016) jämfördes utsläppen från solcellsmoduler som tillverkas i Kina med moduler som tillverkas i Europa, och skillnaden mellan BIPV och BAPV solcellsanläggningars utsläpp analyserades. Resultatet från studies, som genomfördes år 2014, visade att moduler som produceras i Kina orsakar nästan dubbelt så stora emissioner från dess tillverkningen, 72 g CO<sub>2e</sub>/kWh jämfört med 37 g CO<sub>2e</sub>/kWh, vid tillverkning av mono-Si moduler i Kina respektive Europa. Vidare visade studien att förutsatt att det finns en bra integration av BIPV-anläggningar så kan användning av de traditionella yttertackmaterialen minskas och därigenom kan byggnadens materialutsläpp minskas. Hur stora utsläpp som undviks beror på vilket yttertackmaterial som ersätts av byggnadsintegrerade solceller. Moduler orsakar de högsta utsläppen följt av monteringsystemen (BIPV anläggningar har större materialkrav än BAPV anläggningar för monteringen och systemet svarar på 22 respektive 10 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup> modul) och växelriktare (Kristjansdottir, Good, Inman, Schlanbusch, & Andresen, 2016). Det ska noteras att värden för utsläpp från monteringsystemen representerar baseline scenario, vilket innebär att aluminium som används inte är återvunnen. I den bästa fallet (återvunnen aluminium) skulle resultatet för monteringsystem av BIPV anläggningar vara ca 8 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup> modul. Studien (Kristjansdottir, Good, Inman, Schlanbusch, & Andresen, 2016) visade att ersättning av betongtakpannor med byggnadsintegrerade solceller kan minska utsläppen från installationen med ca 60 procent, vilket gör att det totala installationsutsläppet blir det samma för båda anläggningarna.

## 2. GENOMFÖRANDE - RESULTAT

I denna studie antas att poly-Si solpaneler installeras på 50 procent av taken i båda stadsutformningarna. Som en känslighetsanalys görs i avsnitt 2.3 en analys av vad resultatet skulle bli om Midsummers solpaneler installeras istället för poly-Si solpanelerna. Som nämndes i avsnittet 1.2.3 antas svenska kiselceller ha ett klimatavtryck på 20 g CO<sub>2e</sub>/kWh genererad energi enligt (Svensk Solenergi, 2018). CO<sub>2</sub>-utsläppen från transport av solcellerna till byggplatsen samt installation på tak (tillsammans med de material som denna process kräver) tillkommer men medräknas inte här. Inga underhållsåtgärder inräknas. Steg C inräknas inte heller eftersom det redan nu finns teknik att återvinna 96 procent av materialen i en kiselmodul. (Svensk Solenergi, 2018). Dock kan återvinningsåtgärder vara energikrävande. Ett medelvärde för den förväntade elproduktionen från ett kiselcellsystem i Sverige under en antagen livstid på 30 år antas vara 180kWh/m<sup>2</sup> panel, år enligt sektion 1.2.1.

I 50 procent av trädgårdsstadens småhus och radhus kommer solel att täcka 80 procent av den el (exkl. hushållsenergi) som annars skulle behöva köpas. I 50 procent av kompakta stadens byggnader kommer solel att täcka hela fastighetselen. En justering av utsläpp från tillverkningskedet samt från driftskedet genomförs för båda stadsutformningarna, där utsläpp från tillverkningen av solceller samt det minskade behovet av köpt el kommer inräknas här. Vid jämförelsen av LCA-utsläpp med och utan solpaneler kommer nordisk elmix med en emissionsfaktor på 102g CO<sub>2e</sub>/kWh att användas för att beräkna vilket utsläpp från el som faktiskt ersätts, för jämförelsens skull med de tidigare studierna. (Vlassopoulou, Trädgårdsstäder och hållbarhet: Bostadssektorns LCA, känslighetsanalys, 2020) , (Vlassopoulou, Trädgårdsstäder VS kompakta städer - Kompletteringar, 2021).

## 2.1 Solceller på 50 procent av trädgårdsstadens tak

Här antas att byggnadsintegrerade poly-Si solpaneler ersätter takpannor i hälften av småhusen. För flerbostadshus A (Föreställningen) görs ingen åtgärd eftersom huset redan har solpaneler installerade (dock täcker de endast 18 procent av det totala elbehovet som flerbostadshuset har (exkl. hushållsel)).

### 2.1.1. Förändring av LCA-utsläpp från de småhusen och radhuset när solpaneler installeras

I Tabell 1 redovisas behovet av köpt el (exkl. hushållsel) för de två småhus och radhuset, taklutning samt utsläpp från steg A1-3 och B6 utan solpaneler.

Tabell 1: köpt el, taklutning och LCA utsläpp för de småhusen och radhuset, utan solpanelerna.

	Köpt el (kWh/år)	Taklutning (°)	A1-3 utsläpp (kg CO <sub>2-e</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	B6 utsläpp (kg CO <sub>2-e</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
<b>TRANAN</b>	5503	34	110	160
<b>HOME #601</b>	6004	45	89	195
<b>OBOS radhus</b>	3696	14	97	155

Om 80 procent av den köpta elen ska täckas med solet behöver solcellerna producera 4 402 kWh/år för TRANAN (takarea 24 m<sup>2</sup> = 14 paneler), 4 803 kWh/år för HOME #601 (takarea 27 m<sup>2</sup> = 16 paneler) respektive 2 957 kWh/år för OBOS radhus (takarea 16,4 m<sup>2</sup> = 10 paneler). Det bör noteras att det är viktigt att solcellerna riktas mot syd, sydöst eller sydväst, och eftersom de integreras i byggnaden måste en korrekt orientering väljas för att nå de maximala värdena för maxverkningsgrad som kan nås i Stockholm.

På varje kvadratmeter takarea har 35,6 kg takpannor installerats (Beijer, u.d.). Om BIPV-anläggningar används minskar den mängd takpannor som behövs, se enligt Tabell 2. Betongtakpannor som används har ett utsläpp på 0,17 kg CO<sub>2-e</sub>/kg (BECEs databas). Kisel-solcellerna antas, som tidigare nämndes, ha ett klimatavtryck på 20 g CO<sub>2-e</sub>/kWh genererad energi. I Tabell 2 redovisas CO<sub>2</sub>-utsläppen från solpaneler som producerar el enligt ovan för 50 års livslängd.<sup>2</sup> I tabellens två sista kolumner presenteras de nya beräknade värdena för husens tillverkningsutsläpp (A1-3) samt driftsutsläpp (B6) efter justering med besparingar av takmaterial, tillägg av solcellernas tillverkningsutsläpp samt exkludering av de utsläpp från driftsfasen för den mängd el som produceras av solpanelerna.

Tabell 2: Mängd takpannor som kan undvikas vid installation av BIPV på småhusens och radhusens tak. Återstående elbehov samt solcellernas påverkan på LCA utsläppen.

	Takpannor som tas bort (kg)	Utsläpp som undviks (kg CO <sub>2-e</sub> )	Återstående elbehov (kWh/år)	Utsläpp från solcellerna 50 år (kg CO <sub>2-e</sub> )	A1-3 utsläpp (kg CO <sub>2-e</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	B6 utsläpp (kg CO <sub>2-e</sub> /m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
<b>TRANAN</b>	854	145	1101	4402	134	32
<b>HOME #601</b>	961	163	1201	4803	118	39
<b>OBOS radhus</b>	584	100	739	2957	120	31

Om även utsläpp från monteringsystemet skulle ha tagits med (22 kg CO<sub>2-e</sub>/m<sup>2</sup> panel (Kristjansdottir, Good, Inman, Schlanbusch, & Andresen, 2016)) skulle utsläppen från produktionssteget öka med 528 kg

<sup>2</sup> Här antas att solpanelerna inte byts ut, så alla solcellsutsläpp tillskrivs produktionskedet. Utsläppen har beräknats för 50 års livslängd (samma som husens), dvs klimatavtrycket per år har multiplicerats med 50 år. Förklaring finns i Appendix 1 (Vlassopoulou, Trädgårdsstäder och hållbarhet: Bostadssektorns LCA, känslighetsanalys, 2020)



CO<sub>2-e</sub> för TRANAN, 594 kg CO<sub>2-e</sub> för HOME#601 respektive 361 kg CO<sub>2-e</sub> för radhuset.<sup>3</sup> Det bör dock nämnas att i kolumnen ”utsläpp som undviks” i Tabell 2 ingår utsläpp undviks från betongtakpannorna men inte från deras monteringsystem. Enligt (Kristjansdottir, Good, Inman, Schlanbusch, & Andresen, 2016) kan solpanelernas monteringsystemutsläpp minskas med 60 procent tack vare minskat behov av byggmaterialet.

### 2.1.2. Trädgårdsstadens LCA-utsläpp när 50 procent av taken täcks med solpaneler

Installering av solpaneler på trädgårdsstadens hustak minskar utsläppen i driftsskedet i varje hus. Resultatet av de nya kalkylerna där stadsdelen har anpassats med solceller redovisas i Diagram 1 och Diagram 2.

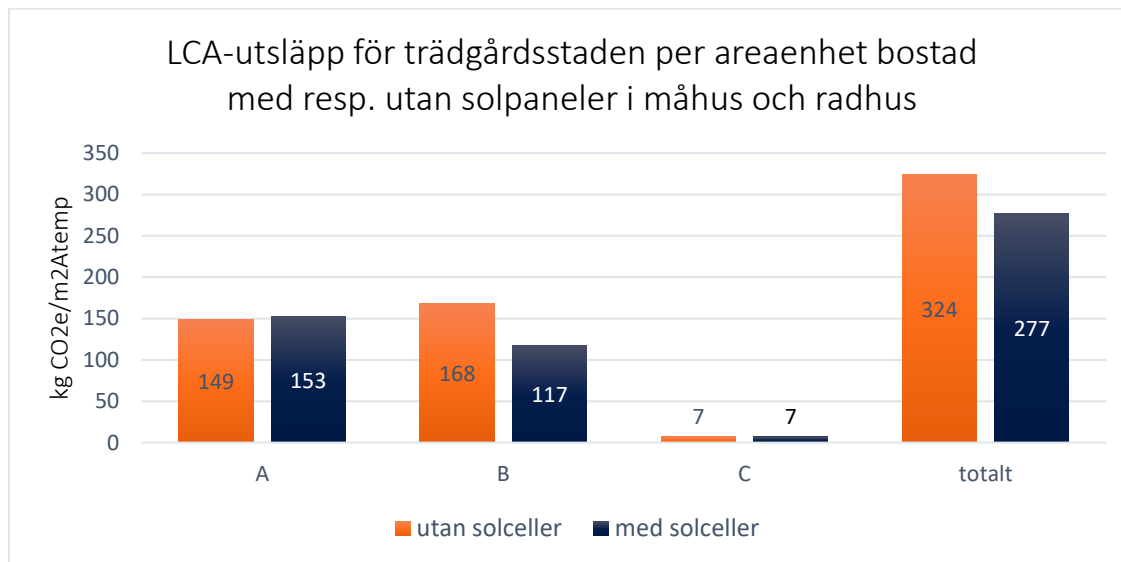


Diagram 1: Jämförelse av trädgårdsstadens LCA-utsläpp per m<sup>2</sup> med och utan solpaneler.

<sup>3</sup> Monteringsystem: ”Monteringsystem för lutande tak består av två huvudsakliga delar: ett ramverk av aluminiumskenor som modulerna vilar mot och som de fästs i med hjälp av speciella klamrar samt krokarna/klämmor som förankrar systemet i taket” (BeLok, 2015).

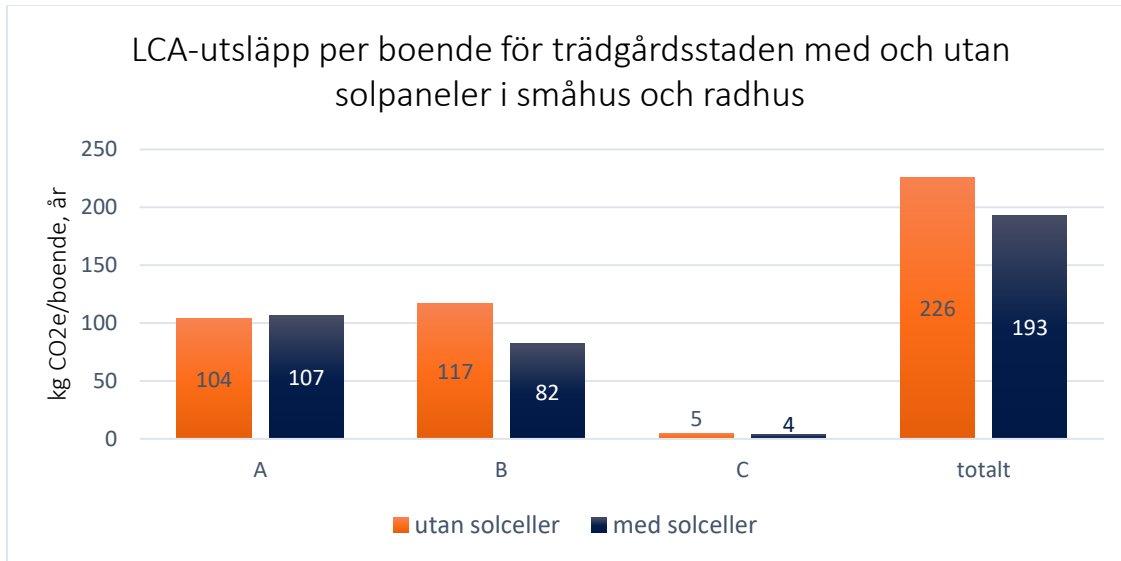


Diagram 2: Jämförelse av trädgårdsstadens LCA-utsläpp per boende med och utan solpaneler.

Det är viktigt att notera att solpaneler bara installeras på 50 procent av småhusens och radhusens tak, men ingen komplettering sker av Föreställningens Hus A tak.

## 2.2 Solcellerna på 50 procent av kompakta stadens tak

### 2.2.1. Förändring av Blå Jungfruns utsläpp vid installation av solpaneler

Här antas det att poly-Si solpaneler installeras på 50 procent av byggnaderna av typ Blå Jungfrun. Solceller installeras ovanpå taket eftersom nödvändig taklutning (4°) inte kan erhållas för effektiva BIPV. Panelerna installeras upplutande helst växelvis mot öst och väst, men en lutning mot söder är mest effektivt. (BeLok, 2015). Solcellerna antas täcka hela behovet av fastighetselsbehov i flerbostadshusen. Resten av energibehovet (för uppvärmning och tappvarmvatten) täcks med fjärrvärme (med emissionsfaktorn 62 kgCO<sub>2</sub>-e/kWh). LCA-utsläppet från tillverkningskedje utan solpanelerna var 279 kg CO<sub>2</sub>-e/m<sup>2</sup>A<sub>temp</sub> och från driftsskedet 188 kg CO<sub>2</sub>-e/m<sup>2</sup>A<sub>temp</sub>. De nya värdena med installerade solpaneler och med de antaganden som presenterades i de föregående delarna av rapporten presenteras i Tabell 3.

Tabell 3: köpt energi, sparad energi från solcellerna och LCA utsläpp efter installation av solcellerna på 50 procent av de kompakta stadens tak

	Köpt energi (kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> , år)	Köpt energi för alla 4 byggnader i kvarteret (kWh/år)	Energi som täcks av solpaneler (kWh/år)	Utsläpp från solcellerna i 50 år	A1-3 utsläpp (kg CO <sub>2</sub> -e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )	B6 utsläpp (kg CO <sub>2</sub> -e/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> )
53	Fjärrvärme: 41	451 123	0	0	291	123
	El: 12	132 036	132 036	132 036		

### 2.2.2. Den kompakta stadens utsläpp efter installation av solpaneler på 50 procent av byggnaderna

Installation av solpaneler på taken i den kompakta staden minskar driftsskedets utsläpp för Blå Jungfrun-byggnaderna. Resultatet av de nya kalkylerna med denna anpassning presenteras i Diagram 3 och Diagram 4.

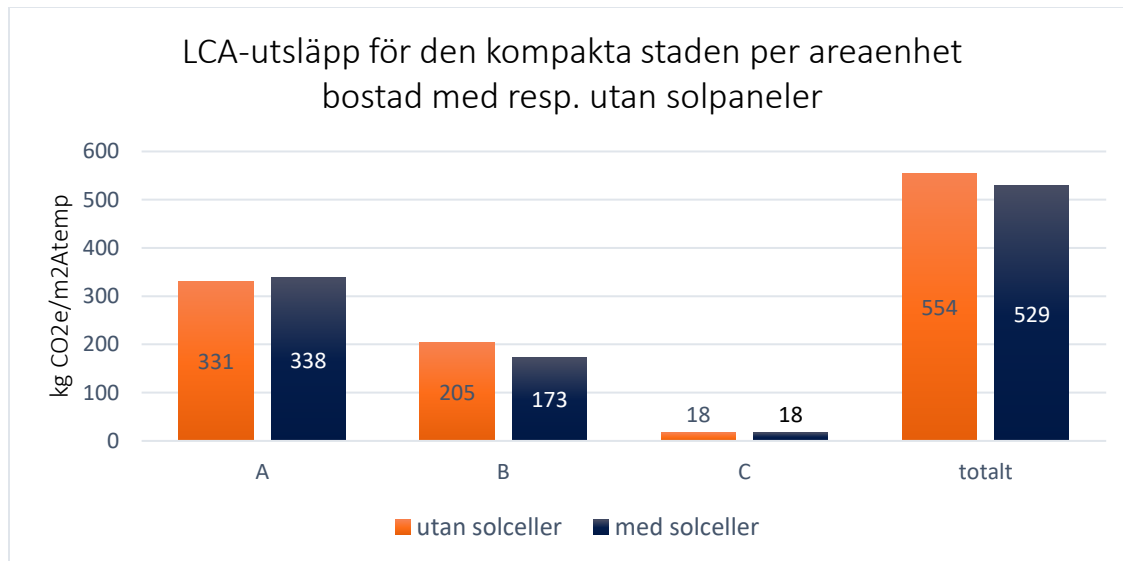


Diagram 3: Jämförelse av den kompakta stadens LCA-utsläpp per m<sup>2</sup> med respektive utan solpaneler

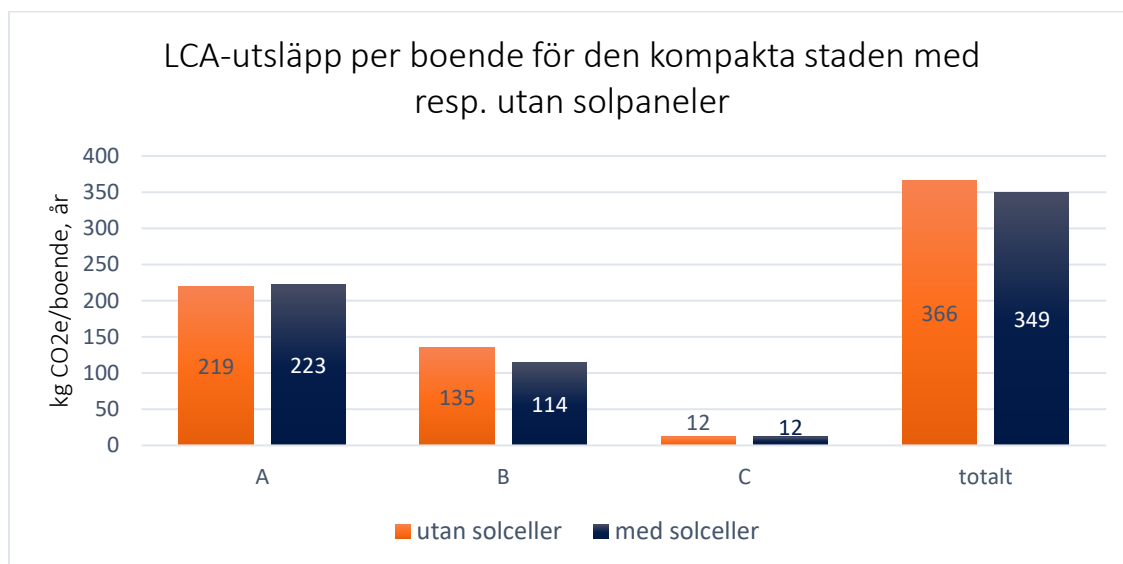


Diagram 4: Jämförelse av den kompakta stadens LCA-utsläpp per boende med respektive utan solpaneler.

### 2.3 Diskussion om andra solpaneler (CIGS - Midsummers solpaneler) samt annan elmix

I denna del av arbetet antogs att Midsummers solpaneler installerades på trädgårdsstadens tak. Enligt nyligen publicerade LCA resultat (Midsummer, 2019) svarar de för 3,5 g CO<sub>2e</sub>/kWh. Enligt (Midsummer, u.d.) ger Midsummer wave solpaneler en effekt på 110W/m<sup>2</sup>, dvs. i Sverige kan de producera ca 110kWh/m<sup>2</sup>, år. För att täcka samma elproduktion med Midsummers solpaneler som med kiselpanelerna krävs en större takarea. De ger lägre utsläpp under tillverkningsfasen, vilket dock inte gör någon stor skillnad på stadsdelsnivå (1kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>A<sub>temp</sub> samt 1kg CO<sub>2e</sub>/boende lägre utsläpp). En anledning till detta är att solpanelerna på Föreställningens Hus A inte ändrades. Detta kan indikera att det för att minska utsläpp på stadsdelsnivå krävs åtgärder med större omfattning. En annan anledning till den lilla skillnaden är att Midsummer solceller jämfördes med kiselpanelerna, vilka antas ge 20 g

$\text{CO}_2\text{-e}/\text{kWh}_{\text{producerad el}}$  när solcellerna inte tillverkas i Kina och att de tillverkas med energi som till en del kommer från solenergi från fabriken tak (se 1.2.3.).

När det gäller jämförelse av de ursprungliga resultaten med resultaten med kiselsolceller kan det noteras att vilken elmix som används spelar en stor roll. Om husens elbehov skulle kunna täckas med svensk elmix (13 g  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  (Svenska kraftnät, 2019)) skulle utsläppen från driftsskedet minskas betydligt.<sup>4</sup> Till exempel skulle TRANANs utsläpp från steg B6 svara 20,3 kg  $\text{CO}_2\text{-e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$ , utan solpanelerna. Det vill säga att energiåterbetalningstid för solpanelernas utsläpp inte sker under husets livstiden. Om man däremot jämför med Kinas elmix blir resultatet att användning av solpanelerna är mycket förmånligt för miljön.

---

<sup>4</sup> Givet att det nordiska elnätet i princip är helt integrerat (se kapitel 1.2.3.) är dock en sådan jämförelse inte relevant. En jämförelse med den nordiska elmixen som används i dagsläget (50 g  $\text{CO}_2/\text{kWh}$  (Svenska kraftnät, 2019)) skulle ge driftsskedets utsläpp på 78 kg  $\text{CO}_2\text{-e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$  och 15,6 kg  $\text{CO}_2\text{-e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$  utan respektive med solpanelerna för TRANAN vilket betyder en minskning med 80 procent för driftsskede med en ökning på 22 procent från tillverkningskedet.

## REFERENSER

- Beijer. (u.d.). *TAKPANNA PALEMA 2-KUPIG YTBEHANDLAD*. Hämtat från <https://www.beijerbygg.se/privat/sv/takpanna-palema-2-kupigt-svart-002459999>
- BeLok. (2015). *Solceller på tak - Möjligheter och fallgropar (Handbok för solceller på tak)*. Hämtat från <http://belok.se/handbok-solceller-pa-tak/>
- Bengtsson, H. (2005). *Livscykelanalys av villauppvärmning - En studie av fjärrvärme, pelletspanna, oljepanna, elpanna och värmepump, examensarbete*. Hämtat från Undersökning av värmepumpars miljöpåverkan, Roger Nordman: [https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2007\\_energi\\_transport\\_varmepumpars\\_miljopaverkan.pdf](https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/2007_energi_transport_varmepumpars_miljopaverkan.pdf)
- E2B2. (2020). *Fastighetsägare som vill installera byggnadsintegrerade solceller sökes*. Hämtat från <https://www.e2b2.se/aktuellt/nyheter/2020/201130-fastighetsaegare-som-vill-installera-byggnadsintegrerade-solceller-soekes/>
- Elforsk rapport 10:41. (2010). *Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar*. Hämtat från <https://docplayer.se/5489768-Byggnadsintegrerade-solcellsanlaggningar.html>
- Energibyggarne. (u.d.). *Takintegrerade solceller*. Hämtat från <https://energibyggarne.se/takintegrerade-solceller/>
- Energimyndigheten. (2019). *Olika typer av solceller*. Hämtat från Energimyndigheten: <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/lar-dig-mer-om-solceller/olika-typer-av-solceller/>
- Energimyndigheten. (2019). *Så undersöker du förutsättningarna för solel*. Hämtat från <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/sa-undersoker-du-forutsattningarna/>
- Erlandsson, M. (2017). *Blå Jungfrun version 2017 med nya cement*. Hämtat från IVL svenska miljöinstitutet: <https://www.ivl.se/publikationer/publikation.html?id=5417>
- Erlandsson, M. (2018). *Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM1.0 - Ett bransch gemensamt verktyg*. Hämtat från E2B2: [https://www.e2b2.se/library/3867/slutrapport\\_byggsektorns\\_miljoberakningsverktyg\\_bm10.pdf](https://www.e2b2.se/library/3867/slutrapport_byggsektorns_miljoberakningsverktyg_bm10.pdf)
- Erlandsson, M., & Pettersson, D. (2015). *Klimatpåverkan för byggnader med olika energiprestanda, Tabell 10*. Hämtat från [https://www.boverket.se/contentassets/1efdca0430b946e99d77527a93c24971/u5176-klimatpaverkan-for-byggnader-\\_mh\\_2\\_me\\_aw\\_me\\_bov-stem\\_16-april\\_clea...pdf](https://www.boverket.se/contentassets/1efdca0430b946e99d77527a93c24971/u5176-klimatpaverkan-for-byggnader-_mh_2_me_aw_me_bov-stem_16-april_clea...pdf)
- HemSol. (2020). *Optimal lutning och väderstreck för solceller*. Hämtat från <https://hemsol.se/vanliga-fragor/lutning-vaderstreck-solceller/>
- HemSol. (2021). *Verkningsgrad för solceller*. Hämtat från HemSol: <https://hemsol.se/vanliga-fragor/verkningsgrad-solceller/>
- IEA . (2015). *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems*. Hämtat från Photovoltaic Power Systems Programme: [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS\\_Task\\_12\\_LCI\\_LCA.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_Task_12_LCI_LCA.pdf)

- jmhogberg. (2019). *SolTech Energy vann innovationspris*. Hämtat från Nordiska Projekt: <https://www.nordiskaprojekt.se/2019/05/13/soltech-energy-vinner-innovationspris/>
- Kovacs, P. (2019). *Möjligheter och utmaningar med byggnadsintegrerade solceller, RISE*. Hämtat från [solarregion.se](http://solarregion.se).
- Kristjansdottir, T. F., Good, C. S., Inman, M. R., Schlanbusch, R. D., & Andresen, I. (2016). Embodied greenhouse gas emissions from PV systems in Norwegian residential Zero Emission Pilot Buildings. *Solar Energy*, 133, . doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.03.063> , ss. 155-171.
- Kurkinen, E.-L., Noren, J., Peñaloza, D., Al-Ayish, N., & Doring, O. (2015). *Energi och klimateffektiva byggsystem : Miljövärdering av olika stomalternativ (SP Rapport)*. Hämtat från DiVA: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A962930&dsid=-7716>
- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G., & Brogren, M. (2015). *Byggandets klimatpåverkan*. Hämtat från IVL svenska miljöinstitutet: [https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76c4/1445517730807/B2217\\_ME.pdf](https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76c4/1445517730807/B2217_ME.pdf)
- Linjord, T., O'Born, R., & Imenes, A. G. (2017). *Life cycle analysis of building integrated photovoltaic roof tile for use in Norwegian conditions*. Hämtat från [https://www.researchgate.net/profile/Reyn-Oborn/publication/316645232\\_Life\\_cycle\\_analysis\\_of\\_building\\_integrated\\_photovoltaic\\_roof\\_tile\\_for\\_use\\_in\\_Norwegian\\_conditions/links/594a3a8a4585158b8fd981fc/Life-cycle-analysis-of-building-integrated-photovoltaic-](https://www.researchgate.net/profile/Reyn-Oborn/publication/316645232_Life_cycle_analysis_of_building_integrated_photovoltaic_roof_tile_for_use_in_Norwegian_conditions/links/594a3a8a4585158b8fd981fc/Life-cycle-analysis-of-building-integrated-photovoltaic-)
- Louwen, A., Sark, W. G., Faaij, A. P., & Schropp, R. E. (2016). *Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development*. Hämtat från Nature Communications: <https://doi.org/10.1038/ncomms13728>
- Malmqvist, T., Erlandsson, M., Francart, N., & Kellner, J. (2018). *Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus*. Hämtat från Byggföretagen: <https://byggforetagen.se/app/uploads/2020/01/Minskad-klimatp%C3%A5verkan-fr%C3%A5n-flerbostadshus.pdf>
- Midsummer. (den 05 06 2019). *Midsummers solpaneler nästan tio gånger mer miljövänliga än marknadens vanligaste solpaneler*. Hämtat från Midsummer: <https://news.cision.com/se/midsummer/r/midsummers-solpaneler-nastan-tio-ganger-mer-miljovanliga-an-marknadens-vanligaste-solpaneler,c3127974>
- Midsummer. (u.d.). *MIDSUMMER WAVE*. Hämtat från [https://midsummersolarroofs.se/wp-content/uploads/2021/01/Produktblad-WAVE-SWE\\_compressed.pdf](https://midsummersolarroofs.se/wp-content/uploads/2021/01/Produktblad-WAVE-SWE_compressed.pdf)
- Naturvårdsverket. (2020). *Utsläpp av växthusgaser från el och fjärrvärme*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-el-och-fjarrvarme/>
- Olsson, L. (2019). *Faktorer som bör vägas in vid investering av solceller*. Hämtat från [https://goteborg.se/wps/wcm/connect/bd48314a-b1d9-477d-916b-c1fbd8a431c/examensarbete\\_LovisaOlsson\\_slutversion.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-bd48314a-b1d9-477d-916b-c1fbd8a431c-mXGdxvL](https://goteborg.se/wps/wcm/connect/bd48314a-b1d9-477d-916b-c1fbd8a431c/examensarbete_LovisaOlsson_slutversion.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-bd48314a-b1d9-477d-916b-c1fbd8a431c-mXGdxvL)
- Peter Kovacs, RISE. (2019). *Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system*. Hämtat från Energimyndighet: <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/tester/marknadsoversikt-for-solcellsmoduler-vaxelriktare-infastningsanordningar-och-kompletta-system-191121-signerad.pdf>

- Solcellskollen. (2019). *dags att lägga om taket vi går igenom när takintegrerade solpaneler lämpar sig och när de inte gör det*. Hämtat från <https://www.solcellskollen.se/blogg/dags-att-lagga-om-taket-vi-gar-igenom-nar-takintegrerade-solpaneler-lampar-sig-och-nar-de-inte-gor-det>
- Solcellskollen. (2020). *Vilken lutning och väderstreck är bäst för solceller?* Hämtat från <https://www.solcellskollen.se/vanliga-fragor/vilken-lutning-och-vaderstreck-ar-bast-for-solceller>
- SolTech Energy. (2019). *Kan solceller vara ett tak?* Hämtat från [https://energibyggnarna.se/wp-content/uploads/2019/10/SolTech\\_ShingEL\\_05042018-WEBB.pdf](https://energibyggnarna.se/wp-content/uploads/2019/10/SolTech_ShingEL_05042018-WEBB.pdf)
- SolTech Energy. (2019). *SolTech ShingEl Den unika takpannan som producerar el*. Hämtat från [https://energibyggnarna.se/wp-content/uploads/2019/10/produktblad\\_ShingEL\\_ny\\_WEBB.pdf](https://energibyggnarna.se/wp-content/uploads/2019/10/produktblad_ShingEL_ny_WEBB.pdf)
- Svensk Solenergi. (den 15 06 2018). *Solel och Klimatpåverkan*. Hämtat från <https://www.svensksolenergi.se/om-oss/arkiv--remissvar-skrivelser-etc>
- Svenska kraftnät. (den 21 08 2019). *Krafttransformatorer och shuntreaktorer - Förslag på förlustvärdering för Svenska kraftnät*. Hämtat från <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2020/forslag-pa-forlustvardering-tf-ns-2019-09-09.pdf>
- SWEDENSOL. (u.d.). *Lönsamhet / Återbetalningstid*. Hämtat från <http://www.swedensol.se/lonsamhet-%C3%A5terbetalningstid-solceller>
- Vattenfall. (u.d.). *SingEl soltak*. Hämtat från <https://www.vattenfall.se/solceller/soltak/shingel/>
- Vattenfall. (u.d.). *Soltak - integrerade solceller för en stilren känsla*. Hämtat från Vattenfall: <https://www.vattenfall.se/solceller/soltak/>
- Vlassopoulou, E. (2019). *Urban form and sustainability : Comparison between low-rise “garden cities” and high-rise “compact cities” of suburban areas (Dissertation)*. Hämtat från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-260495>
- Vlassopoulou, E. (2020). *Trädgårdsstäder och hållbarhet: Bostadssektorns LCA, känslighetsanalys*. Stockholm.
- Vlassopoulou, E. (2021). *Trädgårdsstäder VS kompakta städer - kompletteringar*.
- Vlassopoulou, E. (2021). *Trädgårdsstäder VS kompakta städer - Kompletteringar*.
- Wallhagen, M., Glaumann, M., & Malmqvist, T. (2011). Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change-Case study on an office building in Sweden. *Building and Environment, Vol. 46 (10)*, ss. 1863-1871.
- Yang, J., & Zou, P. X. (2016). Building integrated photovoltaics (BIPV): Costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy. *International Journal of Construction Management 16 (1)*, 39-53. Hämtat från Building integrated photovoltaics (BIPV): Costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy
- Zhang, T., Wang, M., & Yang, H. (2018). A Review of the Energy Performance and Life-Cycle Assessment of Building-Integrated Photovoltaic (BIPV) Systems. *Energies*.

Omslagsbild: <https://www.eon.se/solceller/hur-fungerar-solceller/solcellstak>

## **Analyser, utredning och innovation för en hållbar framtid**

**Anthesis Enveco AB** är ett konsultföretag med rötterna i forskningsvärlden. Vi är ett växande företag med ca 15 medarbetare i nuläget. Vi tillhör koncernen Anthesis Group som har verksamhet i 16 länder och totalt ca 500 medarbetare.

Vi erbjuder tjänster inom områdena miljöekonomi, resursekonomi, hållbara energisystem och hållbara städer. Inom dessa områden erbjuder vi såväl strategisk rådgivning som affärsutveckling, analys, utredning samt forskning.

Vi har både bred och djup kunskap inom samhällsekonomiska analyser, social hållbarhet och innovationsupphandling m.m.

Vidare har vi mycket stor erfarenhet av projekt- och processledning av multidisciplinära projekt.

Vi har kontor i Stockholm och Göteborg men åtar oss uppdrag inom hela Sverige och internationellt.

### **Anthesis**

Barnhusgatan 4, 111 23 Stockholm

Kyrkogatan 30, 411 15 Göteborg

[anthesis.se](http://anthesis.se)

[anthesisgroup.com/about/europe/sweden](http://anthesisgroup.com/about/europe/sweden)