

Solenergipotentialen för Blekinges bebyggelse enligt två framtids-scenarier



Rapport: 2014:10

Rapportnamn: Solenergipotentialen för Blekinges bebyggelse enligt två framtidsscenarier

Utgåva: Endast publicerad på webben

Utgivare: Länsstyrelsen Blekinge län, 371 86 Karlskrona.

Hemsida: www.lansstyrelsen.se/blekinge

Dnr: 420-257-2014

ISSN: 1651-8527

Författare: David Lingfors och Joakim Widén, Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala Universitet.

Kontaktperson: Cecilia Näslund; cecilia.naslund@lansstyrelsen.se

Foto/Omslag: Mostphotos.

Länsstyrelsen rapporter: www.lansstyrelsen.se/blekinge/Publikationer

UPPSALA UNIVERSITET
Institutionen för teknikvetenskaper
Fasta tillståndets fysik
Built Environment Energy Systems Group

Solenergipotentialen för Blekinges bebyggelse enligt två framtidsscenarier

David Lingfors
Joakim Widén

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	2
Sammanfattning	3
1. Inledning	4
1.1 Syfte och frågeställningar	5
1.2 Avgränsningar	5
1.3 Rapportens disposition	6
2. Metod	7
2.1 Beräkning av tillgängliga takytor och solinstrålning	7
2.1.1 Beräkning utifrån fastighetskartans byggnadsskikt	7
2.1.2 Kompletterande beräkning utifrån LiDAR-data	9
2.2 Beräkning av realiserbar potential	10
2.2.1 Typbyggnader	10
2.2.2 Solcells- och solvärmesystem	11
2.3 Uppskattning av arbetstillfällen	11
3. Data och antaganden	12
3.1 Solinstrålningsdata	13
3.2 Byggnadsdata	14
3.3 LiDAR-data	16
3.4 Energianvändningsstatistik	17
3.5 Scenarier	17
3.5.1 Antaganden för scenario A	17
3.5.2 Antaganden för scenario B	18
4. Resultat	20
4.1 Byggnads- och takytor	20
4.2 Solinstrålning mot takytorna	23
4.3 Jämförelse med LiDAR-data	25
4.3.1 Jämförelse mellan högupplösta och lågupplösta data	25
4.3.2 Jämförelse mellan beräkningar utifrån fastighetskartan och utifrån LiDAR-data	27
4.4 Genomsnittliga typbyggnader	29
4.5 Realiserbar potential	31
4.6 Arbetstillfällen	34
5. Diskussion	36
6. Slutsatser	37
Referenser	38
Appendix A	41

Sammanfattning

Under de senaste åren har det skett en mycket snabb utbyggnad av solenergi i bebyggelsen i många länder, bland annat i Tyskland, Italien och Spanien. I Sverige har solenergi spelat en mindre betydande roll på grund av låga elkostnader från vatten- och kärnkraft. Under de senaste 2-3 åren har dock marknaden börjat röra på sig även här (se Figur 1). För att möta de tuffa klimatmål som satts upp i Sverige och EU är det viktigt att bedöma vilken potential olika typer av energitillförsel har, däribland solenergi. Den här studien är gjord på uppdrag av Länsstyrelsen i Blekinge och syftar till att bedöma den realiserbara potentialen för solenergi på taktytor i Blekinge län med utgångspunkt i två scenarier (ett för relativ närtid och ett långtidsscenario). Både potentialen för solel och solvärme har beräknats, men där solvärme har bedömts ha en låg potential begränsad till småhus.

Potentialen är uppskattad med hjälp av fastighetskartan, där fastigheterna är indelade utifrån ändamål (småhus, flerbostadshus etc.). I scenario A, där energianvändningen antas vara begränsande för dimensioneringen av anläggningarna, har energianvändningsstatistik använts för att ta fram typhus samt för att beräkna den dimensionerande storleken för solenergianläggningarna för respektive typhus, både vad gäller solel och solvärme. Användbar takyta har också beräknats utifrån ett antal fysiskt begränsande faktorer. I scenario B antas inte energianvändningen dimensionerande på grund av sjunkande priser på solceller, vilket innebär att tillgängliga taktytor blir begränsande i stället.

Resultaten visar att det finns ungefär 17 km² tillgänglig takyta för solenergi. Den realiserbara potentialen bedöms vara 0.45 TWh i scenario A samt 1.2 TWh i scenario B. Detta kan jämföras med elkonsumtionen i Blekinge län som uppgick till 1.6 TWh 2011.

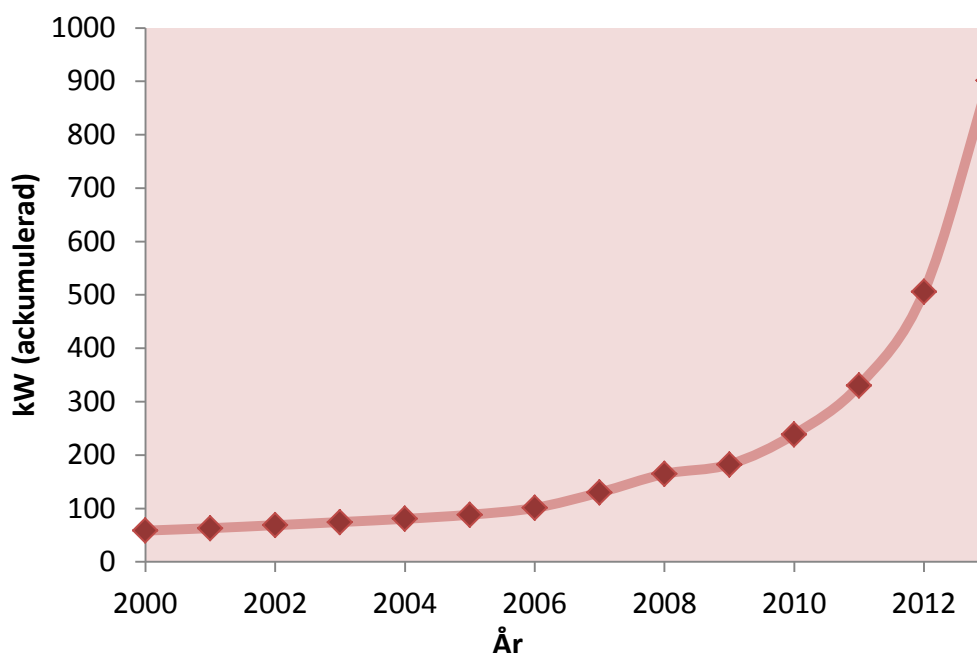
En jämförelse med en alternativ metodik har också gjorts, där så kallad LiDAR-data nyttjas för att skapa en 3D-modell av bebyggelsen och där solinstrålningen sedan beräknas i GIS. Den alternativa metodiken ger jämförbara resultat med metodiken som använts här. Den är speciellt användbar när ett mindre område studeras som ett kvarter eller till och med en enskild byggnad för att mer i detalj specificera var potentiella solenergianläggningar kan placeras, i synnerhet om högupplöst LiDAR-data finns att tillgå.

En omfattande utbyggnad genererar också många nya arbetstillfällen. Uppskattningar har gjorts baserat på typiska arbetsinsatser beroende på den installerade anläggningens storlek. I scenario A genereras ca 2 500 årsarbetskrafter och i scenario B ca 6 500 årsarbetskrafter.

1. Inledning

En av många möjliga åtgärder för att minska klimatpåverkan från bebyggelsen är ökad användning av solenergi. Det kan röra sig om elproduktion med solceller eller värmeproduktion med solfångare. Gemensamt för systemen är att de vanligtvis appliceras på existerande byggnadsytor. Bebyggelsen är väl lämpad för utbyggnad av solcells- och solvärmesystem eftersom det förutom existerande byggnadsytor även finns närhet till energibehovet och utbyggda eldistributionsnät.

Utnyttjandet av solenergi för elproduktion i bebyggelsen har ökat kraftigt under de senaste två decennierna. Vid 90-talets början var den sammanlagda toppeffekten hos solcellssystem runtom i världen runt 100 MW, medan den vid slutet av 2012 var ungefär 100 GW, dvs 1000 gånger högre (IEA-PVPS 2013). I Sverige har installationerna också ökat kraftigt under de senaste åren, till följd av satsningar på investeringsstöd till solcellssystem. Detta gäller även Blekinge, vilket visas i Figur 1.



Figur 1. Solcellsinstallationer i Blekinge län 2000-2013, beräknad utifrån utbetalda bidrag i Energimyndighetens statistik.

För att kunna avgöra i vilken utsträckning solenergi kan komma att bidra till bebyggelsens energiförsörjning i framtiden är det viktigt att bedöma hur stor den maximala och realiserbara potentialen för solcells- och solvärmesystem är. Detta beror framför allt på hur stora de tillgängliga byggnadsytorna är, men också vilka förutsättningar som finns när det gäller systemkostnader och regelverk, vilka kan komma att avgöra hur systemen dimensioneras för olika byggnader.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med den här rapporten är att beräkna potentialen för solcells- och solvärmesystem på taktytor i Blekinges bebyggelse under olika förutsättningar som kan antas gälla i framtiden. Vi utgår från två scenarier; ett scenario (A) där utbyggnaden i huvudsak begränsas av energianvändningen i byggnaderna och ett scenario (B) där så ej är fallet. Även om inga exakta tidsangivelser görs kan scenario A antas gälla någon gång 2020-2030, samt scenario B längre fram i tiden, kanske kring 2050. Syftet har brutits ned i följande delmål:

1. Beräkna tillgängliga taktytor som är möjliga att ta i anspråk för solcells- och solvärmesystem på olika typer av byggnader.
2. Beräkna potentiell årlig solinstrålning mot de tillgängliga byggnadsytorna.
3. Beräkna potentiell årlig produktion av solel och solvärme från system applicerade på byggnadsytorna.
4. Göra en uppskattning av hur stor den realiserbara potentialen för byggnadsanknuten solel och solvärme är för scenario A respektive scenario B för olika byggnadstyper, givet olika framtidsscenarier.
5. Översiktligt beskriva tekniska och andra utmaningar med att integrera de potentiella volymerna solel och solvärme i bebyggelsen.

En grov uppskattning av solenergipotential på byggnader kan göras mycket enkelt, genom att multiplicera uppskattad takyta med genomsnittlig solinstrålning per år och m^2 . Det är dock viktigt att nyansera den typen av potentialbedömningar utifrån olika begränsande faktorer, t.ex. att taktytor med olika orientering har olika energimässig avkastning, att energianvändningen i olika typer av byggnader kan begränsa dimensioneringen av systemen, m.m. Dessa begränsningar ger vad vi kallar den *realiserbara potentialen*, som kan vara betydligt lägre än den maximala potentialen, men mer realistisk under givna förutsättningar.

1.2 Avgränsningar

En viktig avgränsning är att rapporten enbart undersöker *potentialer* och inte gör några prognoser. En prognos förutsäger ett specifikt utfall bland många möjliga, medan potentialen visar det maximalt möjliga. En potentialberäkning är speciellt lämplig i strategiarbete eftersom den visar vad som är möjligt under givna förutsättningar och inte följer en viss given utvecklingslinje, vilket en prognos gör. När vi talar om potential för solenergisystem för scenario A respektive scenario B avses alltså *maximal realiserbar potential under vissa tekniska och ekonomiska förutsättningar*, dvs om alla potentiella system installeras. Rapporten uttalar sig alltså inte om det förväntade *faktiska* antalet installationer.

Ett antal övriga avgränsningar har gjorts:

- De analyserade byggnadstyperna är begränsade till *takytor* eftersom det är de som med någorlunda god säkerhet kan uppskattas från tillgänglig data om bebyggelsen. Fasadytor är svårare att uppskatta, har fler hinder för montering av system och är i allmänhet mer utsatta för skuggning.
- De *solenergisystem* som antas är solcellssystem och plana solfångare (tappvarmvattensystem och kombisystem) för applikation på tak. Någon närmare specificering av olika tekniker har inte gjorts och är inte nödvändig med den aggregationsnivå som beräkningarna görs på.
- Byggnaderna som beräkningarna av takyta utgår från är begränsade till de byggnader som finns med i Lantmäteriets fastighetskarta.

1.3 Rapportens disposition

I avsnitt 2 redogörs för den metod som har använts för att beräkna tillgängliga takytor utifrån byggnadsskiktet i Lantmäteriets fastighetskarta. I avsnitt 3 redovisas de data som har använts för beräkningarna. Resultaten redovisas i avsnitt 4 och diskuteras i avsnitt 5. Slutsatser dras i avsnitt 6.

2. Metod

Det finns olika metoder för att uppskatta solenergipotential på byggnadsytor. Den metod som har använts här utgår från översiktliga data över olika bebyggelsetyper för att, tillsammans med olika kvalificerade antaganden om parametrar som saknas i generell statistik, beräkna solenergitillgången på byggnader. Liknande metoder har använts för att bedöma solenergipotentialen för Sveriges bebyggelse av VBB (1983) och Kjellsson (1999, 2000) samt för Dalarnas läns bebyggelse av Widén och Weiss (2012).

Under senare år har olika metoder utvecklats för beräkning av solenergipotential utifrån GIS-data över bebyggelsen (Jonsson & Lindberg 2011, Meteotest 2014a). Genom att utnyttja LiDAR-data (Light Detection And Ranging) kan detaljerade höjdmodeller över bebyggelsen konstrueras och användas för att beräkna solinstrålning med hänsyn till skuggning från omgivande byggnader, växtlighet, m.m. De beräkningar som krävs för att ta fram den årliga solinstrålningen mot en yta är ofta krävande eftersom många separata beräkningar med olika skuggförhållanden måste göras. För en byggnad eller ett bostadsområde kan de göras i detalj, men för ett helt län med tiotusentals byggnader måste mer beräkningseffektiva eller förenklade metoder användas.

I den här rapporten gör vi därför beräkningarna enligt den mer förenklade metod som används i Widén och Weiss (2012), men vi gör också detaljerade beräkningar utifrån LiDAR-data för en mindre andel av byggnadsbeståndet i länet för att bedöma rimligheten i resultaten från den förenklade metoden. En viktig skillnad mot de tidigare studierna är också att mer tillförlitliga data över t.ex. byggnadsorientering och byggnadsstorlek har kunnat utnyttjas genom att fastighetskartan och GIS-beräkningar har använts istället för statistik över taxerade fastigheter.

2.1 Beräkning av tillgängliga takytor och solinstrålning

2.1.1 Beräkning utifrån fastighetskartans byggnadsskikt

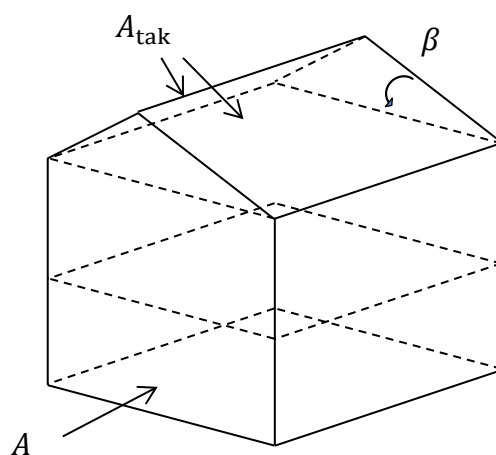
Beräkningarna av tillgängliga takytor utgår från byggnadsskiktet i Lantmäteriets fastighetskarta (se vidare avsnitt 3.2). Fastighetskartan har analyserats i ArcGIS (ESRI 2014).

Byggnadsskiktet visar byggnadernas utbredning som polygoner på horisontalplanet. Byggnadspolygonernas area kommer vi fortsättningsvis att benämna som deras *grundarea*. Observera att detta inte är samma som byggnadernas golvarea eftersom kartan visar byggnadens utbredning ovanifrån, utan hänsyn till antalet våningsplan. Från fastighetskartan beräknas den totala grundarean i respektive byggnadskategori, som ett underlag för att uppskatta den totala takytan. Vissa intressanta byggnadskategorier, t.ex. lantbruk och fritidshus, framgår inte explicit från fastighetskartan utan uppskattas på andra sätt (se vidare avsnitt 3.2).

Byggnaderna har olika former, även om rektangulär form är vanligt förekommande. För takytornas tredimensionella form finns inga uppgifter från kartan, så för dessa måste antaganden om takens lutningsvinkel och orientering göras. För att förenkla beräkningarna antas att alla byggnader med lutande tak har en ideal form enligt Figur 2. Med de parametrar som visas i figuren beräknas takytan som

$$A_{\text{tak}} = \frac{A}{\cos \beta} \quad (1)$$

där A är grundarean och β är takets lutningsvinkel. Beräkningarna ger den totala ideala takytan. I praktiken begränsas takytan av olika hinder som takfönster och skorstenar. Vissa ytor skuggas även till stor del och är olämpliga för montering av solenergisystem. Schabloner för reduktion av den ideala takytan (se avsnitt 3.2) används för att beräkna den totalt tillgängliga takytan.

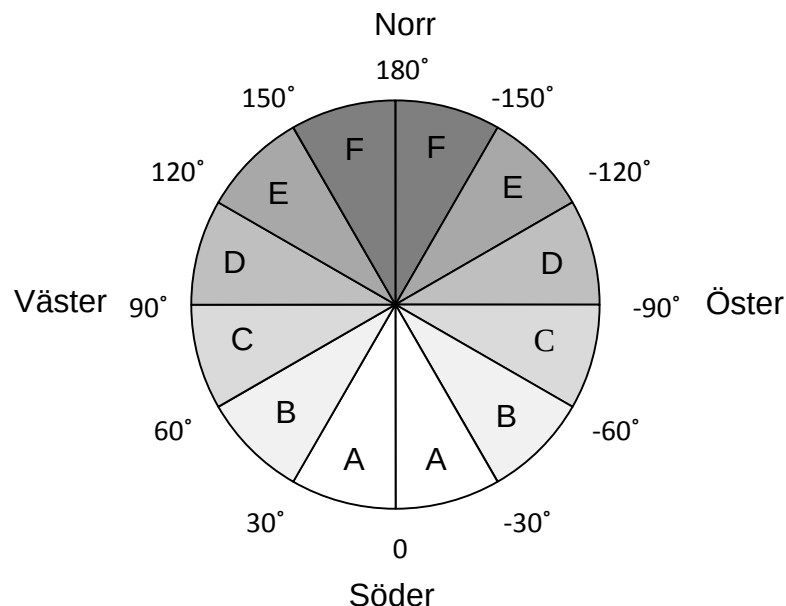


Figur 2. Den idealbyggnad som antas i beräkning av takyta (A_{tak}) från statistik över total grundarea för en byggnad (A). Den uppskattade takytan beror på lutningsvinkeln för taket (β).

Byggnadernas orientering i olika väderstreck kan beräknas från fastighetskartan, vilket är en förbättring jämfört med tidigare potentialberäkningar (Kjellsson 1999, 2000, Widén och Weiss 2012) där olika antaganden har gjorts. Beräkningen görs i ArcGIS med funktionen *Calculate Polygon Main Angle*, som ger den dominerande orienteringsvinkeln hos den längsta samlingen av polygonsegment som har liknande orientering. En rektangulär byggnad får t.ex. samma orientering som långsidorna. Ett rimligt antagande är att lutande tak är orienterade i samma riktning som byggnadens långsidor. Därför har takytorna antagits ha samma orienteringsvinkel som beräknas för byggnaderna.

Byggnadernas orientering avgör, tillsammans med taklutningen, den totala solinstrålningen mot taket på årsbasis. Det är rimligt att anta att alla takytor inte kommer att tas i anspråk för solenergitillämpningar beroende på för låg energimässig avkastning. För att det i beräkningen av realiserbar potential ska vara möjligt att ta

hänsyn till detta delas byggnaderna in i ett antal kategorier med olika genomsnittlig årlig solinstrålning. Klassificeringen av olika taktytor, indelade i 30°-intervall visas i Figur 3. Kategori A, där taken ligger inom 30° från söder, har högst årlig instrålning och kategori F har lägst.



Figur 3. Klassificering av taktytor utifrån orientering i olika väderstreck.

Årlig solinstrålning mot taktytorna beräknas från timdata över solinstrålning mot horisontalplanet. Detta görs med standardmetoder för omvandling av diffus och direkt solinstrålning från horisontalplanet till ett godtyckligt lutande plan (Duffie och Beckman 2006). I beräkningarna antas en årlig genomsnittlig markreflektans på 20 %, vilket är ett rimligt värde för byggd miljö. Beräkningsmetoderna har även beskrivits av Widén (2010) och Widén (2011).

2.1.2 Kompletterande beräkning utifrån LiDAR-data

Lantmäteriet arbetar sedan 2009 med att upprätta en ”ny nationell höjdmodell” (NNH) med ett medelfel på <0.5 m för ett 2 m grid (Lantmäteriet, 2014). Detta görs genom att Sverige laserskannas från luften, vilket genererar LiDAR-data som kan importeras i ett geografiskt informationssystem (GIS), exempelvis ArcGIS (ESRI, 2014). I ArcGIS kan en digital byggnadsmodell, eller ”digital elevation model” (DEM) tas fram utifrån LiDAR-datat, det vill säga en modell som beskriver byggnadernas topografi. På så sätt kan lutning och orientering av taktytor bestämmas genom ArcGIS inbyggda verktyg *Slope* respektive *Aspect*. Genom verktyget *Area Solar Radiation* kan den årliga solinstrålningen bestämmas på taktytorna. Upplösningen för LiDAR-datat är dock för låg för att metoden ska ge en helt tillförlitlig bild av solinstrålningen mot taktytor, även om felet blir mindre när ett större område undersöks jämfört mot en enskild byggnad.

För vissa tätorter finns dock LiDAR-data med mycket hög upplösning. På uppdrag av Uppsala kommun har en laserskanning utförts på mycket låg höjd över Uppsala tätort, vilket genererat LiDAR-data med ett medelavstånd på 0.14 m mellan varje punkt. Detta kan jämföras med det lågupplösta LiDAR-datat som har ett punktavstånd på 0.94 m. Genom att jämföra den totala instrålningen för ett område i Uppsala då låg- respektive högupplöst LiDAR-data används kan tillförlitligheten hos det lågupplösta datat uppskattas för solpotentialberäkningar (se vidare diskussion i avsnitt 4.3). Upplösningen för solinstrålningsberäkningarna är 2 m respektive 0.4 m för låg- och högupplöst LiDAR-data.

2.2 Beräkning av realiserbar potential

Realiserbar potential beräknas genom att den maximala potentialen begränsas på olika sätt. Till exempel tas inte alla taktytor med på grund av för låg energimässig avkastning, byggnadernas energianvändning kan vara begränsande för dimensioneringen av solenergisystemen, och omvandlingen av solinstrålning till värme och el sker med en viss verkningsgrad. Beräkningen av realiserbar potential sker med hjälp av att solenergisystem dimensioneras för genomsnittliga typbyggnader som representerar byggnadsbeståndet i respektive kategori. Resultaten för typbyggnaderna skalas sedan upp till hela byggnadsbeståndet.

Det är viktigt att notera att det finns många osäkerheter i beräkningarna, t.ex. att byggnadsstatistiken när det gäller både byggnadsbeståndet och dess energianvändning inte är heltäckande. För den realiserbara potentialen är det alltså mer en fråga om storleksordningar än exakta siffror.

2.2.1 Typbyggnader

Som underlag för beräkningen av realiserbar potential tas genomsnittliga typbyggnader fram för småhus, flerbostadshus och lokaler, baserade på tillgänglig statistik och antaganden. Beräkningarna av energibesparing med solvärmesystem och elproduktion från solcellssystem görs sedan för dessa byggnader och beräkningsresultaten skalas upp till hela eller en del av byggnadsbeståndet i respektive kategori genom att resultaten för typbyggnaden multipliceras med det totala antalet berörda byggnader. Fördelen med detta tillvägagångssätt är att det är beräkningseffektivt och transparent och att det är enkelt att kontrollera att antagna värden och resultat är rimliga. Osäkerheten i grundläggande antaganden bedöms också vara så stora att en beräkning för enskilda fastigheter inte skulle vara mer tillförlitlig.

De data som behövs för typbyggnaderna är:

- Tillgänglig takyta för solcells- och solvärmesystem (m^2)
- Antal lägenheter (för flerbostadshus)
- Varmvattenbehov (MWh/år)
- Total energi till uppvärmning (MWh/år)

- Hushålls/verksamhets/fastighetsel (MWh/år)

Dessa uppgifter beräknas från fastighetsdata, energianvändningsstatistik och kvalificerade antaganden. Se vidare avsnitt 3.4.

2.2.2 Solcells- och solvärmesystem

Elproduktion från *solcellssystem* beräknas som

$$E_{\text{solel}} = A_{\text{panel}} G \eta_{\text{modul}} \eta_{\text{kompl}} \quad (2)$$

där A_{panel} är solpanelens yta, G är den årliga solinstrålningen mot ytan, η_{modul} är verkningsgraden för solcellsmodulerna och η_{kompl} är en kompletterande verkningsgrad som tar hänsyn till övriga komponenter (t.ex. växelriktare) och förluster i hela systemet. I beräkningarna antas genomgående att $\eta_{\text{modul}} = 15 \%$ och $\eta_{\text{kompl}} = 90 \%$.

Solvärmesystem dimensioneras vanligtvis för att tillföra energi till byggnadens interna uppvärmningssystem och bör ses som en energibesparingsåtgärd. Solvärmesystem dimensioneras mot värmebehovet i en byggnad och en successivt större solfångare ger en allt mindre ökning av energibesparingen. För beräkningarna antas, liksom i Widén och Weiss (2012), som en schablon att det för ett tappvarmvattensystem för ett genomsnittligt småhus krävs 4 m^2 solfångare som sparar 50% av tappvarmvattenbehovet. Kombisystem antas ha en optimal storlek på 8 m^2 och spara 10% av det totala uppvärmningsbehovet (tappvarmvatten plus rumsuppvärmning). Uppskattningarna är helt i överensstämmelse med tumregler vid dimensionering för installatörer av solvärmesystem (Bygghälsningsrådet 1998). För att nå samma besparing i andra orienteringar än söderut krävs en större solfångaryta. I takkategori B antas att solfångarna skalas upp med en faktor 1.2 och i C med 1.7 (Widén och Weiss 2012).

2.3 Uppskattning av arbetstillfällen

En omfattande utbyggnad av solenergi kommer att generera ett betydande antal arbetstillfällen. Antalet arbetstimmar har uppskattats i relation till storleken på anläggningen (installerad effekt)¹. Figur 4 visar antalet arbetstimmar per installerad kW som funktion av storleken på anläggningen. Antalet arbetstimmar för byggnadstyperna småhus, flerbostadshus, lokaler och industrier har beräknats utifrån de typbyggnader som finns beskrivna i avsnitt 3.2. Solcellsmodulerna har antagits ha en verkningsgrad på 15% , vilket innebär en märkeffekt på 150 W/m^2 . Märkeffekten multiplicerat med den installerbara takytan ger storleken på anläggningen för varje typbyggnad. Antalet arbetstimmar för varje anläggningsstorlek kan läsas av i Figur 4 och multipliceras med totala antalet hus för vilka en solcellsanläggning antas realiserbar inom varje

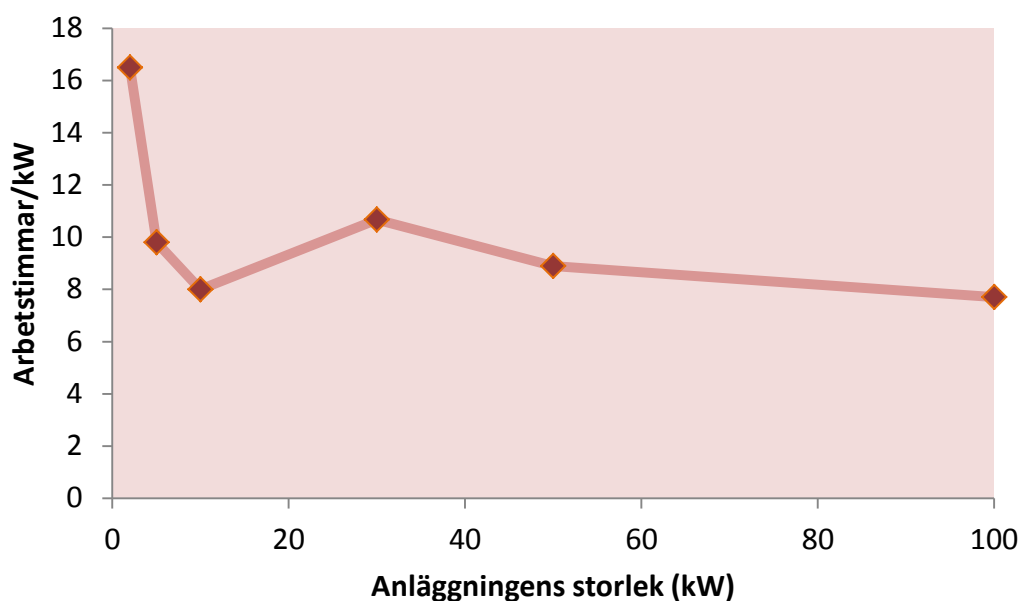
¹ David Larsson, Direct Energy, mailkontakt, 2014-03-25.

byggnadstyp (läs mer om vilka byggnader som antas vara intressanta för solenergiinstallationer i avsnitt 3.5).

Noterbart är att antalet arbetstimmar når ett lokalt minima för anläggningar på ca 10 kW. Detta beror på att det upp till 10 kW inte krävs någon projektering, vilket gör arbetsprocessen effektivare. Däremot blir ofta systemkostnaderna (solpaneler, växelriktare etc.) lägre för större anläggningar vilket motiverar större projekt.

Osäkerheten vid uppskattningen av arbetstimmarna för att installera solenergi på kategorin "övriga byggnader" inklusive lantbruksbyggnader som inte är bostadshus är stor eftersom storlek och användningsområde varierar kraftigt mellan byggnaderna. Detta bör beaktas när antalet arbetstimmar summeras över de olika byggnadstyperna.

Vidare antas inte antalet arbetstimmar lägre i scenario B, även om en stor utbyggnad av solenergi förmodligen skulle medföra en effektiviserad arbetsprocess på grund av den samlade erfarenheten hos försäljare, projektörer och installatörer.



Figur 4. Antalet arbetstimmar per installerad kW som funktion av anläggningens storlek i kW.

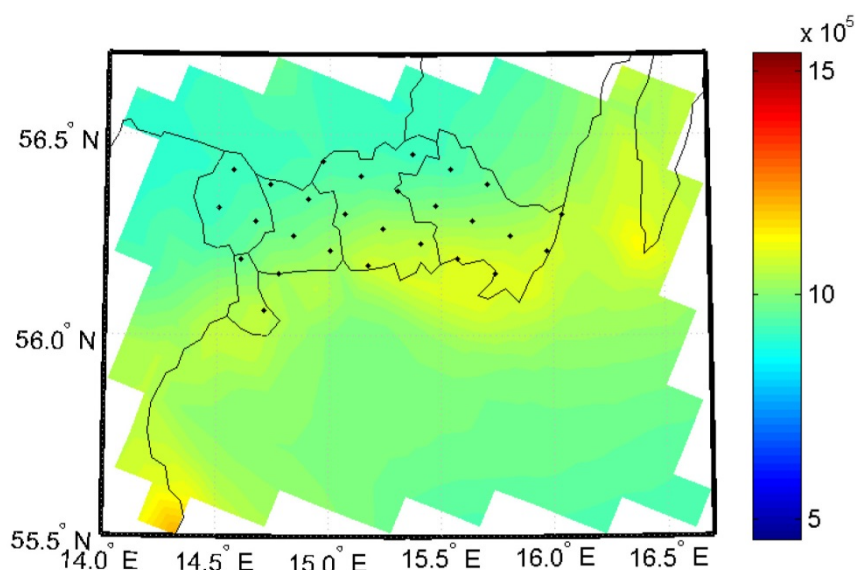
3. Data och antaganden

I det här avsnittet presenteras de solinstrålnings- och byggnadsdata som har använts i potentialberäkningarna, liksom övriga kompletterande data och antaganden. Avslutningsvis presenteras antaganden kring vilka förutsättningar som antas gälla för scenarierna A och B.

3.1 Solinstrålningsdata

Som indata till beräkningarna av årlig solinstrålning mot byggnadsytor med olika orientering och lutning används solinstrålningsdata för Karlskrona (57.50 °N, 15.58 °E), beräknade med klimatdatabasen och beräkningsverktyget Meteonorm 5.1 (Meteotest 2014b). Meteonorm ger direkt och diffus solinstrålning mot horisontalplanet på timbasis över ett år, baserat på långtidsmätningar av solinstrålning från närliggande meteorologiska stationer. Detta gör att dessa data bör vara mer representativa för en längre tidsperiod än data för ett givet år.

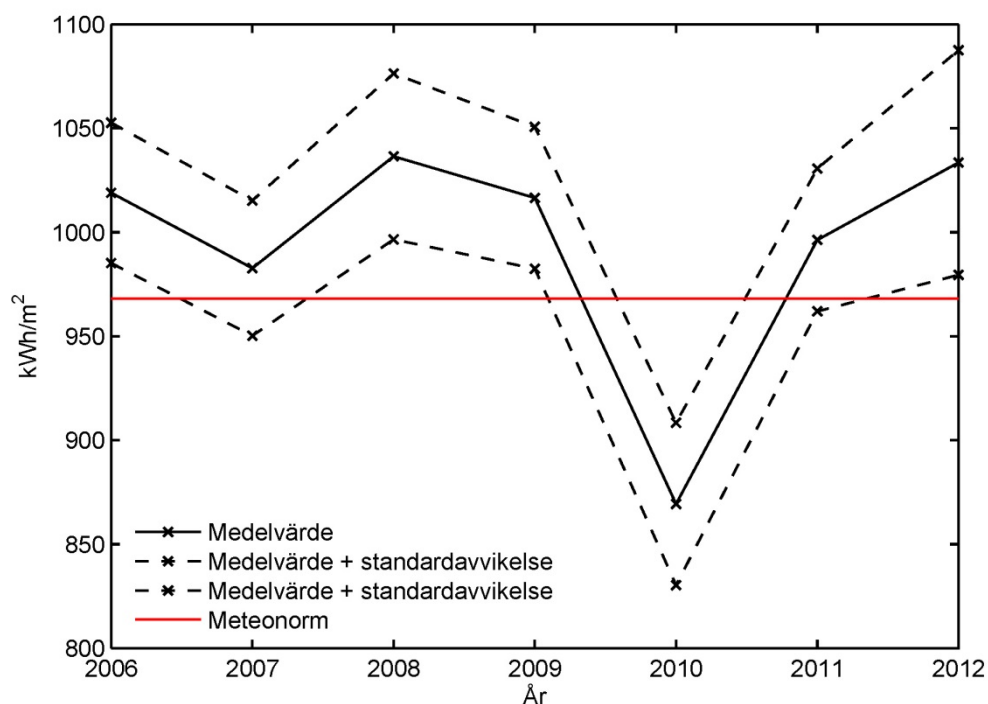
För enkelhets skull används alltså solinstrålningsdata för en plats. För potentialbedömningen är det viktigt att denna plats är representativ både för länets bebyggelse som helhet och över längre tid. Figur 5 visar årlig solinstrålning mot horisontalplanet från SMHI:s beräkningsmodell STRÅNG (SMHI 2014), som har 27 beräkningspunkter utspridda över Blekinge. Från kartan är det tydligt att solinstrålningen är som högst längs med kusten. En jämförelse med bebyggelsens utbredning visar (se Figur 5) att även den är koncentrerad till kusterna, varför solinstrålningsdata för Karlskrona bör vara någorlunda representativa för bebyggelsen som helhet.



Figur 5. Nätverkspunkter i STRÅNG för Blekinge län och interpolerad årlig solinstrålning mellan punkterna i Wh/m², år 2012.

Figur 6 visar en jämförelse mellan årlig solinstrålning över flera år i ett antal STRÅNG-punkter i Karlskrona kommun, och jämför med det använda datat från Meteonorm. Framför allt kan man se att Meteonorm-datat ligger någorlunda nära medelvärdet för STRÅNG-punkterna, men också att variationen mellan olika år är stor i jämförelse med variationen mellan olika platser. Det förefaller alltså vara viktigare att

solinstrålningsdatat är representativt över en längre tidsperiod än från en exakt geografisk plats.

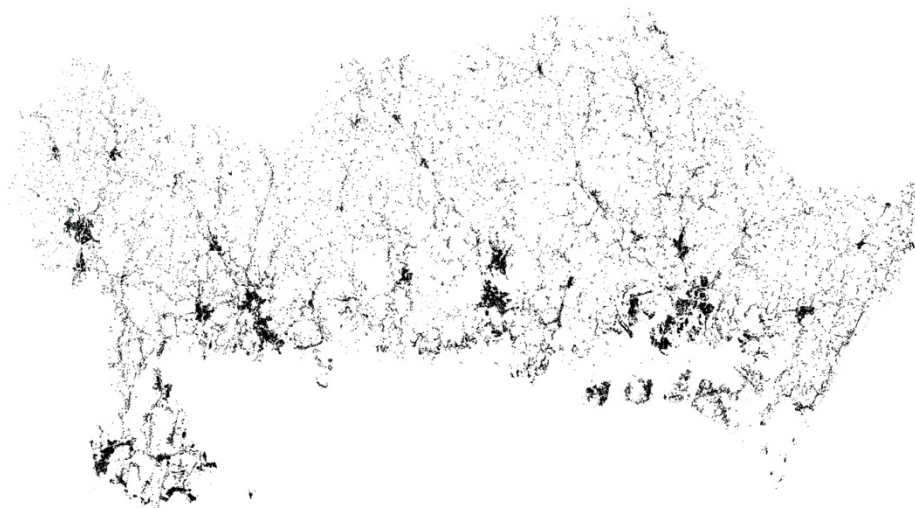


Figur 6. Medelvärde och standardavvikelse för årlig solinstrålning över alla STRÅNG-punkterna i Karlskrona kommun, i jämförelse med den årliga solinstrålningen för Karlskrona från Meteonorm.

3.2 Byggnadsdata

Det huvudsakliga dataunderlaget för bebyggelsen är fastighetskartans byggnadsskikt. Skiktet innehåller de enskilda byggnaderna i länet, klassificerade med en ändamålskod som visar vilken typ av byggnad det rör sig om. Exempel på utdrag ur fastighetskartan visas i Figur 7. Utifrån ändamålskoderna har byggnaderna klassificerats i mer omfattande kategorier: småhus, flerbostadshus, lokaler, industrier och övriga byggnader. Övriga byggnader utgörs till en mindre del av olika ekonomi- och komplementbyggnader, men till största delen av byggnader som hör till någon av de andra huvudkategorierna, t.ex. uthus, garage, carports, sjöbodar, friggebodar, etc. En lista över ändamålskoder och byggnadskategorier finns i Appendix A.

Utöver byggnadskategorierna i fastighetskartan har vissa andra intressanta byggnadskategorier beräknats på annat sätt. Antalet icke-permanentbebodda småhus har uppskattats från SCB:s beräknade bostadsbestånd (SCB 2014). Lantbruksbyggnader utöver bostadshus kan inte heller identifieras från fastighetskartans ändamålskoder. Det finns inte heller någon statistik över antalet avantalet av dessa byggnader i Sverige.



(a)



(b)

Figur 7. Utdrag ur fastighetskartans byggnadsskikt. Alla byggnader i Blekinge län (a) och en del av centrala Karlskrona (b).

Lantbruksfastigheter antas bestå av främst djurstallar och maskinhallar för vilka den totala takytan uppskattats. Takytor för djurstallar har beräknats utifrån statistik från jordbruksverkets årsbok om antalet djurenheter i Blekinge län (Jordbruksverket, 2014), i kombination med det lagstadgade kravet på golvyta per djurenhet (Lantbruksstyrelsen 1982). De djurenheter som har beaktats är nötkreatur, saggor, slaktsvin, hästar,

slaktkycklingar samt får. Golvytan har antagits vara 50 % större än det lagstadgade kravet per djurenhet på grund av biytor såsom gångar och foderlager. För maskinhallar har golvytan uppskattats till 2 m²/ha åkerareal². Taklutningen har antagits vara 45° för både djurstallar och maskinhallar. Vidare definieras dessa byggnader som Lantbruk.

För reduktion av takytor på grund av hinder och skuggning görs samma antaganden som Kjellsson (1999). Kjellsson bygger sina antaganden om hinder på den tidigare studien VBB (1983) där uppskattningar av hinder på olika typer av byggnader studerades med fotografier. Reduktion på grund av skuggning baseras på Kjellsson (1999) som i sin tur baserar sina antaganden på en tidigare schweizisk studie. På grund av avsaknad av mer detaljerade uppgifter används dessa antaganden även här.

Tabell 1. Reduktionsfaktorer för tillgängliga takytor på grund av skuggning och hinder. Samma antaganden som i Kjellsson (1999).

Byggnadstyp	Reduktion pga skuggning (%)	Reduktion pga hinder (%)
Småhus	10	10
Flerbostadshus	15	20
Lokaler	20	20
Industrier	10	20
Lantbruk	10	5
Övriga byggnader	10	10

3.3 LiDAR-data

LiDAR-datat som har använts för att beräkna solinstrålningen på takytor är hämtade från Lantmäteriets portal för geodata för kultur-, utbildnings- och forskningsändamål (Lantmäteriet, 2014). Högupplöst data över stadsdelen Luthagen i Uppsala tätort har tillhandahållits av Uppsala kommun, vilka anlitat Finnmap International OY för själva scanningen. Lågupplöst data har hämtats för samma område i Uppsala samt för hela Olofströms kommun. Skillnader mellan hög- och lågupplöst data studerades för Luthagen i Uppsala för att testa om lågupplöst data kan användas för att beräkna potentialen för solenergi på takytor. Det lågupplösta datat för Olofström användes för att jämföra med den metod som använts för potentialbedömningarna i denna rapport. Punktmedelvståndet för det låg- respektive högupplösta datat var 0.94 m och 0.14 m.

² Cecilia Näslund, Länsstyrelsen i Blekinge, mailkontakt 2014-04-01.

3.4 Energianvändningsstatistik

Kompletterande data för energianvändning i olika typer av byggnader hämtas från olika typer av energistatistik, framför allt från SCB (2002), SCB (2014) samt Energimyndigheten (2013a, b).

3.5 Scenarier

Följande antaganden har gjorts för att bedöma den realiserbara potentialen för scenario A respektive scenario B. De huvudsakliga antagandena gäller vad som är begränsande för utbyggnaden. Systemens dimensionering begränsas av energianvändningen i A men inte i B. Tidpunkterna för när scenarierna kan tänkas gälla är flytande, men som tidigare nämnts kan scenario A antas gälla inom en snar framtid och kunna närma sig realisering omkring 2020-2030, medan scenario B antas vara realiserbart längre fram i tiden, kanske runt 2050. Det är viktigt att återigen påpeka att scenarierna visar den maximala potentialen under dessa förutsättningar och inte faktisk utbyggnad. Lantbruk, vilka definierats i kapitel 3.2 har separerats från posten övriga byggnader för potentialstudierna, eftersom dessa fastigheter identifierats som speciellt intressanta.

3.5.1 Antaganden för scenario A

Byggnadsbeståndet: Scenario A antas realiserbart med dagens tekniska och ekonomiska förutsättningar. Byggnadsbeståndet antas därför vara samma som idag, både i fråga om antal byggnader och energianvändning. Rimligtvis kommer en viss ökning av antalet byggnader och en effektivisering av energianvändningen att ske fram till en eventuell realisering av scenario A eftersom en omfattande utbyggnad tar tid, men de antas ligga inom felmarginalen för övriga antaganden. Kulturmärkta och historiskt skyddade byggnader är svåra att urskilja i fastighetskartan, och är såpass få att de inte särbehandlas, utan antas ingå i övriga byggnader.

Solcellssystem på småhus: Skattereduktion för solcellproduktion antas vara på plats, vilket gör att det är lönsamt att dimensionera solcellssystem för produktion som är ansluten med en säkringsnivå på maximalt 100 A och ger ett överskott motsvarande årsuttaget, dock maximalt 30 MWh/år (Finansdepartementet 2014). Detta antas gälla för både permanentbebodda och icke-permanentbebodda småhus. Det kommer för lönsamheten för systemen att vara viktigt med gynnsamma lägen för solceller, vilket gör att endast takkategori A kommer i fråga.

Solcellssystem på flerbostadshus: För flerbostadshus antas individuella abonnemang och debitering av lägenheternas elanvändning, men en trend verkar vara att allt fler bostadsrättsföreningar övergår till ett gemensamt abonnemang, vilket skulle innebära att takytan blir begränsande. Denna trend antas dock ha begränsad genomslagskraft inom ramen för scenario A, vilket innebär att solcellssystem dimensioneras för att täcka gemensam fastighetsel. Skattereduktion antas även gälla flerbostadshusen, och endast de mest gynnsamma lägena (takkategori A) används.

Solcellssystem på lokaler: För mindre lokaler är det troligtvis möjligt att utnyttja skattereduktionen, men det finns ingen generell statistik över elanvändningen i lokaler som gör att det går att bedöma hur stort överskott som skulle genereras med olika systemstorlekar. Ett rimligt antagande är dock att det är takytan som generellt sett är begränsande för solcellssystemen och inte den egna användningen. Endast takkategori A används.

Solcellssystem på industribyggnader: För industrier är värdet av egen solelproduktion lägre än för andra verksamheter, pga lägre energiskatt på den använda elen. Solceller bedöms därför inte ha en generell realiserbar potential på industrifastigheter i scenario A.

Solvärmesystem: Bedöms ha en potential för alla småhus, som inte är anslutna till fjärrvärmenätet. 2012 var 14 % av Sveriges småhus anslutna till fjärrvärmenätet (Energimyndigheten 2013a). För småhus antas kombisystem, dvs dimensionering efter totalt uppvärmningsbehov (se kapitel 2.2.2 för definition), utom för småhus med direktverkande el, där solvärmesystem för varmvattenuppvärmning antas. Endast takkategori A utnyttjas. I flerbostadshus kom 92 % av energin för uppvärmning och varmvatten från fjärrvärme 2012 och resten eluppvärmda ofta via en värmepump (Energimyndigheten 2013b). En trend är att fler bostadsrättsföreningar väljer att övergå från fjärrvärme till värmepumpslösningar, men detta kommer inte att påverka utbyggnaden av solvärme i flerbostadshus som idag är försumbar. Därför antas det inte finnas någon realiserbar potential för solvärme i flerbostadshus i framtiden. Potentialen för lokaler och industrier är omöjlig att bedöma eftersom ingen generell statistik finns över varmvatten- och värmebehov.

3.5.2 Antaganden för scenario B

Byggnadsbeståndet: Scenario B antas realiserbart längre fram i tiden, runt 2050. Den totala takytan antas därför vara 10 % större än idag, förutom för industribyggnader och lantbruk för vilka takytan antas oförändrad. 10 % är ett försiktigt antagande sett till befolkningsprognoser för Sverige 2050 (+17.6 %, SCB 2013a).

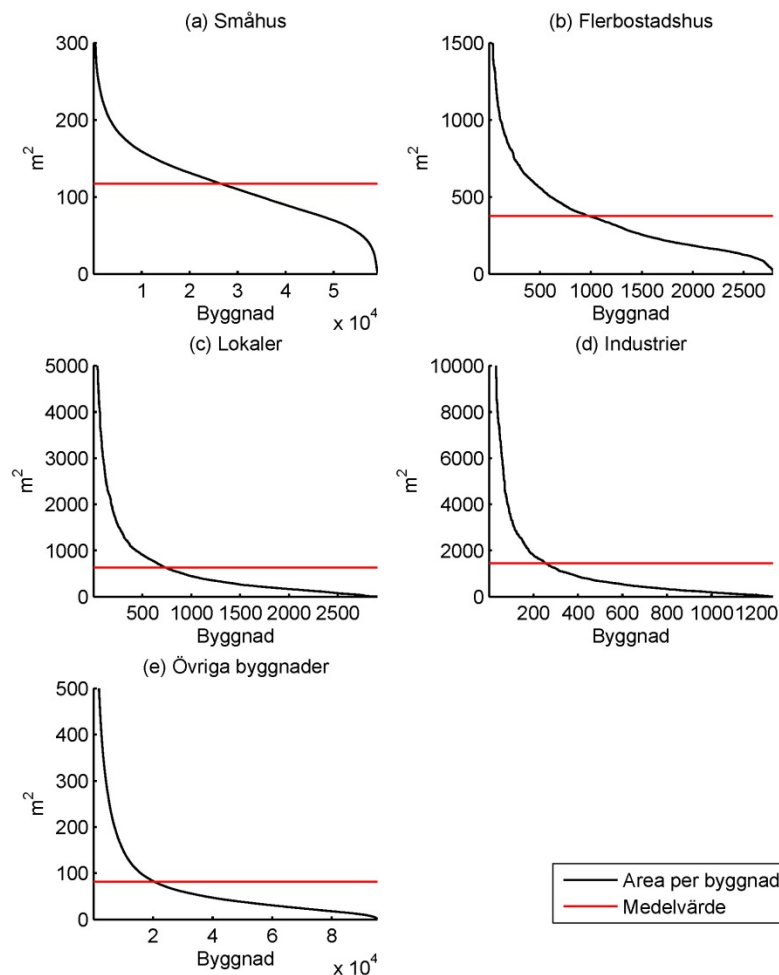
Solcellssystem: I kombination med ökande elpriser och sjunkande priser på solelsanläggningar antas lönsamhet att sälja produktionsöverskott till elspotpris utan subventioneringssystem. Det blir alltså även intressant att installera solel på industribyggnader (hela taket). Energieffektiviseringsåtgärder har därför ingen effekt på den realiserbara potentialen, eftersom takytorna blir begränsande för samtliga byggnadstyper, förutom för icke-permanentbebodda småhus där användningen antas begränsande, därför att de ofta ligger långt från utbyggda nät som klarar överföringen från överproducerad solel, exempelvis på öar i Blekinges skärgård och längs med kusten. Takkategorierna A-C används då maximerad produktion inte antas vara lika kritisk. Det kan till och med bli fördelaktigt att producera i andra vinklar än mot söder för att behovet är större på för- och eftermiddagen.

Solvärmesystem: Bedöms ha en potential för alla småhus, förutom de med fjärrvärme (fortfarande 14 %), men endast för uppvärmning av tappvarmvatten. Tappvarmvattenförbrukning antas vara densamma som idag. Takkategorierna A-C används, vilket kräver något större solvärmeanläggningar för att takkategorierna B och C med en faktor 1.2 respektive 1.7 (Widén och Weiss 2012).

4. Resultat

4.1 Byggnads- och takytor

Total grundarea (dvs arean för byggnadspolygonen i fastighetskartan) togs fram för alla byggnader i respektive byggnadskategori. Resultatet visas i Figur 8, där areorna har sorterats i storleksordning för att visa spridningen inom kategorierna. Även medelvärdet visas som jämförelse. Spridningen förefaller vara jämnast för småhusen, medan det i resterande kategorier finns ett antal större byggnader långt från medelvärdet. Genomsnittsytan är som lägst för övriga byggnader och småhus och ökar sedan för respektive kategori. Notera dock det stora antalet byggnader i dessa kategorier vilket gör dem till de dominerande kategorierna, både vad gäller antal byggnader och total yta.



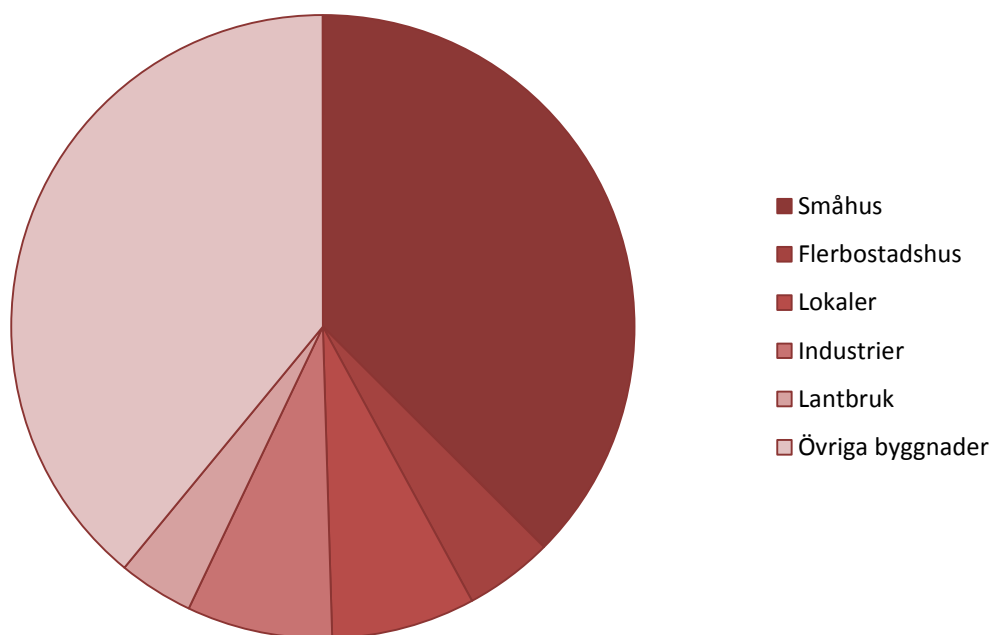
Figur 8. Fördelning av grundarea per byggnad inom respektive kategori utifrån fastighetskartan. Alla byggnader i respektive kategori sorterade efter grundarea (svart heldragen linje) och medelvärde för arean (röd linje). Lantbruk är här inkluderat i övriga byggnader.

Småhusens och övriga byggnaders dominans visas också i Tabell 2, där resultatet från beräkningarna av total takyta redovisas. Detta visas också i Figur 8. Notera att lantbruk har separerats från övriga byggnader i Figur 9 och i vissa kolumner i Tabell 2.

Tabell 2. Totalt antal byggnader och total beräknad takyta utifrån fastighetskartan.

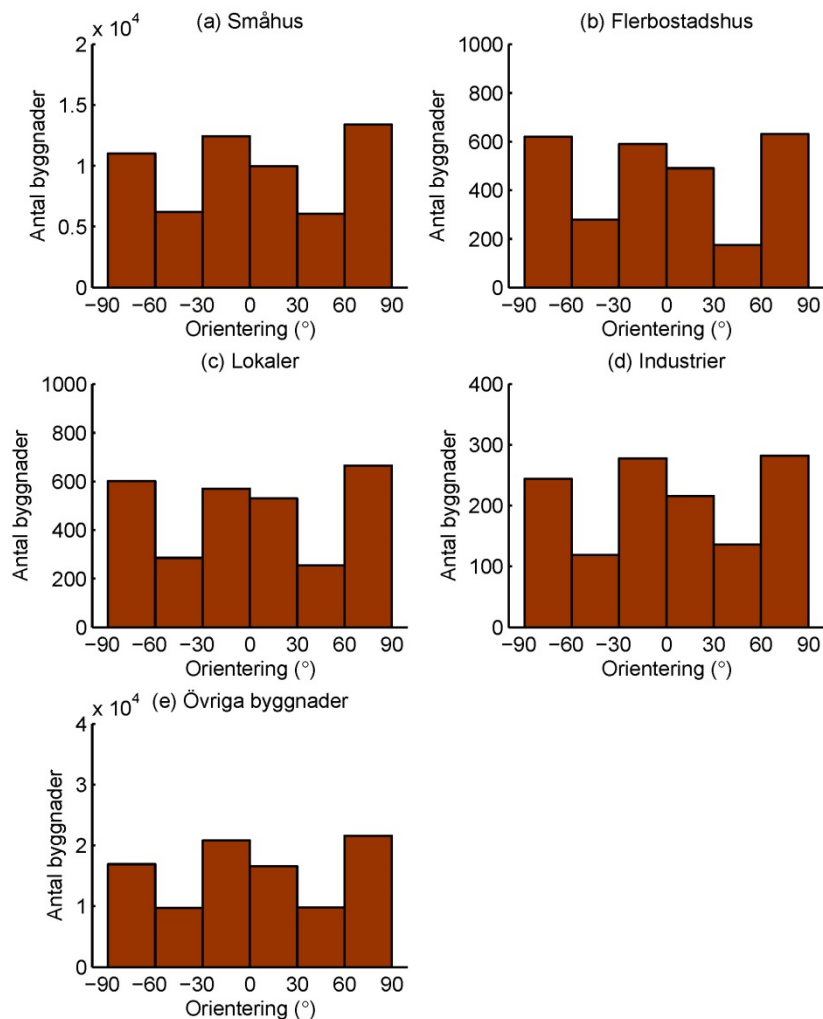
Byggnadstyp	Antal byggnader	Total grundarea (km ²)	Beräknad total takyta (km ²)	Tillgänglig takyta efter reduktioner (km ²)	Tillgänglig takyta per byggnad (m ²)
Småhus	59 120	6.9	8.0	6.4	108
Flerbostadshus	2 785	1.0	1.2	0.79	282
Lokaler	2 905	1.8	2.1	1.3	439
Industrier	1 275	1.8	1.8	1.3	1 010
Lantbruk	95 354*	0.55	0.78	0.66	77*
Övriga byggnader		7.2	8.3	6.7	
Totalt	161 439	19	22	17	106

*Eftersom statistik saknas över antalet lantbruk inkluderas dessa i övriga byggnader.



Figur 9. Fördelningen av tillgängliga takytor för de olika byggnadskategorierna.

Förutom takytornas storlek och lutning kommer orienteringen i väderstreck att påverka den totala instrålningen. Den dominerande orienteringsvinkeln för byggnaderna (i vilken riktning de längsta polygonavsnitten är orienterade) beräknades i ArcGIS, med resultatet i Figur 9. Resultatet är intressant eftersom det visar att byggnadernas orientering inte är helt slumpmässig, vilket har antytts av tidigare studier (VBB, 1983; Kjellsson 1999, 2000). Istället är en majoritet av byggnaderna orienterade längs en nord-syd- eller öst-väst-axel. En inspektion av fastighetskartan visade att detta syns tydligt i kartbilden över bebyggelsen. Fördelningen är ungefär likadan för alla byggnadskategorierna. Tabell 3 visas klassificeringen av byggnaderna i takkategorier utifrån detta resultat.



Figur 10. Fördelning av byggnader i olika väderstreck utifrån fastighetskartan.
Noterbart är att lantbruk är inkluderade i övriga byggnader.

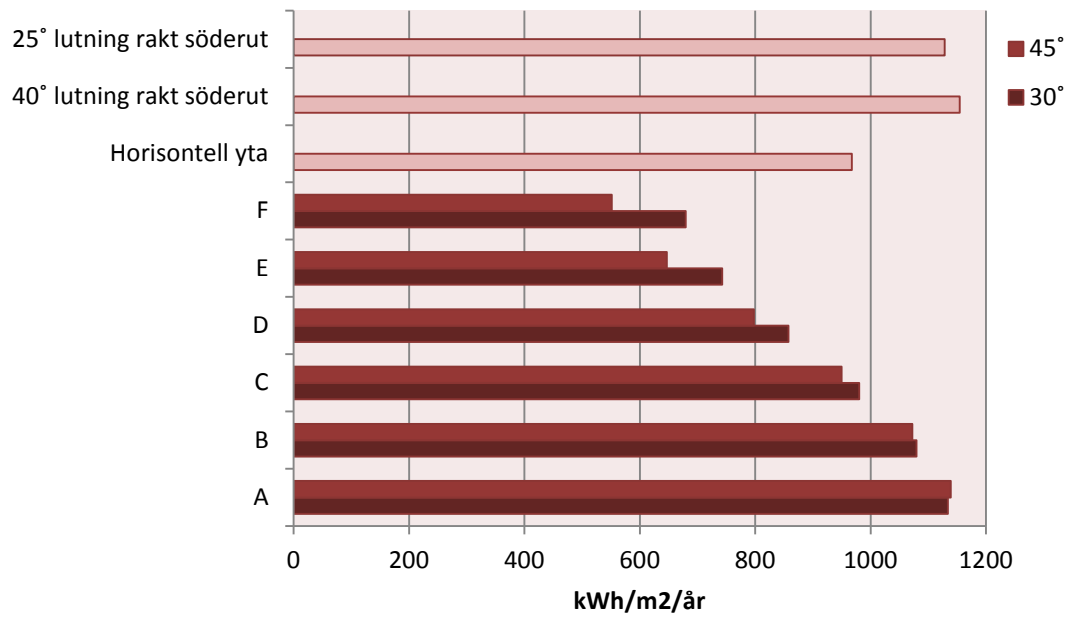
Tabell 3. Klassificering av byggnader i olika orienteringskategorier. Industrier är exkluderade eftersom de antas ha platta tak.

Byggnadstyp	Andel av byggnader med halva takytan i respektive kategori (%)		
	A/F	B/E	C/D
Småhus	41	21	38
Flerbostadshus	45	16	39
Lokaler	43	19	38
Lantbruk	40	21	39
Övriga byggnader	40	21	39

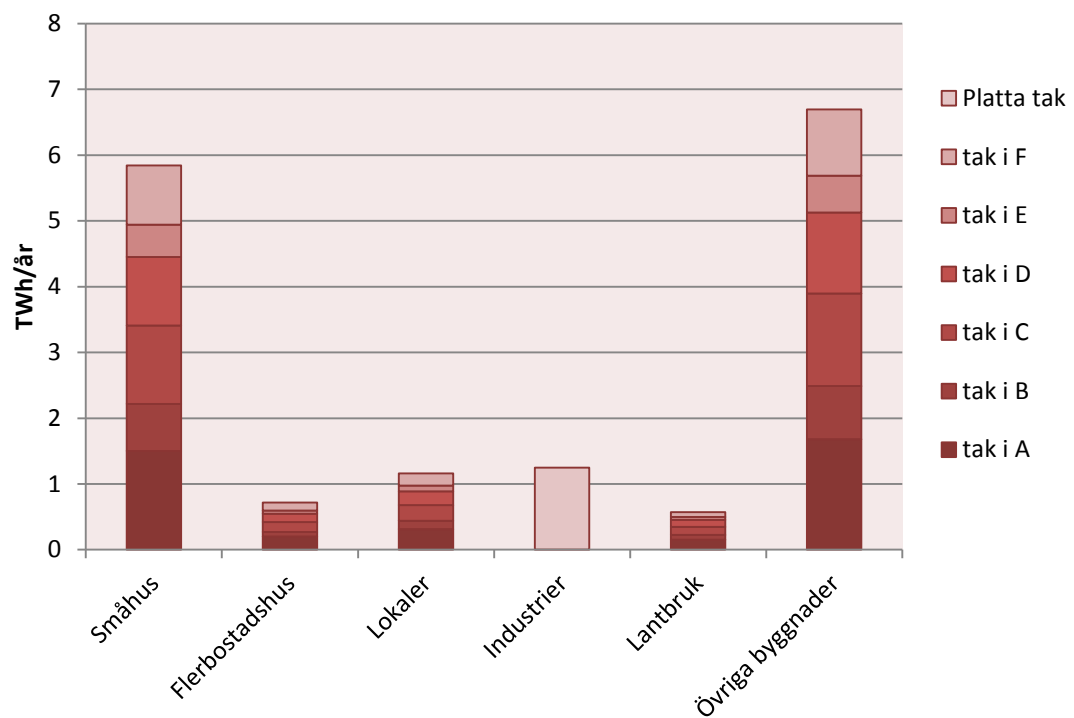
4.2 Solinstrålning mot takytorna

Solinstrålningsdata från Meteonorm för Karlskrona användes för att beräkna årlig solinstrålning mot de olika ytor som har antagits för byggnadskategorierna. Figur 11 visar den årliga resulterande solinstrålningen mot ytor med 30° respektive 45° lutningsvinkel i orienteringskategorierna A-F, solinstrålningen mot ett horisontellt plan, samt solinstrålningen mot en vinklad yta på 25° respektive 40° rakt mot söder. Den sistnämnda ytan har den högsta instrålningen, och kan sättas i relation till ytor med lägre instrålning. 25° lutning mot söder är tänkt att användas på platta industritak eftersom de kan placeras relativt tätt utan att ge betydande interna skuggförluster (Näsvall, 2013). Som framgår av Figur 10 är den successiva försämringen för ytor orienterade allt längre bort från rak söderriktning tydlig.

Den resulterande totala solinstrålningen mot takytorna visas i Figur 12. Detta är alltså den totala årliga solinstrålningen mot alla takytor och visar den absoluta maxpotentialen för solenergisystem på tak. Den totala tillgängliga energin är i TWh-skala, men som visas längre fram blir den realiserbara potentialen betydligt lägre. Notera att de norrvända taken i realiteten bör få en ännu lägre potential eftersom ingen hänsyn har tagits här till skuggning, som i allmänhet bör vara större för dessa ytor eftersom de nås av lägre stående sol. Notera också att platta tak, som antas för industribyggnader, rimligtvis bebyggs med solcellssystem lutade i optimal vinkel, vilket gör att instrålningen blir en annan än mot den horisontella ytan, som visas här.



Figur 11. Beräknad solinstrålning mot olika vinklade ytor utifrån solinstrålningsdata (Meteonorm) för Karlskrona.



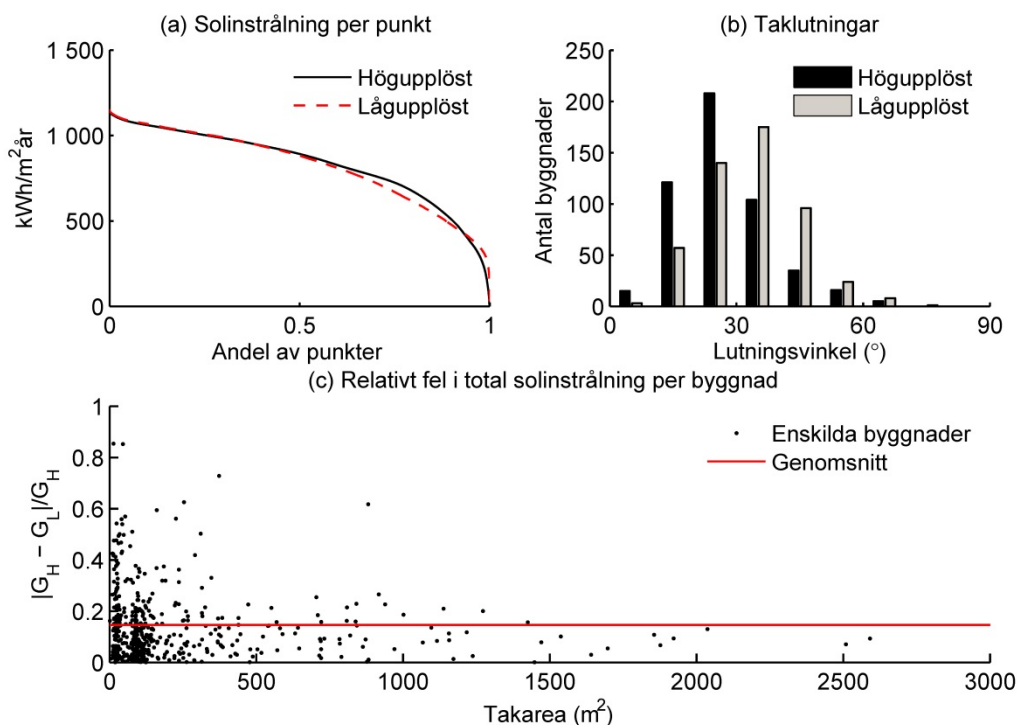
Figur 12. Total solinstrålning mot de beräknade takytorna i respektive kategori.

4.3 Jämförelse med LiDAR-data

För att bedöma om de ovanstående beräkningarna av solenergipotential på takytorna är rimliga görs här en jämförelse med beräkningar från mer detaljerade LiDAR-data. Metoderna för att göra solenergiberäkningar från framför allt de lågupplösta LiDAR-data behöver vidareutvecklas, utvärderas och göras mindre beräkningstunga, vilket inte har kunnat ingå i det här projektet. Här görs därför endast en begränsad jämförelse. Först visas hur lågupplösta LiDAR-data, som är den typ av data som finns tillgängliga för Blekinge, förhåller sig till högupplösta. Därefter jämförs beräkningar av solpotential från fastighetskartan med beräkningar från lågupplösta LiDAR-data för Olofströms kommun.

4.3.1 Jämförelse mellan högupplösta och lågupplösta data

Figur 13 visar på olika sätt hur beräkningar av solinstrålning mot takytor från högupplösta och lågupplösta LiDAR-data förhåller sig till varandra. Beräkningarna har gjorts för 504 byggnader i stadsdelen Luthagen i Uppsala, där både hög- och lågupplösta data finns. I (a) visas fördelningen av beräknad solinstrålning på det totala antalet punkter i LiDAR-punktnätet. Överensstämmelsen är god, framför allt för de högre instrålningsnivåerna. Taklutningarna i (b) överskattas generellt i det lågupplösta datat. Felet per byggnad varierar kraftigt, vilket visas i (c), men minskar ju större byggnaden är och är i genomsnitt 15 %.



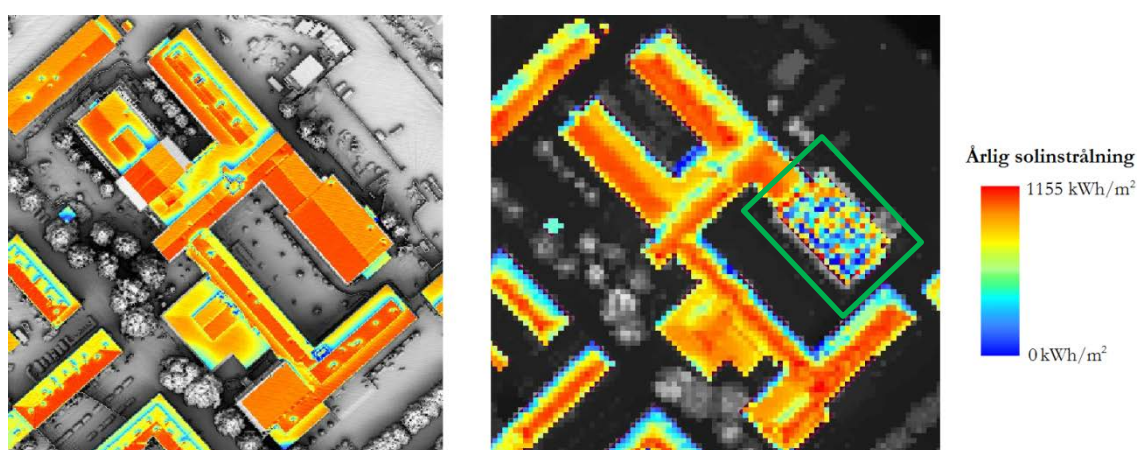
Figur 13. Jämförelse mellan högupplösta och lågupplösta LiDAR-data för stadsdelen Luthagen i Uppsala

Tabell 4 visar en jämförelse för total solinstrålning och takyta för alla 504 byggnader. Felen för enskilda byggnader tar uppenbarligen ut varandra, vilket gör att skillnaderna i total yta och instrålning bara är omkring 4 % respektive 8 %.

Tabell 4. Total solinstrålning och takyta beräknade med högupplösta och lågupplösta LiDAR-data för stadsdelen Luthagen i Uppsala.

	Högupplöst	Lågupplöst
Total solinstrålning (GWh/år)	106	114
Total takyta (tusental m ²)	142	147

Figur 14 visar den årliga solinstrålningen på Fyrisskolan i Uppsala, både baserat på högupplöst LiDAR-data med 0.4 m grid och lågupplöst LiDAR-data med 2 m grid. Det framgår tydligt att det högupplösta datat ger en betydligt klarare bild över solinstrålningen. Till och med skuggeffekter från skorstenar finns redovisade i den vänstra bilden. Den högra bilden visar också ett tydligt exempel på vad som kan hända när punkttätheten är låg på vissa byggnadsytor, markerat med en grön ruta i figuren. Lutningen på taket kan inte bestämmas korrekt på grund av den låga punkttätheten vilket skapar det mosaikliknande mönstret. Lågupplöst LiDAR-data kan vara problematiskt att använda när potentialen för enskilda byggnader ska studeras, men kan mycket väl fungera vid mer övergripande potentialstudier, vilket Figur 13 och Tabell 4 visar. LiDAR-datat ger dock en indikation på var det kan vara intressant att göra en mer detaljerad potentialstudie för de flesta byggnader, vilket Figur 15 visar.



Figur 14. Beräknad solinstrålning på Fyrisskolans tak i Uppsala baserat på högupplöst (vänster) respektive lågupplöst (höger) LiDAR-data.

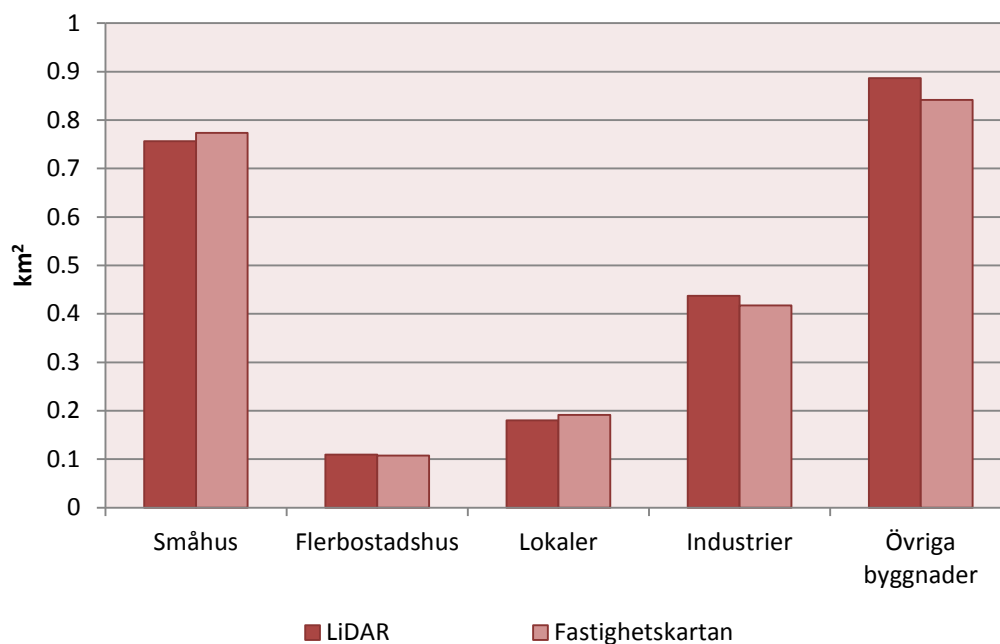
4.3.2 Jämförelse mellan beräkningar utifrån fastighetskartan och utifrån LiDAR-data

För att jämföra beräkningarna från fastighetskartan med de mer detaljerade beräkningarna från LiDAR-data gjordes en beräkning för Olofströms kommun. Denna begränsade jämförelse gjordes eftersom LiDAR-beräkningarna är beräkningstunga och tidskrävande. Figur 15 visar ett exempel på hur solenergipotentialen kan visualiseras baserat på det lågupplösta datat. En förhållandevis god uppfattning om potentialen kan fås från beräkningarna, trots den låga upplösningen.

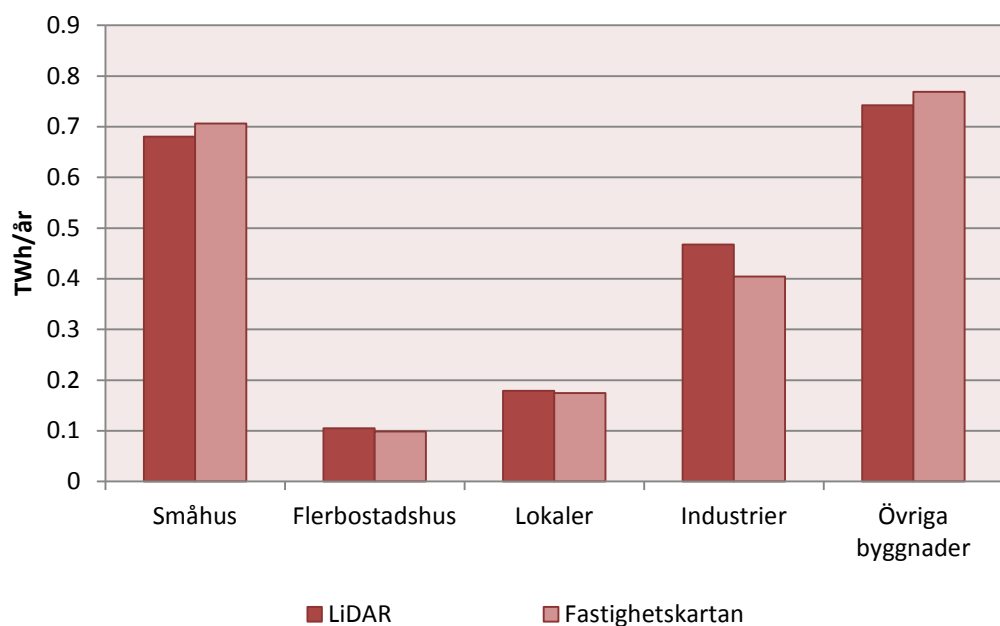


Figur 15. Beräknad solinstrålning i centrala Olofström baserat på lågupplöst LiDAR-data med ortofoto i bakgrunden.

Figur 16 visar en jämförelse av total beräknad takyta och Figur 17 visar en jämförelse av total solinstrålning. För alla kategorierna ger den enklare metoden med beräkningar enbart från fastighetskartan en likvärdig skattning av ytor och solinstrålning. Skillnaden i solinstrålning är störst för industribyggnader, där antagandet om helt platta tak inte verkar gälla fullt ut och därför ger en underskattning av solinstrålningen för det lågupplösta datat. Sammantaget visar Figur 16 och Figur 17 att beräkningar baserade på lågupplöst LiDAR-data ger takytor och total årlig instrålning i samma storleksordning som när fastighetskartan används med antaganden om taklutningar enligt tidigare studier (Kjellsson, 2009 & 2010).



Figur 16. Beräknad total takyta i Olofströms kommun utifrån LiDAR-data och enbart utifrån fastighetskartans byggnadsskikt.



Figur 17. Beräknad total årlig solinstrålning mot takytor i Olofströms kommun utifrån LiDAR-data och enbart utifrån fastighetskartans byggnadsskikt.

4.4 Genomsnittliga typbyggnader

Här redovisas de resulterande genomsnittliga typbyggnader som har tagits fram, baserade på resultaten ovan och på tillgänglig statistik över energianvändning och andra kompletterande parametrar. Det bör poängteras att osäkerheterna är stora i underlaget, eftersom en representativ helhetsbild av byggnader, energianvändning, boende, etc. inte finns för Sverige eller enskilda län. Siffrorna som redovisas här bygger på olika typer av statistik, studier och antaganden. De bör dock vara i rätt storleksordning och kan därför ge en mer realistisk bild av den realiserbara solenergipotentialen än gissningar utifrån den totala solinstrålningen mot taktytor redovisade ovan. I Tabell 5 visas de antagna typbyggnader som används i beräkningarna av realiserbar potential för scenario A. För scenario B antas potentialen vara oberoende av energianvändningen i byggnaderna, vilket gör att inga antaganden om typbyggnader behövs.

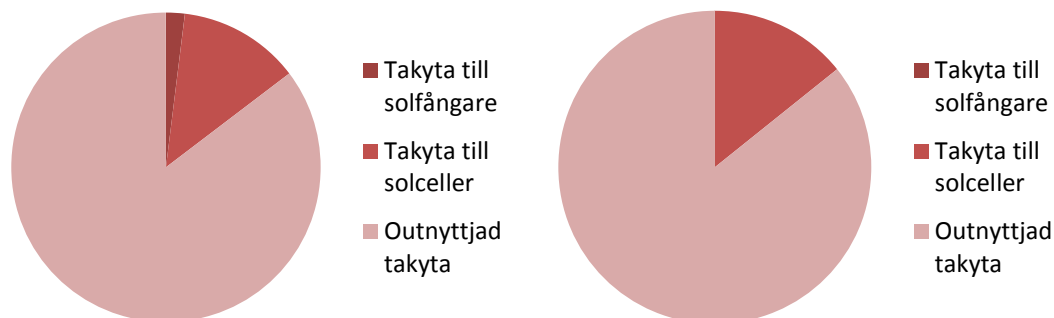
Tabell 5. Genomsnittliga typbyggnader.

	Permanent-bebodda småhus	Icke-permanent-bebodda småhus	Flerbostadshus
Totalt antal byggnader	42 274 ^{a)}	16 846 ^{b)}	2 785
Tillgänglig total takyta (m ²)	108	108	282
Antal lägenheter	1	1	12 ^{c)}
Varmvattenbehov (MWh/år)	1.9 ^{d)}	0.48 ^{e)}	12 ^{d)}
Energi utom el till uppvärmning (MWh/år)	25 ^{f)}	–	77 ^{g)}
El till uppvärmning (MWh/år)	11 ^{h)}		–
Hushålls-/verksamhetsel (MWh/år)	6 ^{j)}	4.3 ⁱ⁾	36 ^{k)}
Fastighetsel	–	–	18 ^{l)}

- a) Antal småhus i kalkylerat bostadsbestånd, SCB (2014).
- b) Antal småhus i fastighetskartan minus antal småhus i kalkylerat bostadsbestånd, SCB (2014).
- c) Antal lägenheter i kalkylerat bostadsbestånd, SCB (2014) (32 187 st), delat med antal byggnader i fastighetskartan.
- d) I brist på data över antal boende per lägenhet och statistik över varmvattenanvändning antaget samma som i Widén och Weiss (2012), omskalat till beräknat antal lägenheter per flerbostadshus i Blekinge.
- e) Som för kommentar d, dessutom antaget att varmvattenbehov bara finns under sommarsäsongen, juni-augusti, 1/4 av hela året.
- f) Gäller enbart småhus utan elvärme (40%). Uppskattat från energianvändning i småhus i Sydsverige, Energimyndigheten (2013a), Tabell 3.4 och 3.19.
- g) Uppskattat från energianvändning i flerbostadshus i Blekinge, Energimyndigheten (2013b), Tabell 3.8 och 3.12.
- h) Gäller enbart småhus med elvärme (60%). Genomsnitt för småhus med elvärme (och med hushållsel subtraherad) i Sydsverige, Energimyndigheten (2013a), Tabell 3.4 och 3.19.
- i) Total elanvändning i fritidshus i temperaturzon 4, både för hushållsel och uppvärmning, SCB (2002), Tabell 9.
- j) Energimyndigheten (2013a), Fig. 6.
- k) Genomsnittlig användning av hushållsel i lägenheter (3 MWh/år) i Zimmermann (2009), multiplicerat med antal lägenheter per flerbostadshus.
- l) Fastighetsel antas vara 50% av hushållselen, ett antagande som använts i Widén m.fl. (2009).

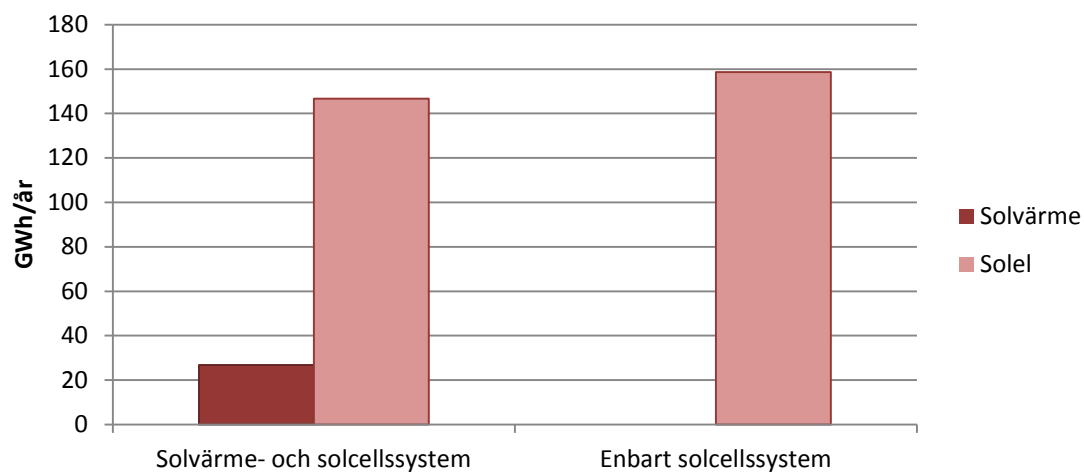
4.5 Realiserbar potential

Nedan presenteras ett antal figurer som beskriver den realiserbara potentialen för solenergi i Blekinge län. Potentialen i småhus särredovisas här eftersom det är den enda byggnadstypen där en potential för solvärme har antagits, om än liten, vilket det vänstra cirkeldiagrammet i Figur 18 och Figur 21 visar för scenario A respektive scenario B. Figur 19 och Figur 22 visar den potentiella årliga energiproduktionen i småhus för scenario A respektive scenario B.

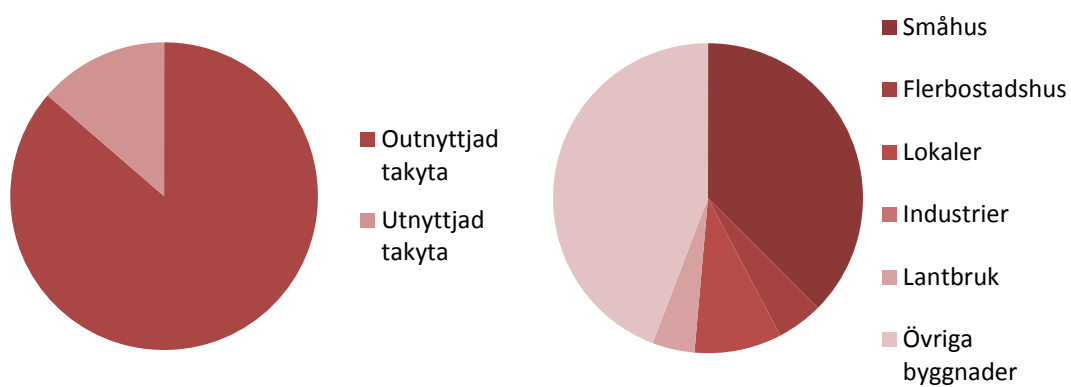


Figur 18. Potentiell användning av takytor för solceller och solvärme i småhus för scenario A, som andel av total takyta för småhus. Potential för solceller med (vänster) och utan (höger) solvärme visas eftersom takytan delvis är begränsad.

Figur 20 och Figur 23 visar hur stor del av takytorna som potentiellt kan nyttjas för solenergi och hur dessa takytor är fördelade mellan de olika byggnadstyperna för scenario A respektive scenario B. Småhus och övriga byggnader är helt dominerande vilket också avspeglas i Figur 24, vilken visar den årliga elproduktionen för de olika byggnadstyperna. Som referens finns även (den icke normalårskorrigerade) elanvändningen för Blekinge län 2011 med i figuren som är hämtad från den kommunala och regionala energistatistiken (KRE) (SCB, 2013b). Några övriga byggnader finns inte med i KRE, och hur dessa är fördelade på KRE:s uppdelning går inte att urskilja. Uppdelningen framgår av Tabell 6.



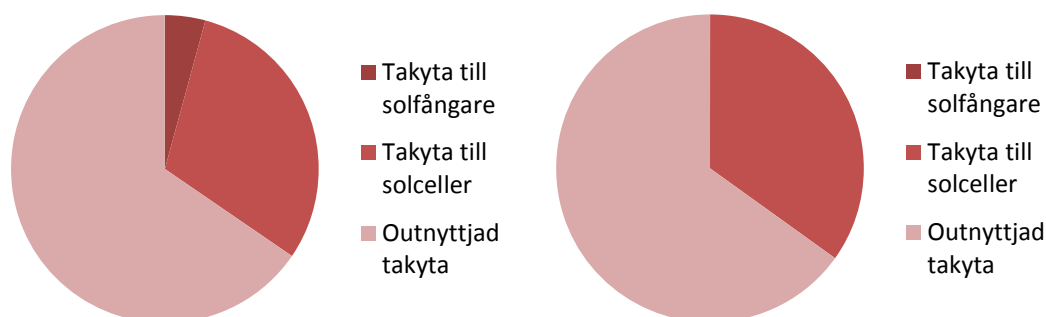
Figur 19. Potentiell el- och värmeproduktion i småhus beaktat med respektive utan solvärmeanläggningar för scenario A.



Figur 20. Till vänster visas outnyttjad respektive utnyttjad andel av takytor för scenario A. Till höger visas de utnyttjade takytorna fördelat på byggnadstyp.

Tabell 6. Allokering av KRE:s uppdelning av slutanvändartyp på typbyggnader.

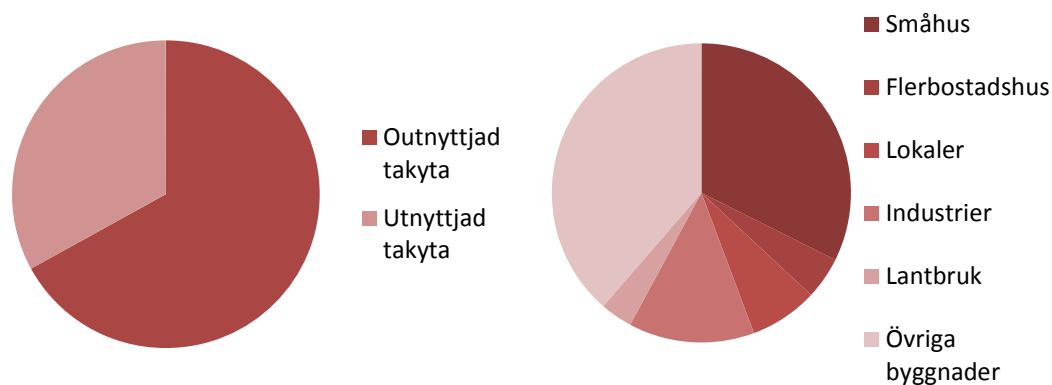
Typbyggnad	KRE:s slutanvändartyp
Småhus	Småhus, Fritidshus
Flerbostadshus	Flerbostadshus
Lokaler	Offentlig verksamhet, Övriga tjänster
Lantbruk	Jordbruk, Skogsbruk, Fiske
Industrier	Industri, Byggverksamhet
Övriga byggnader	-



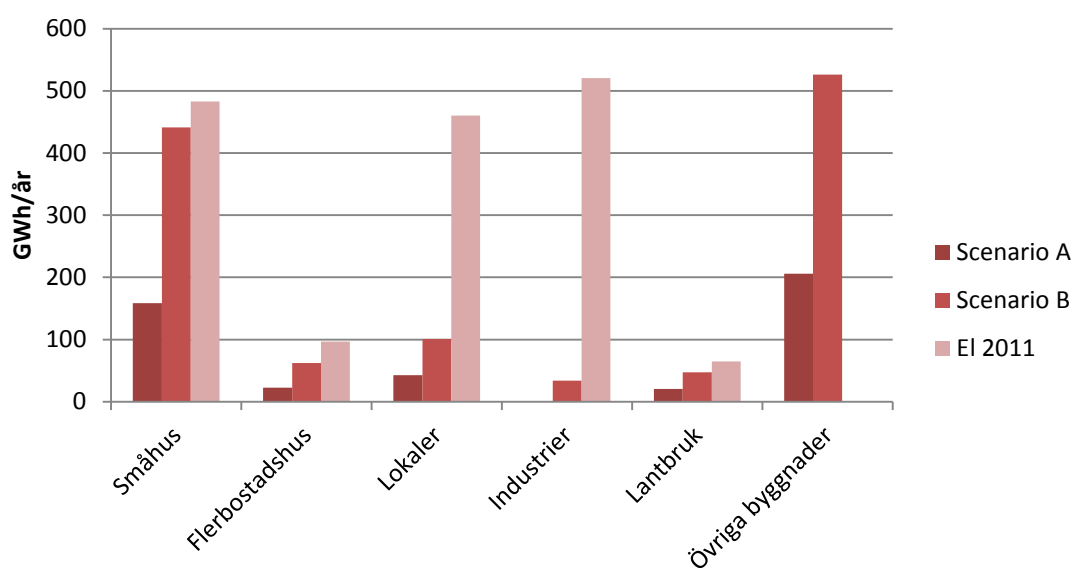
Figur 21. Potentiell användning av takytor för solel och solvärme i småhus för scenario B, som andel av total takyta för småhus. Potential för solel med (vänster) och utan (höger) solvärme visas eftersom takytan delvis är begränsad.



Figur 22. Potentiell el- och värmeproduktion i småhus beaktat med respektive utan solvärmeanläggningar för scenario B.



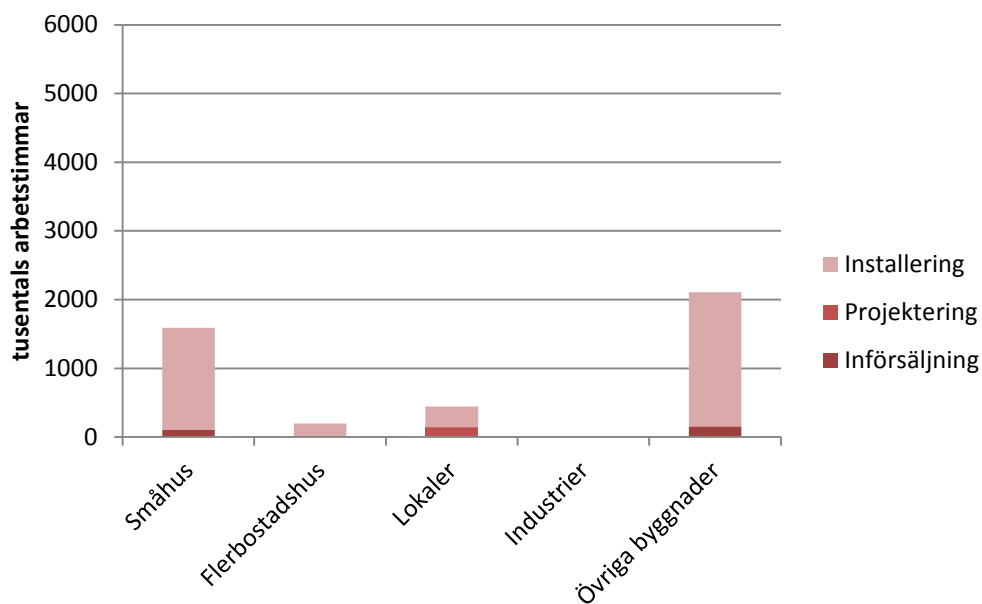
Figur 23. Till vänster visas outnyttjad respektive utnyttjad andel av takytor för scenario B. Till höger visas de utnyttjade takytorna fördelat på byggnadstyp.



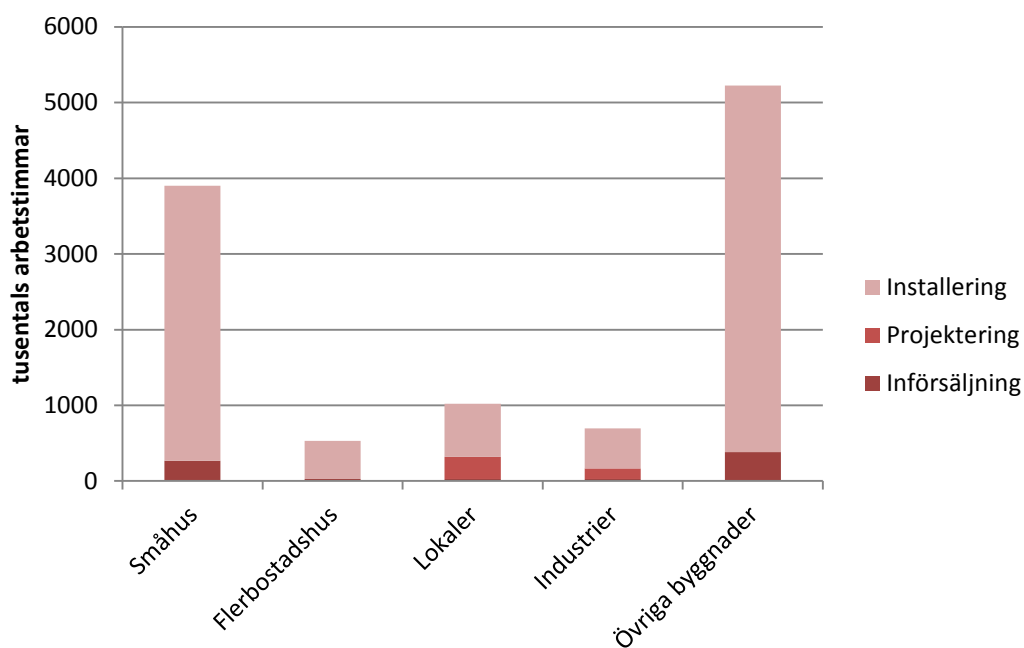
Figur 24. Årlig elproduktion från solceller för scenario A respektive scenario B fördelat på byggnadstyp, samt den faktiska elanvändningen i Blekinge län 2011.

4.6 Arbetstillfällen

Antalet genererade arbetstimmar om solcellsanläggningar byggs ut fullt ut enligt scenarierna A och B finns redovisade i Figur 25 respektive Figur 26. I beräkningarna har scenariet där endast solceller installeras på småhus inkluderats. Osäkerheten i beräkningarna är stora och resultatet ska endast ses som en fingervisning om storleksordningen arbetstillfällen som genereras i de två scenarierna. Bland annat är det svårt att förutse hur mycket effektivare arbetet blir på grund av den samlade erfarenheten. Totalt skapas ca 4.3 miljoner arbetstimmar eller 2 500 arbetskraftsår i scenario A och motsvarande 11 miljoner timmar eller 6 500 arbetskraftsår i scenario B, förutsatt att ett arbetskraftsår motsvarar 1760 arbetstimmar.



Figur 25. Antalet genererade arbetstimmar om solcellsanläggningar byggs enligt potentialscenariet för scenario A fördelade på införsäljning, projektering och installering och på respektive byggnadstyp.



Figur 26. Antalet genererade arbetstimmar om solenergi byggs ut enligt potentialscenariet för scenario B fördelade på införsäljning, projektering och installering och på respektive byggnadstyp.

5. Diskussion

Det finns en betydande potential för solenergi i Blekinge län, vilket den här studien visar, inte minst när den ställs i relation mot den faktiska elanvändningen i länet. För vissa byggnadstyper sker till och med en viss överproduktion i scenario B, vilket kan användas i andra sektorer. Totalt sett täcker potentialen i scenario B ca 75 % av elbehovet om samma användning antas som 2011, vilket kan vara ett rimligt antagande då effekter av energieffektiviseringsåtgärder tas ut av en växande befolkning.

Även om potentialberäkningarna visar på stora möjligheter att tillföra solenergi i bebyggelsen är det viktigt att notera att det kan finnas tekniska utmaningar med att hantera så stora volymer solel i de lokala eldistributionsnäten. Eftersom solenergi är tillgänglig i huvudsak dagtid och på sommaren krävs att stundtals mycket höga effekter kan hanteras för att över året tillföra energi som motsvarar en större del av elanvändningen. Eftersom elnäten är dimensionerade för att hantera den högsta belastningen över året kan det uppstå problem med överbelastning och överspänningar på sommardagar när elanvändningen är låg och solelproduktionen som högst.

Våra tidigare studier har visat att problem framför allt skulle kunna uppstå i nät i villaförorter och landsbygd, medan elnät i central stadsmiljö med flerbostadshus och lokaler är mindre problematiska (Widén m.fl. 2010, Walla m.fl. 2012). Det beror dels på att solelproduktionen är bättre matchad tidsmässigt över dygnet gentemot elanvändningen i lokaler och dels på att själva näten förefaller vara mer robusta i innerstäderna. Eftersom den största potentialen för solel finns på småhus kan det alltså krävas åtgärder i elnäten för att realisera potentialen. Även om det finns olika alternativa åtgärder för att hantera överproduktion av solel i elnäten (Walla m.fl. 2012) är det vanligaste att förstärka nätet om problem uppstår.

Med LiDAR-data blir det möjligt att bedöma potentialen för solenergi för mindre områden än vad metodiken som använts här klarar av, i synnerhet om högupplöst data finns att tillgå. Det är dock kostsamt att beställa en flygning över en kommun på låg höjd för att ta fram högupplöst LiDAR-data, men å andra sidan finns det idag flera användningsområden för LiDAR-data inom stadsplanering. Lågupplöst LiDAR-data kan användas för att ta fram solpotentialbedömningar på landsbygden där det är svårt att motivera en låg flygning ekonomiskt. Som den här studien visar kan även lågupplöst data ge en god bild av potentialen för enskilda byggnader, men kvalitén varierar väsentligt.

6. Slutsatser

Blekinge län har gott om takytor lämpliga för utnyttjande av energi från solen. Totalt finns det ungefär 17 km² tillgängliga takytor, där småhus och övriga byggnader tillsammans står för majoriteten (77 %). I ett scenario (A) där egenanvändningen antas begränsade nyttjas enbart de mest gynnsamma takytorna (mot söder), vilket motsvarar ungefär 3 km². I ett scenario (B) där även takytor i sydväst/öst nyttjas på grund av sjunkande priser på solceller och höjda elpriser, kan 9 km² takytor användas för elproduktion. Detta innebär att en realiserbar elproduktion med solceller inklusive förluster ger 0.45 TWh i scenario A och 1.2 TWh i scenario B. Detta kan ställas i relation till elkonsumtionen i Blekinge län som var 1.6 TWh 2011. En viss produktion av solvärme för småhus kan bli aktuell, om förutsättningarna för solel blir sämre än förväntat, men solvärme bedöms ha en marginell betydelse för energisystemet i framtiden.

En omfattande utbyggnad skulle också potentiellt generera många nya arbetstillfällen; i scenario A ca 4.3 miljoner timmar och i scenario B ca 11 miljoner timmar, vilket motsvarar 2 500 respektive 6 500 arbetskraftsår för de två scenarierna. Osäkerheten är dock relativt stor då antalet erforderliga arbetstimmar varierar kraftigt från projekt till projekt. Detta är också under förutsättning att alla potentiella system installeras.

Referenser

- Byggforskningsrådet (1998), Solvärmesystem för småhus: Kursmaterial för installatörer, Byggforskningsrådet, Stockholm.
- Direct Energy, mailkontakt David Larsson 2014-04-07
- Duffie, J.A., Beckman, W.A. (2006), Solar engineering of thermal processes, 3rd ed., Hoboken (NJ), John Wiley & Sons.
- Energimyndigheten (2013a), Energistatistik för småhus 2012, ES 2013:05.
- Energimyndigheten (2013b), Energistatistik för flerbostadshus 2012, ES 2013:03.
- ESRI (2014), ArcGIS. Tillgänglig online via: <http://www.esri.com/software/arcgis> (2014-04-05).
- IEA-PVPS (2013), Trends 2013 in photovoltaic applications, Report IEA-PVPS T1-23:2013.
- Finansdepartementet (2014). Skattereduktion för mikroproduktion av förnybar el (Regeringens proposition 2013/14:151). Stockholm: Regeringskansliet.
- Jonsson, P., Lindberg, F. (2011), *Solar Energy from Existing Structures*, Elforsk rapport 11:77, url: http://www.elforsk.se/Rapporter/?rid=11_77 (2014-04-09)
- Jordbruksverket (2014), "Jordbruksstatistisk årsbok 2013", Tillgänglig online via <http://www.jordbruksverket.se/omjordbruksverket/statistik/jordbruksstatistiskarsbok/jordbruksstatistiskarsbok2013.4.765a35dc13f7d0bf7c43ab.html> (2014-04-09)
- Kjellsson, E. (1999), Potentialstudie för byggnadsintegrerade solceller i Sverige – Rapport 1: Ytor på byggnader, Rapport TVBH-7210, Lunds tekniska högskola, Lund.
- Kjellsson, E. (2000), Potentialstudie för byggnadsintegrerade solceller i Sverige – Rapport 2: Instrålningsnivåer på byggnadsytor, Rapport TVBH-7216, Lunds tekniska högskola, Lund.
- Lantbruksstyrelsen (1982), "Lantbruksstyrelsens kungörelse om djurhållning m.m", LSFS 1982:21, Tillgänglig online via http://www.jordbruksverket.se/download/18.26424bf71212ecc74b080002327/1242047292108/LSFS+1982_021.pdf (2014-04-09)
- Lantmäteriet (2014a), "Fakta om laserskanning", Tillgänglig online via <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Hojddata/Fakta-om-laserskanning/> (2014-04-09)
- Lantmäteriet (2014b), "Geodata extraction tool", Tillgänglig online via <https://maps.slu.se/get/> (2014-04-09)
- Meteotest (2014a), "Meteonorm solar cadastre". Tillgänglig online via <http://meteonorm.com/products/meteonorm-solarcadastre/> (2014-04-09)

- Meteotest (2014b), "What is meteonorm?". Tillgänglig online via <http://meteonorm.com/products/meteonorm/> (2014-04-09)
- Näslund, C. (2014), Klimat- och energisamordnare, Länsstyrelsen i Blekinge, personlig kommunikation (2014-04-01)
- Näsvall, D. (2013), "Development of a model for physical and economical optimization of distributed PV systems", MSc thesis, Uppsala university, 2013.
- SCB (2002), Energianvändning i fritidshus 2001.
- SCB, (2013a), "Sveriges framtida befolkning 2013-2060", BE 18 SM 1301, Tillgänglig online via <http://www.scb.se/sv/Hitta-statistik/Publiceringskalender/Visa-detaljerad-information/?publobjid=19262>+ (2014-04-09)
- SCB, (2013b). Kommunal och regional energistatistik: Slutanvändning (MWh), efter län och kommun, förbrukarkategori samt bränsletyp. År 2009 – 2011. EN0203.
- SCB (2014), Bostadsbestånd (kalkylerat). Tillgänglig online via: www.scb.se (2014-04-05).
- SMHI (2014), STRÅNG - a mesoscale model for solar radiation. Tillgänglig online via: <http://strang.smhi.se/> (2014-04-13).
- VBB (1983), Solceller i bebyggelsen, Delrapport Efn-projekt 5260 241.
- Walla, T., Widén, J., Johansson, J., Bergerland, C. (2012). Determining and increasing the hosting capacity for photovoltaics in Swedish distribution grids. I Proceedings of the 27th European Photovoltaic Energy Conference (EU-PVSEC), Frankfurt, Germany, September 24-28, 2012.
- Widén, J., Wäckelgård, E., Lund, P.D. (2009), Options for improving the load matching capability of distributed photovoltaics: Methodology and application to high-latitude data, Solar Energy 83:1953-66.
- Widén, J., Wäckelgård, E., Paatero, J., Lund, P. (2010). Impacts of distributed photovoltaics on network voltages: Stochastic simulations of three Swedish low-voltage distribution grids. Electric power systems research, 80(12): 1562-1571
- Widén, J. (2010), System Studies and Simulations of Distributed Photovoltaics in Sweden. Doktorsavhandling, Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala universitet.
- Widén, J. (2011), Beräkningsmodell för ekonomisk optimering av solelanläggningar, Elforsk rapport 10:103, Elforsk, Stockholm.
- Widén, J., Weiss, P. (2012), Solenergi i Dalarnas bebyggelse: Potential till år 2020 och 2050, Rapport 2012:05.

Zimmermann, J.P. (2009), End-use metering campaign in 400 households in Sweden: Assessment of the potential energy savings, Energimyndigheten, Eskilstuna.
Tillgänglig online via:
http://energimyndigheten.se/Global/Statistik/F%C3%B6rb%C3%A4ttrad%20energistatistik/Festis/Final_report.pdf (2014-04-13).

Appendix A

Ändamålskoder och klassificering av byggnader.

Kod	Byggnadsändamål	Detaljerat ändamål	Klassificering i denna studie	Beskrivning
130	Bostad	Småhus, friliggande	Småhus	Småhus med en bostad som inte är sammanbyggt med ett annat småhus. Friliggande småhus med en bostad.
131	Bostad	Småhus, kedjehus	Småhus	Två eller flera, med varandra via garage, förråd eller dylikt sammanbyggda enbostadshus. Varje bostad finns på en egen fastighet, även parhus klassificeras som kedjehus.
132	Bostad	Småhus, radhus	Småhus	Småhus som ligger i en rad om minst tre hus vars bostadsdelar är direkt sammanbyggda med varandra och där varje bostad finns på egen fastighet.
133	Bostad	Flerfamiljshus	Flerbostadshus	Byggnad som är inrättad med minst tre bostäder och kan innehålla kontor, butik, hotell, restaurang och liknande. Minst 50% ska utgöras av Bostad.
135	Bostad	Småhus med flera lägenheter	Flerbostadshus	Småhus med flera bostäder som finns på samma fastighet. T.ex. tvåbostadshus alternativt hyres- eller bostadsrättsradhus om minst tre bostäder på samma fastighet.
199	Bostad	Ospecificerad	Småhus	Bostad med okänt Bostadsändamål, får ej användas vid nyregistrering. Får endast anges av lantmäteriet vid ajourhållningsmetod där ändamål inte kan avgöras.
240	Industri	Annan tillverkningsindustri	Industri	Byggnad för övrig industriell verksamhet med tillverkning.
241	Industri	Gasturbinanläggning	Industri	Anläggning för produktion av el med förbränningsgaser.
242	Industri	Industrihotell	Industri	Byggnad inrymmande flera olika industrier. T.ex. industrihus.
243	Industri	Kemisk industri	Industri	Industri för tillverkning eller förädling av kemiska produkter. T.ex. färgindustri, plastindustri, läkemedelsindustri.
244	Industri	Kondenskraftverk	Industri	Anläggning för produktion av el ur ånga, tar ej tillvara spillvärme.
245	Industri	Kärnkraftverk	Industri	Anläggning för framställning av el ur kärnenergi.
246	Industri	Livsmedelsindustri	Industri	Industri för tillverkning av livsmedel bl.a. genom förädling av jordbruksprodukter. T.ex. charkuteri, konservindustri, fruktindustri.
247	Industri	Metall- eller maskinindustri	Industri	Industri för tillverkning och förädling av metall och maskiner. T.ex. bilindustri, järnverk, mekanisk industri, metallindustri.
248	Industri	Textilindustri	Industri	Industri som tillverkar garn, tyg och dylikt samt bereder dessa. T.ex. tekoindustri, väveri.

Kod	Byggnadsändamål	Detaljerat ändamål	Klassificering i denna studie	Beskrivning
249	Industri	Trävaruindustri	Industri	Industri för förädling av skogsråvaror. T.ex. trä-, massa-, pappers-, möbel-industri, pappersbruk, sågverk, snickeri.
250	Industri	Vattenkraftverk	Industri	Anläggning som omvandlar lägesenergi hos vatten till el.
251	Industri	Vindkraftverk	Industri	Anläggning för omvandling av vindenergi till el.
252	Industri	Värmeverk	Industri	Anläggning som levererar värme till fjärrvärme med pannor för fast, flytande eller gasformiga bränslen samt el. T.ex. kraftvärmeverk eller fjärrvärmeverk.
299	Industri	Ospecificerad	Industri	Industri med okänt ändamål. Ska endast anges av lantmäteriet vid ajourhållningsmetod där ändamål inte kan avgöras.
301	Samhällsfunktion	Badhus	Lokal	Hus med offentlig badinrättning. T.ex. badhus, kallbadhus, simhall, äventyrsbad.
302	Samhällsfunktion	Brandstation	Lokal	Byggnad för räddningstjänsten.
303	Samhällsfunktion	Busstation	Lokal	Större busshållplats eller resecentrum med flera linjer med byggnad. T.ex. resecentrum.
304	Samhällsfunktion	Distributionsbyggnad	Lokal	Byggnad i distributionsnätet för gas, värme elektricitet eller vatten. T.ex. transformatorstation, värmecentral, teknikbod (tele, bredband), vattentorn.
305	Samhällsfunktion	Djursjukhus	Lokal	Byggnad för stationär vård av sjuka djur.
306	Samhällsfunktion	Försvarsbyggnad	Lokal	Byggnad som används för försvarsändamål eller försvarsberedskap. T.ex. byggnad i anslutning till en militär anläggning eller ett militärt förråd.
307	Samhällsfunktion	Vårdcentral	Lokal	Enhet för öppen hälso- och sjukvård. T.ex. hälsocentral, läkarstation, vårdcentrum dock ej privatläkarmottagning.
308	Samhällsfunktion	Högskola	Lokal	Eftergymnasial skola klassificerad i högskoleförordning.
309	Samhällsfunktion	Ishall	Lokal	Inbyggd konstfrusen isanläggning. T.ex. för ishockey, bandy eller skridskor.
310	Samhällsfunktion	Järnvägsstation	Lokal	Station eller hållplats som expedierar person- eller godstrafik. Enligt SJs författningar (SJF 611) och Rikstidtabellen.
311	Samhällsfunktion	Kommunhus	Lokal	Huvudbyggnad för kommunledning. T.ex. kommunhus, stadshus, rådhus.
312	Samhällsfunktion	Kriminalvårdsanstalt	Lokal	Institution för verkställande av fängelsestraff.
313	Samhällsfunktion	Kulturbyggnad	Lokal	Byggnad för kulturellt ändamål. T.ex. teater och museum eller hembygdsgård.

Kod	Byggnadsändamål	Detaljerat ändamål	Klassificering i denna studie	Beskrivning
314	Samhällsfunktion	Polisstation	Lokal	Byggnad inrymmande central för polisverksamhet.
315	Samhällsfunktion	Reningsverk	Lokal	Byggnad för rening av avloppsvatten.
316	Samhällsfunktion	Ridhus	Lokal	Byggnad med manege för ridning.
317	Samhällsfunktion	Samfund	Lokal	Byggnad för fast organiserad religiös gemenskap. T.ex. kyrka, frikyrka, moské, synagoga, tempel, kloster, församlingshem, krematorium, kapell, gravkapell.
318	Samhällsfunktion	Sjukhus	Lokal	Inrättning för sluten vård och specialiserad öppenvård. T.ex. lasarett, länssjukhus, regionsjukhus.
319	Samhällsfunktion	Skola	Lokal	Byggnad för undervisning. T.ex. förskola, grundskola, gymnasium, folk-, handels-, jakt-, jordbruk-, lanthushålls-, natur- och kultur-, naturbruks-, nomad-, räddnings-, skogsbruks-, verkstads-, vård-, samisk skola.
320	Samhällsfunktion	Sporthall	Lokal	Inomhusanläggning för sport och idrott. T.ex. idrotts-, badminton-, curling-, tennis-hall.
321	Samhällsfunktion	Universitet	Lokal	Eftergymnasial utbildning klassificerad i högskoleförordning.
322	Samhällsfunktion	Vattenverk	Lokal	Anläggning där grundvatten eller ytvatten bereds till dricksvatten. T.ex. vattenreningsverk.
324	Samhällsfunktion	Multiarena	Lokal	Flexibel större arena för utövande av sport, kultur och genomförande av många slags arrangemang.
399	Samhällsfunktion	Ospecificerad	Lokal	Samhällsfunktion med okänt ändamål.
499	Verksamhet	Ospecificerad	Lokal	Verksamhet med okänt ändamål.
599	Ekonomibyggnad	Ospecificerad	Övrig byggnad	Ekonomibyggnad med okänt ändamål.
699	Komplementbyggnad	Ospecificerad	Övrig byggnad	Komplementbyggnad med okänt ändamål.
799	Övrig byggnad	Ospecificerad	Övrig byggnad	Övrig byggnad med okänt ändamål.



**LÄNSSTYRELSEN
BLEKINGE LÄN**

SE-371 86 Karlskrona
Telefon 0455-870 00
E-post: blekinge@lansstyrelsen.se
www.lansstyrelsen.se/blekinge