

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5072

Lund 2014

# Områdesanknuten solpotential

- en studie över solpotentialen för byggnader i  
olika områdestyper i Lund

Niklas Borgman



**LUND**  
UNIVERSITY

# Områdesanknuten solpotential

- en studie över solpotentialen för byggnader  
i olika områdestyper i Lund

Niklas Borgman

© Niklas Borgman

ISRN LUTVDG/TVBH-14/5072--SE(74)

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

# Sammanfattning

Uppvärmningen av jordens klimat beror till stor del av människans användning av fossila bränslen som energikälla. Trots vetskapen om jordens uppvärmning syns idag inga avbrott i trender över människans energikonsumtion. För att komma tillrätta med det globala problem som växthuseffekten utgör krävs en omställning ifrån beroendet av fossila bränslen till användning av andra, förnybara, energikällor.

För en storskalig utbyggnad av solceller i Sverige hade det varit intressant att veta hur mycket solceller olika bebyggelseområden i Sverige hade kunnat producera, det vill säga hur stor solpotentialen är för olika bebyggelseområden.

Studien har därför för avsikt att ta fram värden på olika bebyggelseområdens solpotential per area område samt per boende inom området. De undersökta områdena utgörs av:

- Innerstadsområde
- Lamellhusområde
- Skivhusområde
- Villaområde
- Industriområde

Undersökningen grundar sig i den så kallade Solkartan över Lund, en karta över solpotentialen för samtliga tak i Lunds kommun. De olika bebyggelseområdena har identifierats i Lund och solpotentialen för varje område har summerats med hjälp av värden ur Solkartan. Värdena har dock endast gällt för tak och inte tak och fasader. För att solpotentialen för de olika områdena ska inkludera både tak och fasader har typbyggnader för varje område modifierats och solinstrålningen som når byggnaden har simulerats. Först har solinstrålningen mot enbart byggnadens tak simulerats och sedan mot både tak och fasader. Ökningen mellan dessa två simuleringar har presenterats som en faktor som har kunnat multipliceras med solpotentialen för hela området så att potentialen därefter inkluderar både tak och fasader.

Resultatet visar att innerstadsområdet och skivhusområdet har störst total solpotential per områdesarea och att lamellhusområdet och skivhusområdet har störst total solpotential per boende inom området.

Modulering och simulering har även gjorts av en typbyggnad ur varje område men med ett optimerat utseende och optimerad orientering. Förhållandet mellan resultatet från den simuleringen och simuleringen som endast inkluderar tak har sedan presenterats som en faktor. Faktorn multipliceras med solpotentialen för hela området vilket gör att potentialen för hela området med optimering av samtliga hus kan estimeras.

Vid jämförelse av resultatet för de olika områdena då de har optimerats framstår skivhusområdet som det bäst lämpade att bebygga med solceller då potentialen per områdesarea och per boende är högre än övriga områden.

Nyckelord: solceller, solcell, solpotential, solkarta, Rhinocerus, DIVA for Rhino, Grasshopper



## Abstract

The warming of the Earth's climate is largely due to the human use of fossil fuels as a source of energy. Despite knowledge of global warming there is no change in trends of human energy consumption. To deal with the problem that global warming constitutes a shift away from reliance on fossil fuels to the use of other, renewable, energy sources is required.

For a large-scale deployment of PV in Sweden it would have been interesting to know how much solar electricity various development areas in Sweden had been able to produce, that is, how large the solar potential is for these areas.

The study intends to develop values of the solar potential for different development areas both per square meter development area and per occupant within the area. The studied areas are:

- Inner city area
- Lamella house area
- Large scale lamella house area
- Residential area
- Industrial area

The study is based in the so-called the Solkartan of Lund, a map that shows the solar potential for all the rooftops in Lund. The various development areas have been identified in Lund and the solar potential for each area have been summarized using data from the Solkartan. The values, however, only applies to the roof of every building and not the roof and facades. To include both roof and facades in the solar potential for the different areas a building for each area has been modulated and the irradiation reaching the building has been simulated. First taking into account the irradiation on the roof then taking into account the solar radiation on both roofs and facades. The increase between these simulations has been presented as a factor. The factor then multiplied with the solar potential for the entire area gives the solar potential for the entire area including both roofs and facades.

The results show that the inner-city area and the large scale lamella house area has the greatest overall solar potential per square meter development area and that the lamella house area and the large scale lamella house area has the greatest overall solar potential per occupant within the area .

Modulation and simulation has also been made of a building from each area with an optimized look and optimized orientation. The factor that has been developed represents the difference between irradiation towards the roof of the building and irradiation towards both roof and facades but with a change of the building's appearance to maximize the solar potential.

When this type of change is applied the result show that the large scale lamella house area is best suited for installation of solar cells. This is due to a better solar potential per square meter development area and per occupant than other development areas.

Keywords: solar cells, solar electricity, solar potential, Rhinocerus, DIVA for Rhino, Grasshopper



## **Förord**

*Den här studien utgör examensarbete för avdelningen för Byggnadsfysik på institutionen för Bygg- och miljöteknologi vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har utförts i samband med civilingenjörsexamen på Väg- och vattenbyggnadsprogrammet.Handledare för studien har varit Elisabeth Kjellson, universitetslektor vid avdelningen för Byggnadsfysik, och examinator har varit Jesper Arfvidsson, professor vid avdelningen för Byggnadsfysik.*

*Ett stort tack går till handledare Elisabeth som hjälpt till från början till slut. Jag vill även tacka Jouri Kanters, doktorand vid avdelningen för Energi och Byggnadsdesign, som har svarat på många frågor.*

*Lund i maj 2014*

*Niklas Borgman*





# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	I
Abstract.....	III
Förord .....	V
Innehållsförteckning .....	VII
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund .....	1
1.2 Problemformulering och syfte .....	3
1.3 Metod .....	3
1.4 Avgränsning .....	4
2 Solinstrålning .....	7
2.1 Horisontell yta .....	7
2.2 Vinklad yta .....	8
3 Solceller.....	11
3.1 Solceller på byggnader .....	12
3.1.1 Platta tak .....	12
3.1.2 Lutande tak .....	14
3.1.3 Fasader .....	15
3.1.4 Solskydd .....	16
4 Solkartan.....	19
5 Arkitektur .....	23
5.1 Innerstadsområde .....	23
5.2 Lamellhusområde .....	24
5.3 Skivhusområde .....	25
5.4 Radhus- och villaområde .....	26
5.5 Industriområde .....	27
6 Solinstrålning per område enligt solkartan.....	29
6.1 Innerstadsområde .....	31
6.2 Lamellhusområde .....	33
6.3 Skivhusområde .....	35
6.4 Villaområde .....	37
6.5 Industriområde .....	39
7 Modulering och simulering av karaktäristiska byggnader .....	41

7.1	Simulering	41
7.1.1	Förutsättningar simulering	42
7.2	Modell	42
7.3	Resultat simulering	43
7.4	Analys simulering	47
8	Områdesknuten solpotential .....	51
8.1	Optimering	55
9	Diskussion .....	59
10	Slutsats .....	61
10.1	Förslag till framtida studier	62
11	Nomenklatur .....	63
12	Referenser .....	65
	Bilaga 1 – Tekniska förutsättningar .....	69
	Meteonorm	69
	Förutsättningar DIVAdaylight	69
	Bilaga 2 – Modeller .....	71
	Modeller optimerade byggnader	73

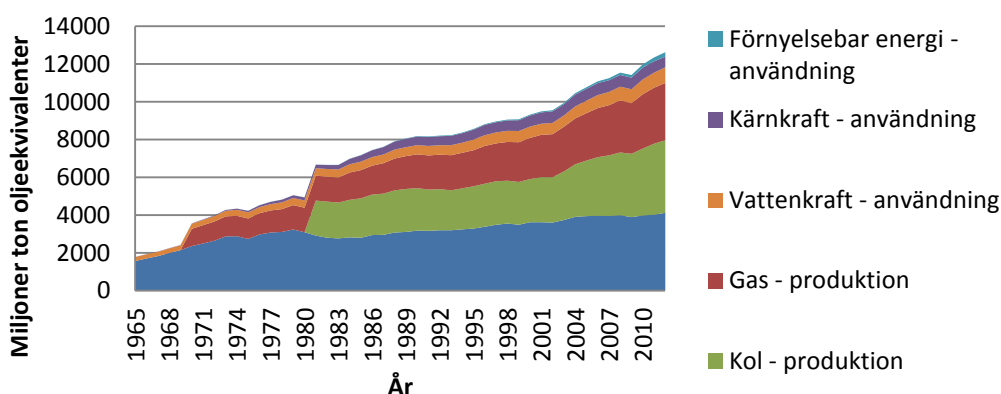
# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

”Uppvärmningen av klimatsystemet är entydigt, det framgår av observationer över ökande globala luft- och havstemperaturer” (IPCC, 2007). Den stigande globala medeltemperaturen beror till stor del på människans användning av fossila bränslen som energikälla. Förbränning av fossila bränslen ökar halten växthusgaser i atmosfären, vilket leder till ett varmare och mer instabilt klimat (IPCC, 2007).

Trots vetenskapen om jordens uppvärmning syns idag inga avbrott i trender över människans energikonsumtion. I figur 1.1 visas data över mänsklig produktion och användning av energi sedan 1965 (data för kolproduktion visas från 1981, data för gasproduktion visas från 1970) (BP, 2013). För att komma tillrätta med det globala problem som växthuseffekten utgör krävs en omställning ifrån beroendet av fossila bränslen till användning av andra, förnybara, energikällor.

### Total internationell användning respektive produktion av energi från olika källor

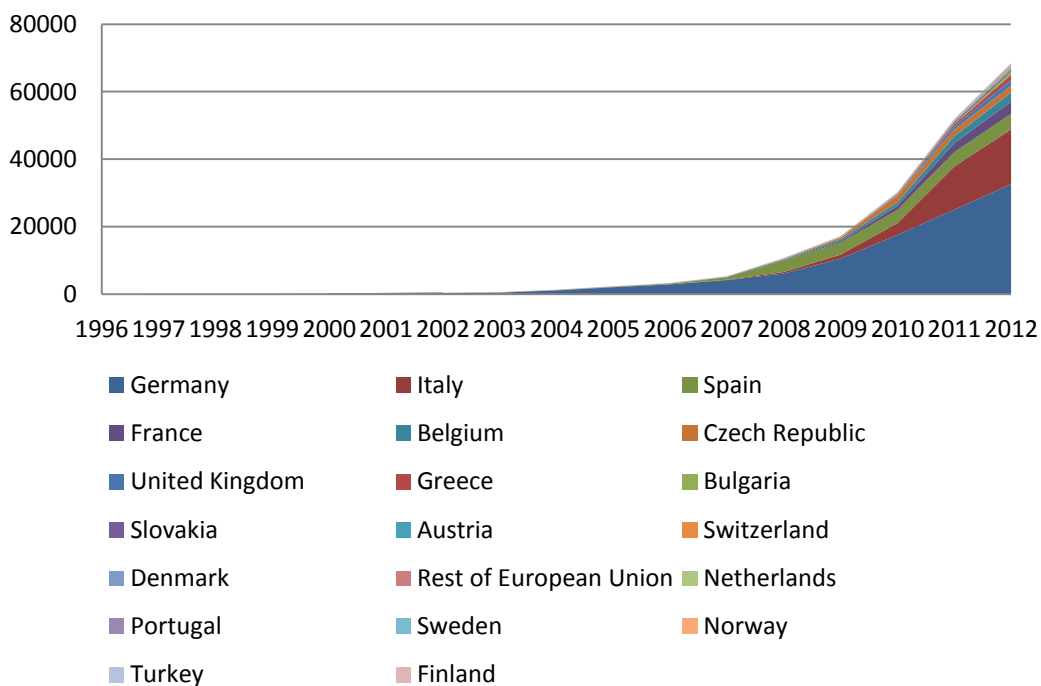


Figur 1.1 Användning respektive produktion av energi från olika källor i världen (BP, 2013)

Solen är den enda energikällan som egentligen tillför jorden energi. Genom sin strålning är solen en förutsättning för växternas fotosyntes, växterna omvandlas efter lagring i jordskorpan till de fossila bränslen som mänskligheten utnyttjar idag. Solens strålning ger även upphov till det väder som i sin tur kan omvandlas till vattenkraft, vindkraft eller vågkraft. Med modern teknik går det idag även att utnyttja direkt solljus som energikälla i form av solceller som omvandlar solens strålar till elektrisk energi (Weller et al., 2010).

I Europa har mängden solceller ökat markant de senaste åren, mycket tack vare minskade inköpskostnader av moduler. Störst i Europa och även i världen är Tyskland med en marknadsandel på drygt 30 % av världens installerade effekt (BP, 2013). I figur 1.2 visas de europeiska nationernas installerade effekt i slutet av varje år sedan 1996. Sveriges andel utgör en liten del av Europas totalt installerade effekt, år 2012 hade 24 MW installerats att jämföra med Tysklands 32643 MW (BP, 2013). Tysklands utbyggnad av solceller beror till stor del på statliga bidrag för produktion av förnyelsebar el och inte främst på att Tyskland är soligare än andra länder. Solinstrålningen i södra Sverige skiljer sig inte mycket ifrån solinstrålningen i norra Tyskland (Europeiska kommissionen, 2010). Förutsättningar, avseende solinstrålning, för en utbyggnad av svenska solceller är alltså likartade. Kan övriga barriärer mot utbyggnad övervinnas bör solceller ses som ett komplement eller rent av ett reellt alternativ till dagens metoder för elproduktion i Sverige.

## Installerad kumulativ effekt för solceller i Europa (MW)



Figur 1.2 Installerad kumulativ effekt i Europa (BP, 2013)

Andra barriärer utgörs till exempel av samhällets oförmåga att förstå systemet kring solceller, hur det används och vilka ekonomiska fördelar investeringar skulle kunna resultera i. För att privatpersoner, företag och organisationer ska förstå hur mycket solet just de skulle kunna producera och därmed spara in köpt el från en elleverantör har så kallade solpotentialkartor skapats över ett antal städer runt om i världen. Det finns bland annat kartor i Sverige över Stockholm (StockholmsStad, 2012),

Göteborg (GöteborgsEnergi, 2012) och Lund (Krafringen, 2013). Kartorna redovisar hur mycket el olika fastigheter potentiellt skulle kunna producera över ett år.

För en storskalig utbyggnad av solceller i Sverige hade det varit intressant att veta hur mycket solceller även andra områden i Sverige hade kunnat producera. Eftersom kartorna endast täcker vissa områden i Sverige är användningsområdet för dessa begränsade. Att skapa en solkarta över hela Sverige är i dagsläget inte aktuellt då metoderna är alltför dyra och tidskrävande.

## 1.2 Problemformulering och syfte

På grund av avsaknaden av heltäckande solpotentialkartor över bebyggd miljö i Sverige krävs andra metoder för att kunna dra slutsatser om solpotentialen i olika delar av landet. Studien avser att estimeras hur stor solpotentialen är för olika typer av bebyggelseområden utifrån solpotentialkartan över Lund. Studien utreder även hur stor solpotential de olika områdena skulle kunna få om byggnaderna inom området optimerades för att maximera potentialen.

Studiens syfte är att ta fram värden på solpotentialen för olika typområden av bebyggelse så att solpotentialen över delar av Sverige som inte täcks av solkarter kan utredas. Den områdesknutna solpotentialen kan användas för att marknadsföra solceller som en alternativ energikälla för privatpersoner, företag och organisationer runt om i landet. Solpotentialen för olika typer av områden kan även användas för att inspirera beslutsfattare på kommunal, regional och nationell nivå så att kunskapen om solceller och solpotential i olika delar av landet ökar.

## 1.3 Metod

Studien är uppdelad i två delar. Först studeras solpotentialen i utvalda områden utifrån befintlig data i form av solkarta över Lund. Sedan modelleras en representativ byggnad från respektive område och analyseras med hjälp av simuleringar för solinstrålning.

Data i solkarta är framtagen med antagandet om att samtliga tak har en lutning på 30° samt utan hänsyn till instrålning mot fasader. För att kunna ta fram bättre värden på solpotentialen för de olika områdena där den teoretiska potentialen är närmare den verkliga måste dessa två fel från solkarta rättas till.

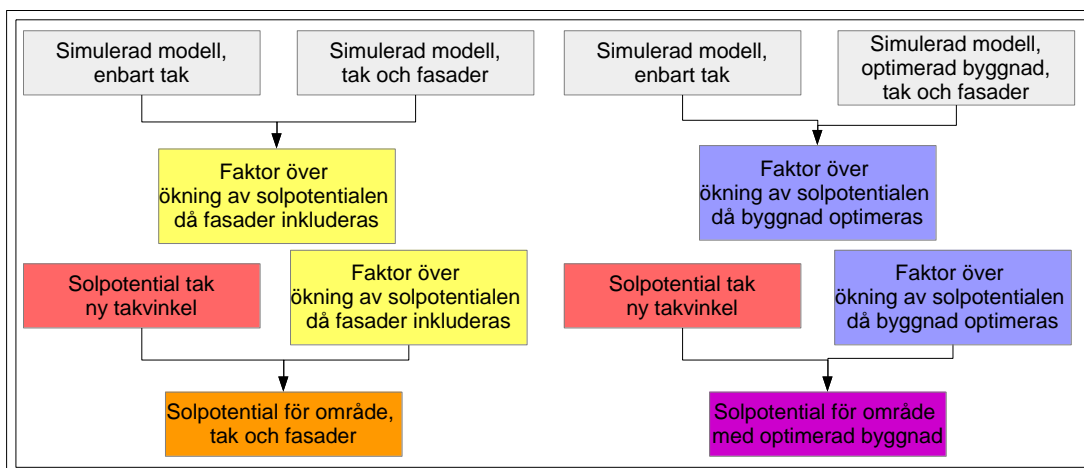
Solpotentialen för taken inom varje område kommer först att räknas om med en ny antagen taklutning, en lutning som bättre speglar den verkliga taklutningen inom ett visst område.

För att kunna addera solpotential utifrån solinstrålning mot fasaderna till varje områdes totala solpotential moduleras en karakteristisk byggnad för varje område i Rhinoceros 5. Solinstrålningen på den modulerade byggnadens tak studeras sedan genom simulering med hjälp av programmen DIVA for Rhino och Grasshopper. Byggnaden simuleras sedan ytterligare en gång enligt exakt samma förutsättningar,

men hänsyn tas då även till solinstrålning mot fasader. Förändringen mellan dessa två simuleringar beräknas och presenteras som en faktor. Denna faktor kan sedan multipliceras med grunddata ifrån solkartan, på detta sätt kan solkartans värde för solpotential extrapoleras för att inte enbart gälla tak utan både tak och fasader.

Proceduren beskriven ovan kommer att genomföras en tredje gång då med byggnadsmodeller som speglar en möjlig framtida utformning av tak och fasader. Den faktor som tas fram kommer att påvisa skillnaden i solpotential mellan den beskriven i solkartan och potentialen för den möjliga framtida utformningen av byggnaden.

Metoden beskriven ovan redovisas även schematiskt i figur 1.3.



Figur 1.3 Metod för beräkning av solpotential för tak och fasader för respektive område samt för beräkning av solpotential för tak och fasader med ett optimerat utseende för respektive område.

## 1.4 Avgränsning

För att regionala respektive nationella slutsatser ska kunna dras utifrån studiens analys har de olika områdena i rapporten valts för att väl spegla bebyggelse i olika delar av Sverige. Då majoriteten av Sveriges befolkning bor i tätorter, 85 % år 2010 (SCB, 2012), återfinns de olika områdena främst inom tätorter.

Studien omfattar fem olika bebyggelseområden och därmed fem olika byggnader karaktäristiska för respektive område. De studerade områdena återfinns i Lund och utgörs av:

- Innerstadsområde
- Lamellhusområde
- Skivhusområde
- Villaområde
- Industriområde

Beskrivning av varje område behandlas i kapitel 5.

Utvärderingen av solpotentialen för respektive bebyggelseområdet kommer att utgå ifrån Solkartan över Lund. För utvärdering av solpotentialen för olika byggnader kommer simuleringsprogrammet Rhinoceros 5 att användas tillsammans med plugin-programmen DIVA for Rhino samt Grasshopper.

Innerstadsområdet kommer inte att modularas och simuleras då försök har visat att modellens datamängd var för stor för att kunna hanteras av den hårdvara som fanns tillgänglig då studien utfördes. Anledningen till den stora datamängden berodde på att krav ställts på simuleringens noggrannhet.

Optimering av byggnader kommer att ske på två olika sätt beroende på vad som anses möjligt för den specifika byggnaden. Antingen optimeras endast byggnadens orientering eller så optimeras orienteringen samtidigt som byggnaden kompletteras med solcellsmoduler för att öka byggnadens yta för upptagning av solinstrålning.



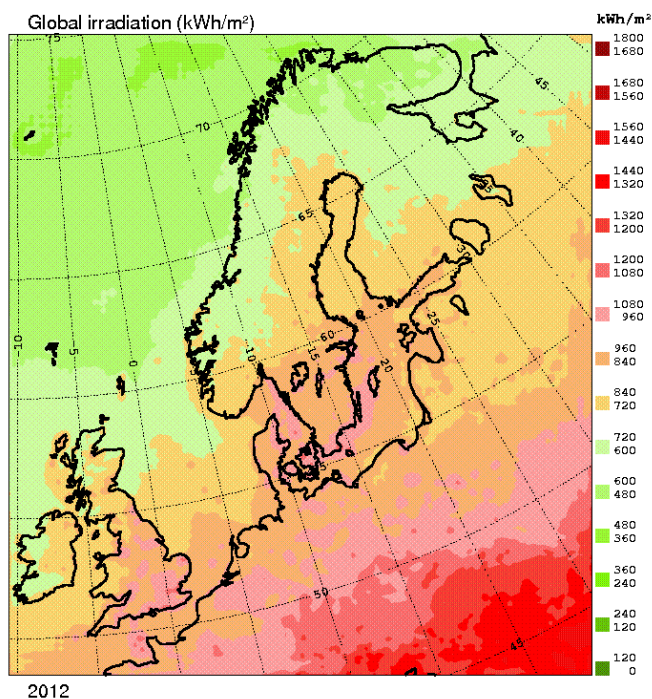


## 2 Solinstrålning

Solens strålar når jorden med en årlig medeleffekt på cirka  $1366 \text{ W/m}^2$ . Storleken på den instrålade effekten varierar beroende på årstid, det vill säga jordaxelns lutning mot solen. På grund av förluster i atmosfären såsom reflektion mot moln och aerosoler samt gasers absorption når dock inte all solinstrålning ner till marknivå (SMHI, 2007). I områden långt ifrån ekvatorn måste solen strålar passera en längre väg genom atmosfären vilket också ökar energiförlusterna. Den strålning som faktiskt når genom atmosfären sprids på olika stora ytor för olika platser på jorden, områden långt ifrån ekvatorn utsätts inte för lika stor effekt per markyta som områden nära ekvatorn.

### 2.1 Horisontell yta

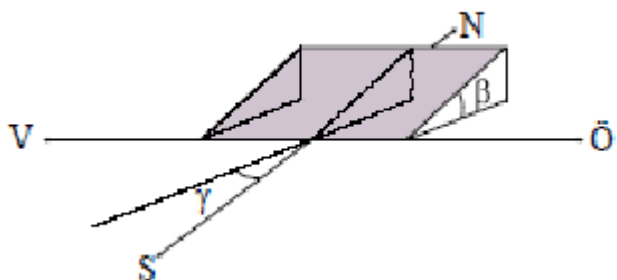
För att kunna beräkna hur mycket energi som en horisontell yta vid marknivå utsätts för delas solens strålning upp i två delar, direkt- och diffus solinstrålning (Duffie and Beckman, 2006). Den direkta solinstrålningen utgörs av fotoner som har passerat ostörda genom atmosfären medan den diffusa solinstrålningen består av fotoner som på ett eller annat sätt blivit reflekterade i atmosfären, till exempel via moln, för att sedan nå den horisontella ytan. Tillsammans utgör direkt- och diffus solinstrålning den så kallade globala instrålningen. I figur 2.1 visas den globala solinstrålningen för nordvästra Europa under år 2012.



Figur 2.1 Global horisontell solinstrålning 2012 (SMHI, 2013)

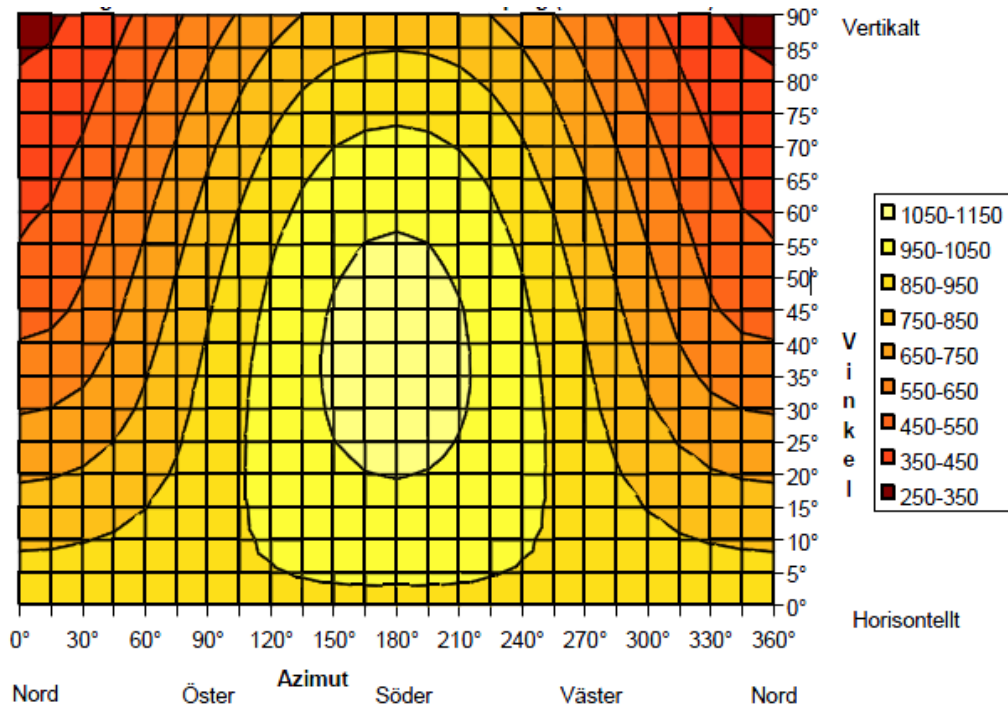
## 2.2 Vinklad yta

För en vinklad yta, som ofta är fallet vid installationer av solceller, spelar dess orientering stor roll för mängden solinstrålning som når ytan. En horisontell yta saknar orientering, hur mycket man än vrider på den är ytan alltid riktad parallellt jordens normal. En vinklad yta går att vända i två led, riktning även kallad azimut ( $\gamma$ ) och lutning ( $\beta$ ), se figur 2.2 (Duffie and Beckman, 2006).



Figur 2.2 Azimut och lutning för vinklad yta (Duffie and Beckman, 2006)

Beroende på var på jordklotet den vinklade ytan befinner sig varierar de optimala värdena för lutningen och azimut (Sick and Erge, 1996). Gemensamt för det norra halvklotet är att ytan bör vara riktad mot söder för maximalt utnyttjande av solinstrålningen, vilket innebär att azimut är lika med  $0^\circ$ . Den optimala vinkeln för ytans lutning beror på hur långt ifrån ekvatorn ytan befinner sig, det vill säga platsens latitud, ju längre ifrån ekvatorn desto större lutning. Data för årlig solinstrålning på en vinklad yta med varierad azimut och lutning ifrån Jönköping redovisas i figur 2.3. Den optimala lutningen utläses till ungefär  $40^\circ$ .



Figur 2.3 Total solinstrålning i kWh/m<sup>2</sup>,år beroende på vinklar och väderstreck. Väderdata för Jönköping (medel 1962-90). Grafik efter NET Ltd/Gutschner (Kjellsson, 2000)

För en vinklad yta utgörs den totala instrålningen inte bara av den globala instrålningen utan även markreflekerad solinstrålning (Duffie and Beckman, 2006). Den totala instrålningen är alltså summan av direkt-, diffus- och markreflekerad solinstrålning. Vid optimering av azimuth och lutning för en vinklad yta är den totala årliga instrålningen oftast högre än den globala årliga instrålningen som når en horisontell yta, dock med undantaget om man befinner sig på ekvatorn där den optimala lutningen är 0°.



### 3 Solceller

Solceller består av så kallade halvledarmaterial. I normalt tillstånd ter sig materialet som en isolator, men när materialet utsätts för energi till exempel solljus blir materialet en ledare och en elektrisk ström uppstår (Wenham, 2011).

Den vanligaste typen av solcell består av kisel och utgör idag drygt 80 % av marknaden för solceller. Kiselsolcellen finns i princip i två olika utföranden; mono- och polykristallint. Även amorf kisel används i solceller, då i form av tunnfilmssolceller. Den amorfa tunnfilmssolcellen är billigare att tillverka men har en lägre effektivitet än de kristallina kiselsolcellerna (Chen, 2011) vilket gör att den inte är lika vanlig. Tunnfilmssolceller finns i andra utföranden som är vanligare än den av amorf kisel. 10 – 15 % av världsmarknaden består av så kallade CIGS- och CZTS-solcellsmoduler (Energimyndigheten, 2013), dessa solceller är av tunnfilmskaraktär men består av andra ämnen.

Valet av solcell består till stor del på dess verkningsgrad, det vill säga dess förmåga att omvandla energin i solinstrålningen till elektrisk energi. I tabell 3.1 redovisas de olika typerna av solceller med respektive cellverkningsgrad.

**Tabell 3.1 Cellverkningsgrad för olika solcellstyper (Chen, 2011)**

Solcellstyp	Cellverkningsgrad (%)
Monokristallin kisel	17-20
Polykristallin kisel	15-18
Amorf kisel	5-10
CIGS	11-13

Enskilda solceller levererar varken den spänning eller ström som idag används i det befintliga elnätet eller i separata elsystem. Cellerna seriekopplas därför för att först uppnå tillräcklig spänning, vanligtvis 12 eller 24 V. Därefter parallellkopplas serierna så att strömstyrkan uppgår till den önskade (Wenham, 2011).

På grund av seriekoppling av cellerna blir dock hela modulen drabbad om en cell utsätts för skuggning (Weller et al., 2010). Modulen är inte starkare än dess svagaste cell. Därför spelar topografi, omkringliggande bebyggelse och – vegetation stor roll för elproduktionen för en solcellsmodul. Denna svaghet gäller även när hela moduler seriekopplas i ett system för utvinning av större energimängder.

Modulsystem brukar delas in i två kategorier, enskilda system eller nätanslutna system (Weller et al., 2010). Det enskilda systemet kopplas direkt, via en växelriktare, till den apparatur som elen ska driva. Växelriktaren gör om likström, som levereras från solcellsmodulerna, till växelström. Används inte all den el som modulerna producerar kopplas den vanligtvis direkt till ett batteri utan att passera

växelriktaren. Vid tillfälle då modulerna inte levererar tillräcklig mängd el kompletteras den med el från batteriet, via växelriktaren. I det nätanslutna systemet finns två kopplingsalternativ. Antingen levererar modulerna el till aktuell apparatur via växelriktaren och överkapacitet kopplas ut till det befintliga elnätet där elen säljs till en elleverantör. Underkapacitet undviks genom momentana köp av el från samma elleverantör. Eller så säljs all el till elleverantören och all el som ska förbrukas köps in från samma leverantör. System där såld och köpt el kvittas mot varandra brukar benämnas nettodebitering.

### 3.1 Solceller på byggnader

Vid användning av solceller på byggnader brukar två olika metoder skiljas åt. Dels kan solcellsmodulen appliceras på byggnaden som ett tillägg på befintlig konstruktion, så kallade byggnadsapplicerade solceller, eller så kan modulen integreras med byggnaden, så kallade byggnadsintegrerade solceller, och då ersätta ett eller flera material som utgör en viss funktion (van Noord, 2010). Till exempel kan tegelpannor på ett tak bytas ut mot solcellsmoduler som förutom att generera el även skyddar taket mot nederbörd på samma sätt som den konventionella pannan.

Ytor på byggnader där solceller antingen kan ersätta en funktion eller appliceras utanpå ytan utgörs vanligtvis av tak, fasader och solskydd (Weller et al., 2010). Tak delas upp i kategorierna platta tak och lutande tak. Det platta taket sägs ha en lutning på  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$  och det lutande taket på  $10^{\circ}$ - $80^{\circ}$ . När taket blir ännu brantare klassas det som en fasad ( $80^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ). Solskydd definieras inte av sin lutning utan av sin placering på byggnaden.

#### 3.1.1 Platta tak

Montering av solcellsmoduler på platta tak kan i princip ske på två sätt: horisontell montering eller vinklad montering.

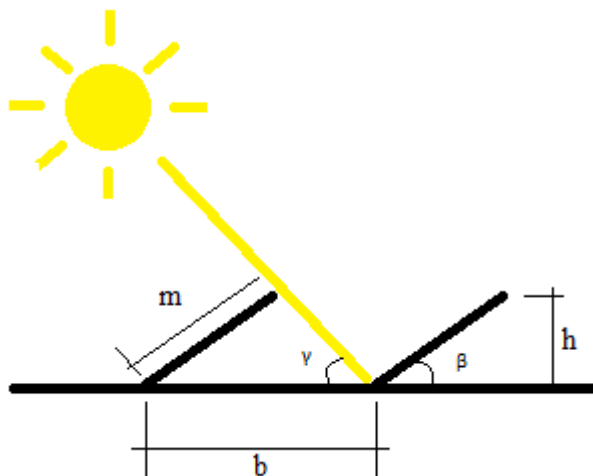
I ett system med horisontellt monterade solceller saknar varje modul orientering vilket gör att skuggning ifrån andra moduler undviks, se exempel i figur 3.1.



Figur 3.1 Byggnadsintegrerade solceller - platta tak (van Noord, 2010)

Nackdelen är dock att den maximala energimängden hos det instrålade solljuset inte används. För detta krävs en optimal orientering. För att maximera utnyttjandet av

solljuset kan istället modulerna monteras som vinklade ytor. Detta medför dock att modulerna skuggar varandra om de monteras för tätt. För hänsyn till skuggning bör modulerna därför monteras enligt figur 3.2 (Weller et al., 2010). Solens vinkel ( $\gamma$ ) skall i beräkningen antas vara  $12^\circ$  eller mindre för att spegla ett svenskt förhållande (van Nord and Paradis Ärlebäck, 2011).



Figur 3.2 Avstånd mellan moduler för platta tak

$$b = \frac{h}{\tan(\gamma)} \quad (\text{ekv. 3.1})$$

$$h = m \cdot \sin(\beta) \quad (\text{ekv. 3.2})$$

Ett exempel på solceller som monterats enligt figur 3.2 visas i figur 3.3 nedan, där en ställning möjliggör användningen av modulerna på en befintlig taktäckning. Systemet i figuren tar hänsyn till optimal orientering då vinkeln  $\beta$  kan anpassas då ställningen monteras.



Figur 3.3 Byggnadsapplikerad solcell – platta tak (Solarprofessional, 2013)

De vinklade ytorna behöver dock inte alltid monteras bakom varandra utan kan även monteras ovanpå varandra, se figur 3.4. Denna metod kräver dock att stora volymer



tas i anspråk för konstruktionen som håller upp modulerna, valet av vinkel på modulerna blir därför en avvägning mellan optimal vinkel och möjlig vinkel med avseende på hur stor konstruktionen får/kan bli.



Figur 3.4 Byggnadsintegrerade solceller – platta tak (von Brömssen, 2011)

### 3.1.2 Lutande tak

För det lutande taket går det inte att välja modulernas orientering. Den ges naturligt av takets egen orientering. Alla lutande tak är således inte lämpade för solceller, det är framförallt de syd-, sydost- och sydvästvända taken som utgör bra underlag för solceller, se figur 2.3.

Figurerna 3.5 och 3.6 visar exempel på byggnadsapplicerade respektive byggnadsintegrerade solceller på lutande tak. De integrerade solcellerna ersätter i fallet nedan tegelpannornas funktion medan takpannorna ligger kvar under modulen i fallet med de applicerade solcellerna.



Figur 3.5 Byggnadsapplicerade solceller - lutande tak (OLRör, 2010)



Figur 3.6 Byggnadsintegrerade solceller - lutande tak (van Noord, 2010)

### 3.1.3 Fasader

Liksom det lutande taket styrs orienteringen av solcellsmoduler monterade på fasader av byggnadens egen orientering. Trots att en fasad är riktad rakt i söder har det dock visat sig att dessa ytor sällan tar emot instrålning som gör investeringar i solceller lönsamma. Detta är en följd av fasadens orientering, se solinstrålningen för en vertikal yta i figur 2.3, samt av stor skuggningsverkan från närliggande byggnader eller vegetation.

Figur 3.7 visar exempel på applicerade solceller på en fasad där modulerna monterats utanpå en tegelvägg. Figur 3.8 visar moduler som ersätter den yttre delen av en fasad där vanligtvis glas eller polerad sten används.



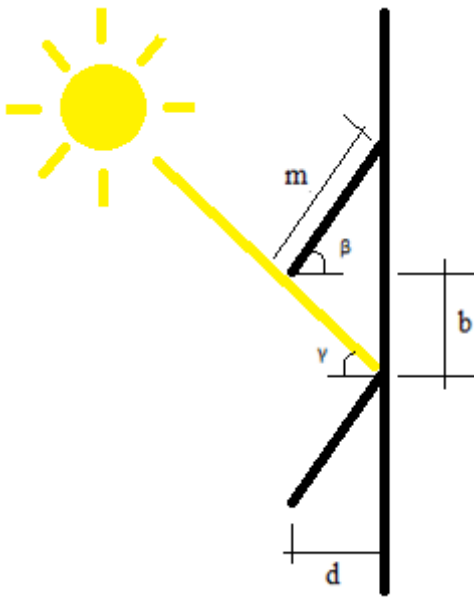
Figur 3.7 Byggnadsapplicerade solceller – fasad (MalmöStad, 2013)



Figur 3.8 Byggnadsintegrerade solceller – fasad (van Noord, 2010)

### 3.1.4 Solskydd

Solskydd vid fönster utgör en lämplig plats för solceller då dess orientering delvis går att välja. Vinkeln azimut ges av fasaden på vilken solskydden sitter. Lutningen på solskydden går att välja fritt. Vid montering kan dock problem uppstå som liknar de skuggningsproblem som uppstår på platta tak. Viktigt även i fallet med solskydd är att beräkna ett lämpligt avstånd mellan raderna av moduler, se figur 3.9. Solens vinkel ( $\gamma$ ) skall i beräkningen antas vara den högsta möjliga kl.12.00, vilket inträffar vid sommarsolståndet.



Figur 3.9 Avstånd moduler, solskydd

$$b = \frac{d}{\tan(\gamma)} \quad (\text{ekv. 3.3})$$

$$d = m \cdot \cos(\beta) \quad (\text{ekv. 3.4})$$

Figur 3.10 är ett exempel på byggnadsintegrerade solceller i form av glaslameller med solceller. Lamellerna skyddar byggnaden för direkt solinstrålning och släpper in diffus och reflekterad solstrålning. Detta gör att inommiljön blir ljus samtidigt som solcellen utnyttjar ljuset på ett effektivt sätt.



Figur 3.10 Byggnadsintegrerade solceller – solskydd (van Noord, 2010)



## 4 Solkartan

Utifrån information om solinstrålning, en ytas orientering, en ytas storlek samt verkningsgrad för en solcellsmodul kan potentialbedömningar göras över mängden elektrisk energi som kan utvinnas ur en unik yta, till exempel en byggnads tak. Att i stor skala utföra dessa bedömningar manuellt kan vara tidskrävande (Hedén, 2013). På olika platser i världen har städer och kommuner tagit initiativet att bygga upp så kallade solkartor över olika områdets alla tak. Kartorna redovisar respektive taks så kallade solpotential, det vill säga hur mycket el som det aktuella taket kan generera utifrån aktuell solinstrålning. På grund av storskaligheten automatiseras med fördel beräkningsmetoden av solpotentialen. Nödvändig information om taks orientering och storlek tas då fram med hjälp av laserskanning eller tredimensionella kartor (Hedén, 2013).

I Sverige finns solkartor över Stockholm (StockholmsStad, 2012), Göteborg (GöteborgsEnergi, 2012) och Lund (Krafringen, 2013). Kartorna över Stockholm och Göteborg är skapade med hjälp av tredimensionella kartor, denna metod kommer inte att redogöras för ytterligare. Kartan över Lund är framtagen med hjälp av laserskanning (Hedén, 2013).

Metoden för laserkartograferingen över Lund kallas för LiDAR (Light Detection And Ranging) (Hedén, 2013). En luftburen farkost flyger över ett bestämt område och skannar det med sin laserutrustning. Skanningen utgörs av laserimpulser som skjuts mot det område som ska skannas, impulserna reflekteras sedan tillbaka till laserutrustningens sensorer. Beroende på hur impulserna reflekteras kan avstånd och vinklar beräknas. Utifrån GPS-koordinater för farkosten samt kända punkter i luften och på marken kan sedan okända punkter på marken positionsbestämmas i tre dimensioner (Ghilani and Wolf, 2008). Noggrannheten med vilken skanningen utförs är beroende av flyghöjden över marken. Punkttätheten för impulserna minskar ungefär med kvadraten av avståndet (Hedén, 2013). Skanningen av Lund gjordes i två etapper. En låghöjdsflygning med noggrannheten 15 punkter/m<sup>2</sup> som täckte delar av Lunds innerstad och en höghöjdsflygning över hela kommunen med noggrannheten 1,6 punkter/m<sup>2</sup>.

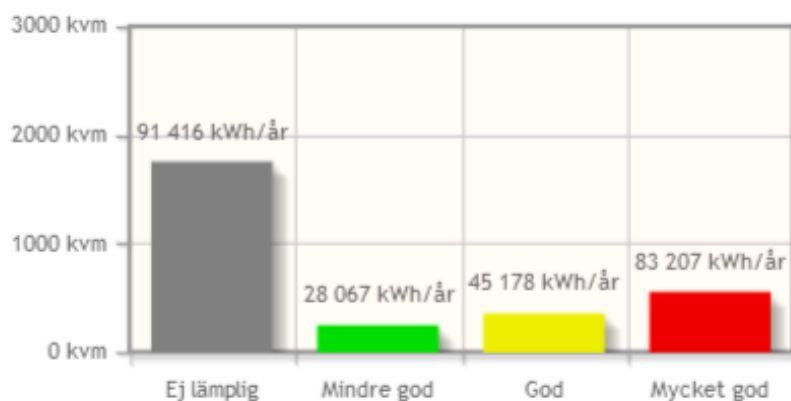
Fördelen med att utföra en solpotentialbedömning utifrån en laserskanning är att vegetation kring de intressanta ytorna tas med i beräkningen. Skuggningen ifrån dessa har stor betydelse för storleken på mängden el som ett tak kan generera. En tredimensionell karta, däremot, tar ingen hänsyn till vegetation överhuvudtaget. Nackdelen med laserskanning är att skanningen i sig inte beräknar takytornas storlek, skanningen ger istället enbart en punkts höjd. Beräkning av takytornas storlek gjordes, vid potentialbedömningen över Lund, med hjälp av en geodatabas (Hedén, 2013). Databasen innehöll dock endast koordinater i två dimensioner. För att få ut takets verkliga area och inte enbart den platta arean sett uppifrån antogs en schablon för taklutningen på 30° (Hedén, 2013). Detta antagande gällde alla tak i hela Lunds kommun.



Den beräknade solinstrålningen vid varje punkt i laserskanningen varierade på grund av varierande global- och markreflekterad solinstrålning, orientering och skuggning. I solkartan över Lund åskådliggjordes detta genom att solinstrålning som nådde ett tak med en viss energimängd gavs en viss färg. Exempel på hur solkartan ser ut ges i figur 4.1. Färgskalan framgår tydlig om ett specifikt tak studeras närmare. Om taket markeras i solkartan presenteras det som i figur 4.2.



Figur 4.1 Utseende på Solkartan över Lund (Kraftringen, 2013)



Figur 4.2 Kategorisering av tak i en fastighet (Kraftringen, 2013)

Taketets yta delas då upp på fyra kategorier, ej lämplig, mindre god, god och mycket god. De olika kategorierna representerar energimängden på solinstrålningen som når olika delar av taket, energinivåerna definieras i tabell 4.1. Staplarna ovanför varje kategori visar hur mycket yta på taket som nås av solinstrålning med en viss energinivå. Ovanpå staplarna presenteras även solpotentialen för respektive kategori. Det vill säga hur mycket el som produceras av den yta som har en ej lämplig-, mindre god-, god- eller mycket god solinstrålning. Potentialen beräknas då med ett antagande om att solpanelernas verkningsgrad är 13 %.

**Tabell 4.1 Instrålningskategorier (Hedén, 2013)**

<b>Kategori</b>	<b>Instrålning (kWh/m<sup>2</sup>, år)</b>
Ej lämplig	<800
Mindre god	800-900
God	900-1020
Mycket god	>1020





## 5 Arkitektur

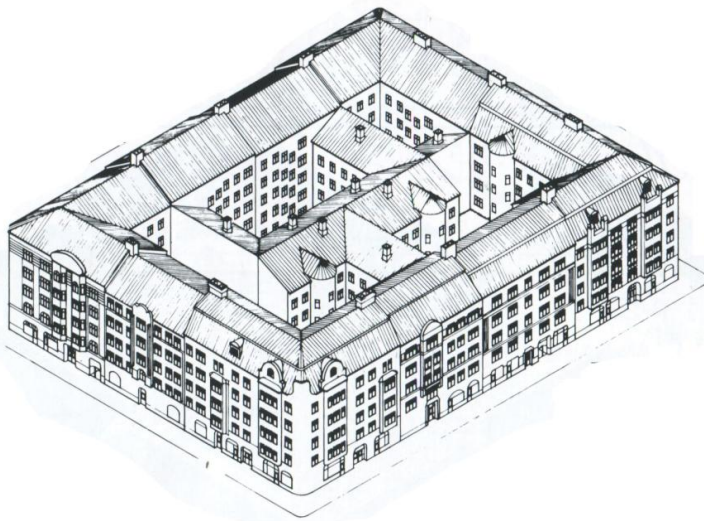
I avsnitt nedan presenteras de valda bebyggelseområdena. Områdenas historia beskrivs först, sedan utreds befolkningstätheten inom området och till sist beskrivs en för området karaktäristisk byggnad. Beskrivningen av byggnaden samt den presenterade bilden kommer att utgöra grunden vid moduleringen av byggnaden som beskrivs i kapitel 7.

### 5.1 Innerstadsområde

Innerstaden definieras i rapporten som den stad som växte upp i Sverige mellan år 1850 och 1900. Stadsbyggnationen sedan 1600-talet hade präglats av raka linjer och fyrkantiga kvarter, något som fortsatte fram till början av 1900-talet (Björk et al., 2000). Under 1800-talet industrialiserades Sverige och en stor andel av landets invånare flyttade in till städerna, år 1800 bodde 7,4 % av Sveriges befolkning i tätorter, år 1900 hade denna andel ökat till 31,5 % (SCB, 2009). Den kraftiga urbaniseringen och trångboddheten som följde av detta ledde till problem som bränder och sjukdomsepidemier. Som svar på problematiken instiftades Sveriges första stadsbyggnadslagstiftning år 1874 (Ylander, 1993). Struktureringen av staden gjorde att stadsbilden fortsättningsvis präglades av fyrkantig kvartersbebyggelse men med inslag av bredare esplanader och boulevarder som hade som funktion att minska brandrisken mellan kvarteren. Den vanligaste byggnadshöjden bestod av fyra- till femvåningshus, dock förekom även lägre bebyggelse i kvartersformen.

Enligt Rådberg (Rådberg, 1988) har den här typen av bebyggelse en boendetäthet mellan 350 – 550 invånare per hektar. I studien kommer medelvärdet för boendetätheten 450 invånare per hektar att användas.

Byggnaden som representerar innerstaden består av ett kvarter och inte av ett enskilt hus, se exempel i figur 5.1. Byggnaden omgärdar en innergård och tillsammans bildar de en stor rektangel. Den är fyra till fem våningar hög. Taket sluttar med en vinkel på ca  $35^{\circ}$ . Antagandet om utformningen av den karaktäristiska byggnaden bygger på litteratur (Björk et al., 2000), samt uppskattningar utifrån flygbilder (Google 2013).



Figur 5.1 Exempel på utformning av ett innerstadskvarter (Björk et al., 2003)

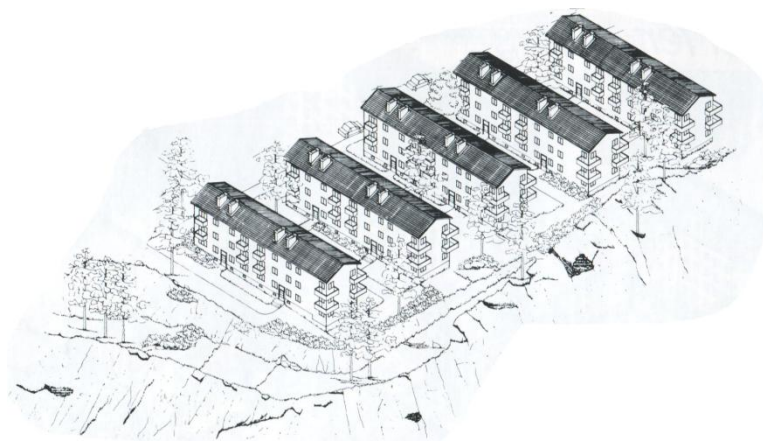
## 5.2 Lamellhusområde

I och med stockholmsutställningen år 1930 drabbades Sverige av funktionalismens ideal. Fram till nu hade kvarteren varit slutna rektanglar med mörka innergårdar. Denna tradition bröts upp och de klassiska kvarteren byttes ut mot långsmala fristående huskroppar, så kallade lamellhus (Björk et al., 2000). Husen planerades för maximal solinstrålning i lägenheterna för att ge en ljus och luftig känsla till de boende. De bakomliggande motiven var att ge den växande arbetarklassen hygieniskt lämpliga boendemiljöer för att minska folksjukdomar som tuberkulos (Ylander, 1993). Byggnadsmetoden fram till och med 1950-talet var hantverksmässig och inte lika storskalig som kännetecknar senare metoder. Detta gav stora möjligheter till anpassning av byggnaden till befintlig topografi och vegetation (Bostadsstyrelsen, 1976).

Antalet invånare per hektar inom området är enligt Rådberg (Rådberg, 1988) mellan 90 – 140. För lamellhusområdet används inte medelvärdet för detta intervall utan intervallet ska jämföras med antalet boende inom området beräknat utifrån Boverkets medelvärde över antalet boende per lägenhet i Sverige, 1,7 personer (Boverket, 2010). Jämförelse sker i kapitel 6 eftersom beräkning av antalet lägenheter inom området beror av vilket område i Lund som väljs som representativt för områdestypen, valet av område sker i kapitel 6. Jämförelsen går att genomföra eftersom husen som områdestypen utgörs av ofta har liknande planlösningar och därför är antalet lägenheter per huskropp ofta densamma för olika hus.

Byggnaden är ett så kallat smalhus, se exempel i figur 5.2. Den har genomgående lägenheter och är 10 meter bred, ca 40 meter lång och har 4 våningar. Huset är rakt och taket sluttar med en vinkel på ca  $32,5^\circ$ . Antagandet om utformningen av den karaktäristiska byggnaden bygger på litteratur (Björk et al., 2000), ritningar över

byggnader som kan karakteriseras som lamellhus i Lund samt uppskattningar utifrån flygbilder (Google 2013).



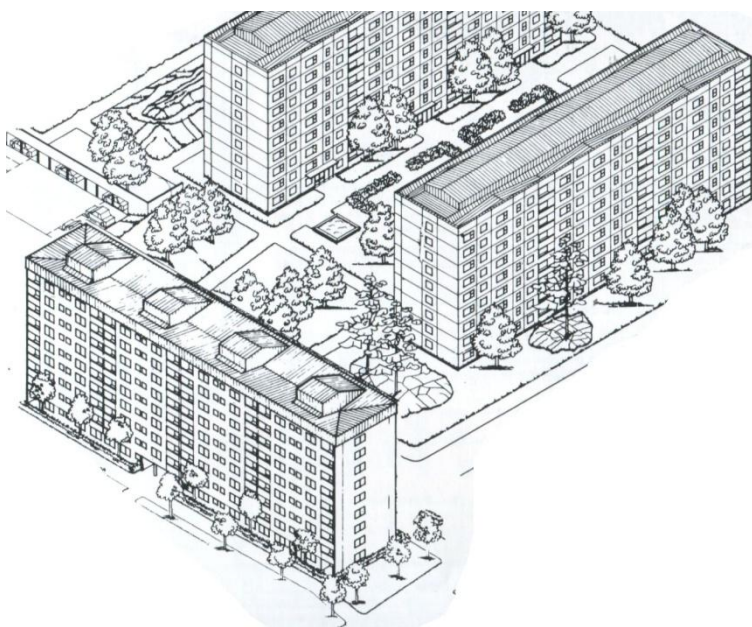
Figur 5.2 Exempel på utformning av ett lamellhusområde (Björk et al., 2003)

### 5.3 Skivhusområde

På grund av bostadsbrist beslutades i Sverige att det mellan år 1965 och 1975 skulle byggas en miljon nya bostäder (Björk et al., 2000). Husen som byggdes under denna period sägs därför tillhöra miljonprogrammet. Eftersom många bostäder skulle byggas på kort tid rationaliserades byggtekniken vilket resulterade i stora hus med många likadana lägenheter inom samma område. Vanligt var att bygga så kallade skivhus vilka i princip är höga och långa lamellhus (Björk et al., 2003). Terrängen i dessa områden omdanades så att produktionen av husen skulle kunna förenklas, detta innebar att vegetationen sedan återskapades och anpassades till det bebyggda området.

Enligt Rådberg (Rådberg, 1988) varierar antalet invånare per hektar mellan 150 och 300. Denna siffra ska jämföras med antalet boende inom området, vilket kan beräknas utifrån Boverkets medelvärde över antalet boende per lägenhet i Sverige, 1,7 personer (Boverket, 2010). Jämförelse sker som för lamellhusområdet i kapitel 6.

Byggnaden är ca 85 meter lång, 14 meter bred och består av 10 våningar. Taket är platt, se exempel på utformningen av skivhuset i figur 5.3. Antagandet om utformningen av den karaktäristiska byggnaden bygger på litteratur (Björk et al., 2000), ritningar över byggnader som kan karakteriseras som skivhus i Lund samt uppskattningar utifrån flygbilder (Google 2013).



Figur 5.3 Exempel på utformning av ett skivhusområde (Björk et al., 2003)

## 5.4 Radhus- och villaområde

Miljonprogrammets stora bostadsområden fick hård kritik på grund av dess storskalighet och brist på variation. Som svar på den monotonin ökade småhusproduktionen under miljonprogrammets andra hälft. Småhusproduktionen har aldrig varit så stor som den var under 1970-talet, med toppnoteringen år 1975 på drygt 47 000 producerade hus (SCB, 2013). Fler ville bo i radhus eller villor. Bostäderna producerades ofta av stora byggbolag vilket gjorde att områden med samma hustyp var vanliga. Vanligen byggdes dessa områden på nedlagd åkermark vilket betydde att naturmiljöer på tomter måste återskapas, tyvärr medförde den snabba byggtakten att utemiljön negligerades vilket gjorde att även dessa områden fick utså kritik för sitt systematiska utseende (Björk et al., 2009).

Boendetätheten för området beräknas utifrån Boverkets siffror över medelantalet boende per hus; 2,3 personer per hus (Boverket, 2010). Vidare beräkning av tätheten ges i kapitel 6.4.

Den representerande villan är 1,5 våningar hög med sadeltak tak i  $45^{\circ}$ , se exempel på utformning av villan i figur 5.4. Ibland kompletterades huset med ett garage, då med platt tak (Björk et al., 2009).

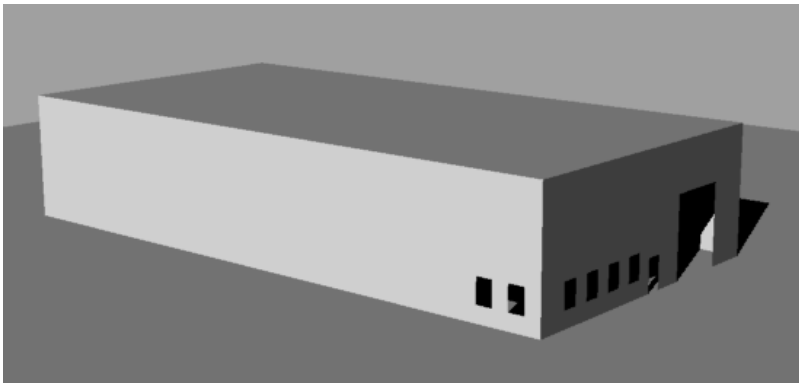


Figur 5.4 Exempel på utformning av en villa (Björk et al., 2009)

## 5.5 Industriområde

Stadens centrala delar har sedan gammalt varit en plats för handel och industri. Idag har dock närheten till den centrala tågstationen blivit mindre viktigt och närheten till det stora vägnätet, som dragits utanför staden, prioriterats. Markpriserna i stadens centrum har också bidragit till att industriområden skapats i städernas utkanter (Björk et al., 2000).

Områdets karaktäristiska byggnad utgörs av en tvåvåningars stålkonstruerad lagerhall med ungefärliga mått på 40 meter på längden och 20 meter på bredden, se exempel på utformning i figur 5.5. Taket sluttar så pass lite att det klassas som ett platt tak.



Figur 5.5 Exempel på utformning av en industribyggnad



## 6 Solinstrålning per område enligt solkartan

I kapitlets avsnitt definieras varje områdes geografiska position och utbredning i Lund. Därefter bestäms antalet boende inom området. Sedan presenteras solpotentialen för varje område per instrålningskategori.

De olika instrålningskategorierna definieras i tabell 4.1 och utgör nivåer för solinstrålningens intensitet. Om solpotentialen t.ex. anges som 500 MWh/år inom kategorin "Mindre god" innebär det att solpotentialen för alla takytor inom området som nås av en solinstrålning med intensiteten 800-900 kWh/m<sup>2</sup>,år är 500 MWh/år.

Solpotentialen för varje område redovisas även på fyra olika sätt (A-D) eftersom värdet som erhålls ur solkartan bearbetas.

- A. Solpotentialen sammanfattad ur solkartan (MWh/år)
- B. Solpotentialen beräknad med en ny antagen taklutning (MWh/år)
  - B beräknas enligt ekvation 6.1. Den nya taklutningen för varje område beskrivs i kapitel 5.

$$B = \frac{A \cdot \cos(30)}{\cos(\text{ny antagen taklutning})} \quad (\text{ekv. 6.1})$$

- C. Solpotentialen beräknad med ny antagen taklutning och per kvadratmeter område (kWh/år,m<sup>2</sup>)
  - C beräknas enligt ekvation 6.2. För beräkning av områdets area användes Sveriges länsstyrelsers webbaserade GIS-tjänst.

$$C = \frac{B}{\text{area område}} \quad (\text{ekv. 6.2})$$

- D. Solpotentialen beräknad med ny antagen taklutning och per person boende inom området (kWh/år,person)
  - D beräknas enligt ekvation 6.3. Antalet boende inom respektive område beräknas antingen i respektive avsnitt nedan och eller så används värdet som skildras i beskrivningen av områdena, kapitel 5.

$$D = \frac{B}{\text{antal boende inom området}} \quad (\text{ekv. 6.3})$$



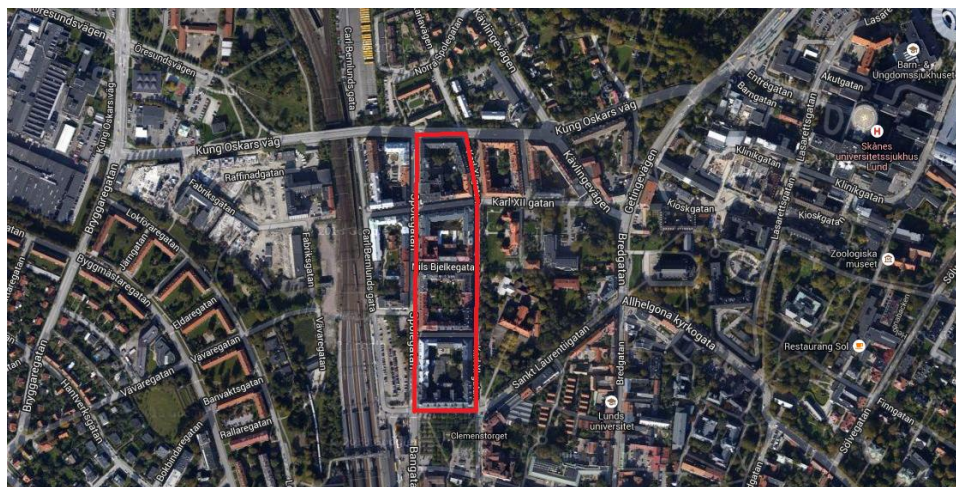
Sist i varje avsnitt presenteras solpotentialens fördelning mellan de olika kategorierna. Resultatet presenteras som ett cirkeldiagram där andelarna har beräknats enligt ekvation 6.4.

$$\text{Andel solpotential per kategori} = \frac{\text{Solpotential per kategori}}{\text{Solpotential för alla kategorier}} \quad (\text{ekv. 6.4})$$

Solpotentialen per kategori är det värde som sammanfattas ur solkartan, det vill säga värdet som beskrivs av punkt A ovan. Solpotentialen för alla kategorier är summan av solpotentialen per kategori.

## 6.1 Innerstadsområde

Det studerade innerstadsområdet utgörs av fyra kvarter öster om Kung Oscars bro, se figur 6.1. Områdets storlek uppgår till 41635 m<sup>2</sup> och antalet boende inom området är 450 invånare per hektar, enligt kapitel 5.1.



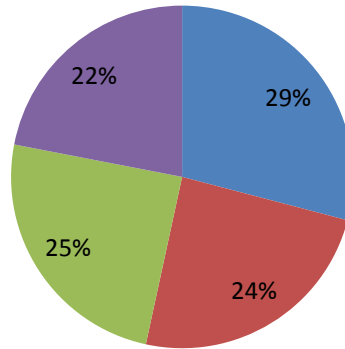
Figur 6.1 Geografisk definition av innerstadsområdets position och utbredning (Google, 2014)

Tabell 6.1 Solpotentialen för innerstadsområdet presenterat på fyra olika sätt med utgångspunkt från solkartan över Lund. Beskrivning av beräkningsgången för punkterna A-D ges i inledningen av kapitel 6.

	Enhet	Ej lämplig	Mindre god	God	Mycket god
A.	MWh/år	524	438	443	395
B.	MWh/år	553	463	469	418
C.	kWh/år, m <sup>2</sup> (områdesarea)	13	11	11	10
D.	kWh/år, person	295	247	250	223

## Solpotentialens fördelning

■ Ej lämplig ■ Mindre god ■ God ■ Mycket god

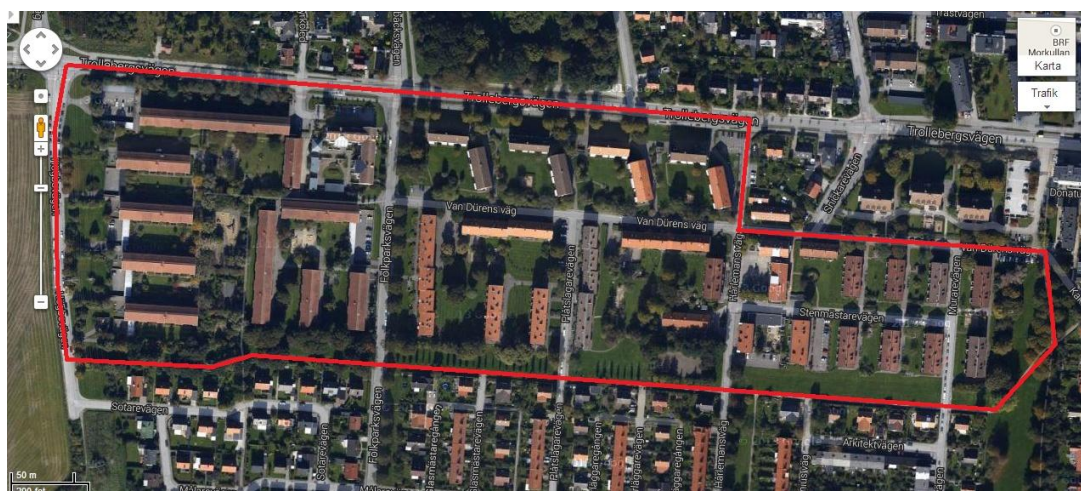


Figur 6.2 Fördelning av innerstadsområdets solpotential på de olika kategorierna för solinstrålning. Fördelningen är beräknad enligt ekvation 6.4.

## 6.2 Lamellhusområde

Det studerade lamellhusområdet ligger strax väster om Lunds centrum och söder om Trollebergsvägen. Områdets utseende ges av figur 6.3. Områdets storlek uppgår till 152290 m<sup>2</sup>. Antalet invånare per hektar har beräknats utifrån antalet lägenheter inom det definierade området, 1260 stycken, samt Boverkets siffror över antalet boende per lägenhet, 1,7 personer. Invånarantalet inom området är således 2142 personer vilket innebär en boendetäthet på ungefär 140 invånare per hektar. Den beräknade tätheten stämmer även överens med Rådbergs beskrivning, se kapitel 5.2.

Antalet lägenheter har uppskattats utifrån planritningar över byggnader i området.



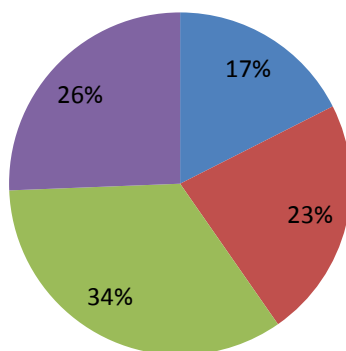
Figur 6.3 Geografisk definition av lamellhusområdets position och utbredning (Google, 2013)

Tabell 6.2 Solpotentialen för lamellhusområdet presenterat på fyra olika sätt med utgångspunkt från solkartan över Lund. Beskrivning av beräkningsgången för punkterna A-D ges i inledningen av kapitel 6.

	Enhet	Ej lämplig	Mindre god	God	Mycket god
A.	MWh/år	452	587	877	660
B.	MWh/år	464	602	901	678
C.	kWh/år, m <sup>2</sup> (områdesarea)	3	4	6	4
D.	kWh/år, person	218	283	422	318

## Solpotentialens fördelning

■ Ej lämplig ■ Mindre god ■ God ■ Mycket god

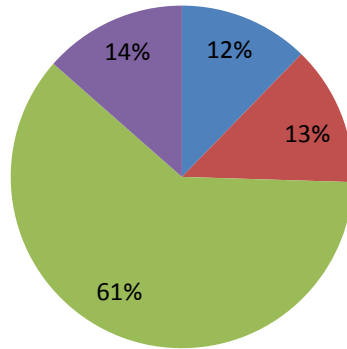


Figur 6.4 Fördelning av lamellhusområdets solpotential på de olika kategorierna för solinstrålning. Fördelningen är beräknad enligt ekvation 6.4.



## Solpotentialens fördelning

■ Ej lämplig ■ Mindre god ■ God ■ Mycket god

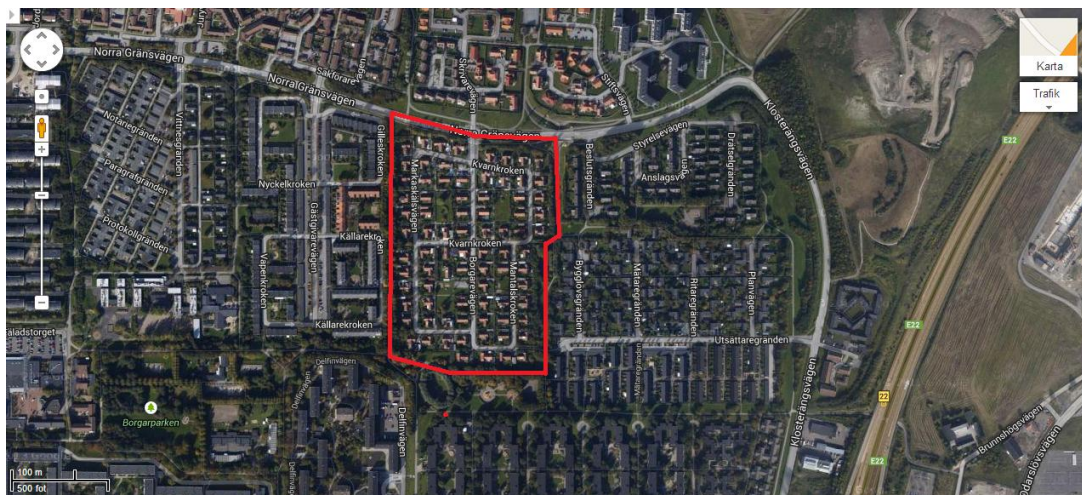


Figur 6.6 Fördelning av skivhusområdets solpotential på de olika kategorierna för solinstrålning. Fördelningen är beräknad enligt ekvation 6.4.



## 6.4 Villaområde

Det studerade villaområdet ligger i norra Lund, söder om Norra gränsvägen. Områdets utseende ges av figur 6.7. Områdets storlek uppgår till 9430 m<sup>2</sup>. Boendetätheten beräknas utifrån antalet villor inom området, 81 stycken och Boverkets siffror över antal boende per hus, 2,3 personer. Antalet boende inom området är således 186,3 personer vilket ger en boendetäthet på ca 200 invånare per hektar.



Figur 6.7 Geografisk definition av villaområdets position och utbredning (Google, 2013)

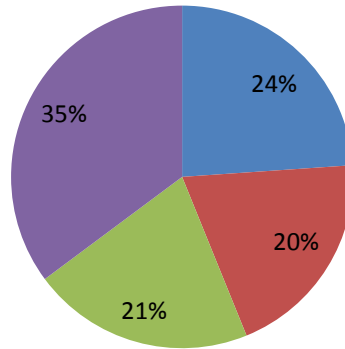
Tabell 6.4 Solpotentialen för villaområdet presenterat på fyra olika sätt med utgångspunkt från solkartan över Lund. Beskrivning av beräkningsgången för punkterna A-D ges i inledningen av kapitel 6.

	Enhet	Ej lämplig	Mindre god	God	Mycket god
A.	MWh/år	358	298	313	526
B.	MWh/år	438	365	384	644
C.	kWh/år, m <sup>2</sup> (områdesarea)	5	4	4	7
D.	kWh/år, person	233	194	204	343



## Solpotentialens fördelning

■ Ej lämplig ■ Mindre god ■ God ■ Mycket god



Figur 6.8 Fördelning av villaområdets solpotential på de olika kategorierna för solinstrålning. Fördelningen är beräknad enligt ekvation 6.4.

## 6.5 Industriområde

Det studerade industriområdet ligger i sydöstra Lund och går under namnet Gastelyckan. Områdets utseende framgår av figur 6.9. Områdets storlek uppgår till 828737 m<sup>2</sup>. Eftersom området inte utgörs av ett bostadsområde analyseras inte området utifrån befolkning.



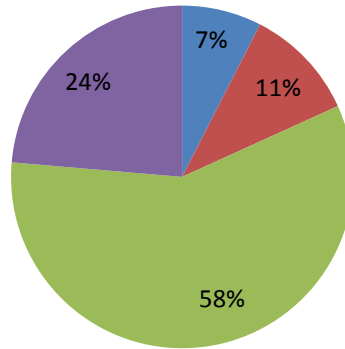
Figur 6.9 Geografisk definition av industriområdets position och utbredning (Google, 2013)

Tabell 6.5 Solpotentialen för industriområdet presenterat på tre olika sätt med utgångspunkt från solkartan över Lund. Beskrivning av beräkningsgången för punkterna A-C ges i inledningen av kapitel 6.

	Enhet	Ej lämplig	Mindre god	God	Mycket god
A.	MWh/år	1781	2530	13761	5596
B.	MWh/år	1543	2191	11917	4847
C.	kWh/år, m <sup>2</sup> (områdesarea)	2	3	14	6

## Solpotentialens fördelning

■ Ej lämplig ■ Mindre god ■ God ■ Mycket god



Figur 6.10 Fördelning av industriområdets solpotential på de olika kategorierna för solinstrålning. Fördelningen är beräknad enligt ekvation 6.4.

## 7 Modulering och simulering av karaktäristiska byggnader

I CAD-verktyget Rhinoceros 5 har modeller över karaktäristiska byggnader skapats. För simulering av solinstrålningen för byggnaderna används programmen DIVA-for-Rhino och Grasshopper. Grasshopper utgör i princip ett gränssnitt för att effektivisera användningen av DIVA.

DIVA-for-Rhino används frekvent av arkitekter för att simulera dagsljusnivåer i och på byggnader men programmet kan även användas för att simulera solinstrålning. Programmet bygger på den ”backward-ray-tracing-algoritim” som används i programmet Radiance (Kanters, 2012). Beräkningsalgoritmen som används i DIVA-for-Rhino baseras även på Perez modell av himlavalvet (Kanters, 2012).

Principiellt fungerar simuleringssystemet enligt stegen nedan:

1. Modell skapas i Rhinoceros 5
2. De delar av modellen där solinstrålningen ska analyseras (tak och fasader) delas upp i mindre ytor om ca 1 m<sup>2</sup>.
3. Modellen importeras till Grasshopper.
4. Modellens alla ytor tilldelas ett material med förutbestämda reflektionsegenskaper
5. Solinstrålningen simuleras på varje enskild yta med hjälp av DIVA.
6. Simuleringen genererar ett värde för solinstrålning per kvadratmeter för varje yta. Ytorna delas upp i de kategorier som beskrivs i tabell 4.1.
7. Solinstrålningen på varje yta multipliceras med ytans storlek och summeras inom varje kategori.
8. Utdata i form av summerad solinstrålning inom de olika kategorierna exporteras till Microsoft Excel.

### 7.1 Simulering

Simulering har först genomförts för två olika scenarier:

- |   |                                    |      |
|---|------------------------------------|------|
| 1 | Solinstrålning för tak             | (S1) |
| 2 | Solinstrålning för tak och fasader | (S2) |

För båda scenarierna har modellen simulerats två gånger, en gång med byggandens gavel mot söder och en gång med byggnadens långsida mot söder. Resultatet från dessa två simuleringar har sedan lagts sedan ihop och dividerats med två. Anledningen till detta ligger i att resultatet av simuleringen skall spegla solinstrålningen på en byggnad med genomsnittlig orientering.

Resultatet från varje simulering har tagits fram dels för den totala solinstrålningen och dels uppdelat på kategorierna mindre god-, god- och mycket god solinstrålning

(enligt tabell 4.1). Anledningen till detta ligger i att faktorn för förhållandet mellan simulering i scenario ett och scenario två skall kunna tas fram för både total solinstrålning (för alla ytor med solinstrålning  $>800 \text{ kWh/m}^2$ ) och för varje solinstrålningskategori. Kategorin ”Ej lämplig” har inte undersökts.

Till sist har ett tredje scenario att simuleras:

### 3 Solinstrålning för optimerad byggnad (S3)

Solinstrålningen delas även i detta scenario upp i total solinstrålning samt i kategorierna mindre god-, god-, och mycket god solinstrålning så att faktorer för skillnaden mellan scenario ett och scenario tre skall kunna tas fram för varje kategori.

#### 7.1.1 Förutsättningar simulering

Olika typer av material reflekterar solljus på olika sätt vilket gör att simuleringen inte enbart påverkas av modellens geometriska utseende utan även av dess materialsammansättning. Därför kategoriseras modellens olika byggnadsdelar och ansätts olika material i Grasshopper, materialen väljs utifrån färdiga förslag i programmet. Kategorierna utgörs av tak, fasader, mark samt omkringliggande byggnader och vegetation. De omkringliggande byggnaderna och vegetationen antas ha samma reflekterande egenskaper som byggnadens fasader.

För simuleringen av solinstrålningen har väderdata importerats från väderprogrammet Meteonorm. Väderdata som genereras av programmet utgår ifrån flera olika mätstationer intill en vald plats, data interpoleras utifrån mätstationerna för att generera ett specifikt väder för den valda platsen. I studien har Lund valts som plats. För redovisning av exakta inställningar av Meteonorm hänvisas till bilaga 1; Meteonorm.

Vidare krävs val av parametrar som styr den reflekterade solinstrålningen i simuleringen, värden på dessa parametrar redovisas i bilaga 1; Förutsättningar DIVAdaylight.

## 7.2 Modell

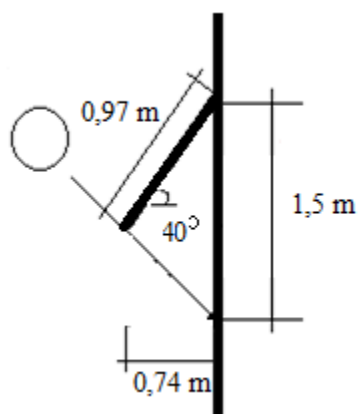
Modeller över byggnader är utformade utifrån beskrivningar av byggnader i kapitel 5 samt ritningar över byggnader i det aktuella området. Byggnaden är placerad i en omgivning bestående av markyta samt skuggande byggnader och vegetation. Antaganden om omgivningens utformning såsom placering av objekt och mått är baserade på de figurer som definierar varje områdes storlek, se figur 6.1, 6.3, 6.5, 6.7 och 6.9. Bilder över modellerna redovisas i bilaga 2.

Modellen över innerstadskvarteret genererade en väldigt stor fil som inte har kunnat hanteras av simuleringsprogrammet. Analysen av området går därför inte längre än den sammanställning av solkartan som beskrivs i kapitel 6.1.

De modeller som speglar de optimerade byggnaderna redovisas också i bilaga 2. Optimering av byggnad kan ske på två sätt, antingen genom enbart optimering av

orientering (gavel mot söder eller långsida mot söder) eller optimering av orientering samt komplettering av byggnadsdetaljer (tillägg av solpaneler på tak och fasader).

Optimering av byggnadsdelar har bla. skett genom tillägg av solpaneler på byggnadens fasad. På de byggnader som är avsedda för boende har krav ställts på att panelerna inte får skugga fönster från direkt solinstrålning, panelerna har därför placerats under alla fönster. Beräkning av solpanelernas storlek har följt metoden enligt figur 3.8. Avståndet i höjdlid mellan fönstrena är 1,5 meter och vinkeln på panelen har satts till  $40^{\circ}$ , detta antas vara vinkelrätt mot solinstrålningen. Storleken av panelerna visas i figur 7.1 nedan. För enkelhetens skull har samma utformning använts på industribyggnaden trots att kravet mot skuggning inte finns, då med skillnaden att avståndet i höjdlid mellan solpanelerna sätts till 1,5 meter för att enbart undvika skuggning av solpanelerna.



Figur 7.1 Utformning solpanel

Komplettering har i skivhusets fall även skett genom en ny takkonstruktion i linje med beskrivning i kapitel 3.1.1. Vinkeln för modulernas lutning har då valts för att göra konstruktionen så liten som möjligt men att den ändå täcker de byggnadsdelar som finns på taket sedan tidigare. Vinkeln på modulerna blev då ungefär  $27^{\circ}$ , en vinkel som enligt figur 2.3 ändå ger en god solinstrålning.

### 7.3 Resultat simulering

I tabell 7.1 redovisas beskrivning av beräkningen av de faktorer som speglar förändringen mellan scenario 1 (S1) och scenario 2 (S2) samt förändringen mellan scenario 1 (S1) och scenario 3 (S3). Resultat för respektive byggnad redovisas i tabell 7.2 – 7.5.

Tabell 7.1 Beskrivning av beräkningsgång vid framtagande av de faktorer som speglar förändringen mellan de olika scenarierna enligt avsnitt 7.1. Förändringen mellan scenarierna redovisas för total-, mindre god-, god- och mycket god solinstrålning.

	<b>Totalt</b>	<b>Mindre god</b>
Faktor förändring S1 och S2	$\frac{S2_{total}}{S1_{total}}$	$\frac{S2_{mindre\ god}}{S1_{mindre\ god}}$
Faktor förändring S1 och S3, orientering	$\frac{S3_{orientering,total}}{S1_{total}}$	$\frac{S3_{orientering,mindre\ god}}{S1_{mindre\ god}}$
Faktor förändring S1 och S3, orientering och komplettering	$\frac{S3_{orientering,komplettering,total}}{S1_{total}}$	$\frac{S3_{orientering,komplettering,mindre\ god}}{S1_{mindre\ god}}$

	<b>God</b>	<b>Mycket god</b>
Faktor förändring S1 och S2	$\frac{S2_{god}}{S1_{god}}$	$\frac{S2_{mycket\ god}}{S1_{mycket\ god}}$
Faktor förändring S1 och S3, orientering	$\frac{S3_{orientering,god}}{S1_{god}}$	$\frac{S3_{orientering,mycket\ god}}{S1_{mycket\ god}}$
Faktor förändring S1 och S3, orientering och komplettering	$\frac{S3_{orientering,komplettering,god}}{S1_{god}}$	$\frac{S3_{orientering,komplettering,mycket\ god}}{S1_{mycket\ god}}$

Tabell 7.2 Resultat simulering. lamellhus

	<b>Totalt</b>	<b>Mindre god</b>	<b>God</b>	<b>Mycket god</b>
Faktor förändring S1 och S2	1,04	1,14	1,03	1,00
Faktor förändring S1 och S3, gavel söder	1,32	2,26	2,07	-
Faktor förändring S1 och S3, långsida söder	0,77	0,03	-	2,00
Faktor förändring S1 och S3, gavel söder och komplettering	1,40	2,65	1,95	0,10

Förändringen mellan S1 och S2 är väldigt liten, resultatet är nära 1,0, något som innebär att inkludering av solinstrålning mot fasader inte förbättrar lamellhusområdets solpotential nämnvärt när huset antas ha en genomsnittlig orientering, se avsnitt 7.1 för beskrivning av scenarier. När husets gavel vänds mot söder kan en viss förbättring av den totala solinstrålningen antydast. Mindre god- och god solinstrålning ökar med drygt det dubbla då gaveln riktas mot söder medan den mycket goda solinstrålningen är noll vid simuleringen. Ett nollresultat vid simuleringen gör att även faktorn för ökningen av den mycket goda solinstrålningen blir lika med noll, resultatet redovisas då som ett streck i tabellen. När husets långsida vänds mot söder minskar den totala solinstrålningen medan den högkvalitativa mycket goda solinstrålningen ökar med det dubbla. Eftersom den orientering som ger störst total ökning av solinstrålningen är den då husets gavel vetter mot söder analyseras även den orienteringen med en kompletterad byggnad. Den totala solinstrålningen ökar då något jämfört med det icke-kompletterade utseendet.



**Tabell 7.3 Resultat simulering, skivhus**

	<b>Totalt</b>	<b>Mindre god</b>	<b>God</b>	<b>Mycket god</b>
Faktor förändring S1 och S2	1,49	3,46	1,00	1,00
Faktor förändring S1 och S3, gavel söder	1,18	1,30	1,29	-
Faktor förändring S1 och S3, långsida söder	1,80	5,61	0,70	2,00
Faktor förändring S1 och S3, långsida söder och komplettering	2,58	2,08	0,22	23,53

**Tabell 7.4 Resultat simulering, villa**

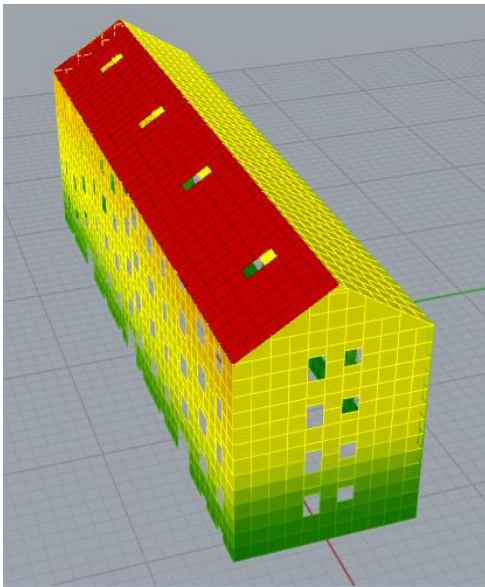
	<b>Totalt</b>	<b>Mindre god</b>	<b>God</b>	<b>Mycket god</b>
Faktor förändring S1 och S2	1,04	1,03	1,17	1,00
Faktor förändring S1 och S3, gavel söder	1,29	2,04	2,35	-
Faktor förändring S1 och S3, långsida söder	0,78	0,03	-	2,00

Tabell 7.5 Resultat simulering. industribyggnad

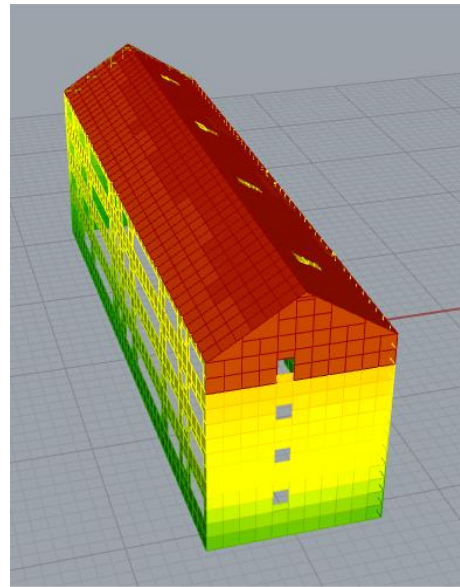
	Totalt	Mindre god	God	Mycket god
Faktor förändring S1 och S2	1,07	-	1,00	-
Faktor förändring S1 och S3, gavel söder	1,05	-	1,00	-
Faktor förändring S1 och S3, långsida söder	1,09	-	1,00	-
Faktor förändring S1 och S3, långsida söder och komplettering	1,29	-	1,16	-

## 7.4 Analys simulering

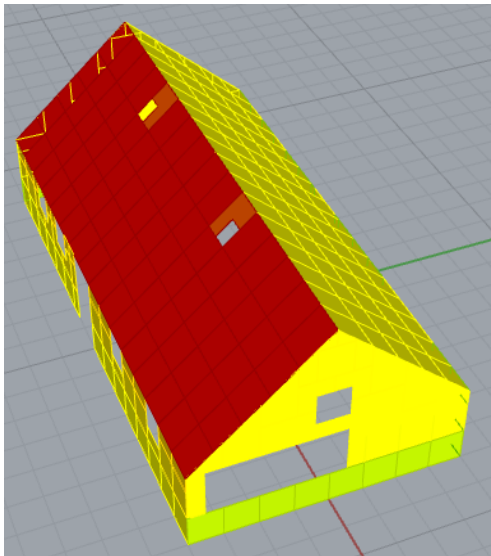
Vid simulering av lamellhuset och villan visar det sig att scenariot med gavel mot söder genererar en högre solpotential än scenariot med långsidan mot söder. Anledningen till att den totala solinstrålningen kan bli större för detta scenario ligger i att hela takets yta utnyttjas, taket får mindre sol per kvadratmeter men eftersom en större area bestrålas blir totalinstrålningen större än när husets långsida vetter mot söder. Skillnaden visas i figur 7.1 och 7.2, de ytor som är orangea och röda har en solinstrålning på 800 kWh/m<sup>2</sup> eller mer.



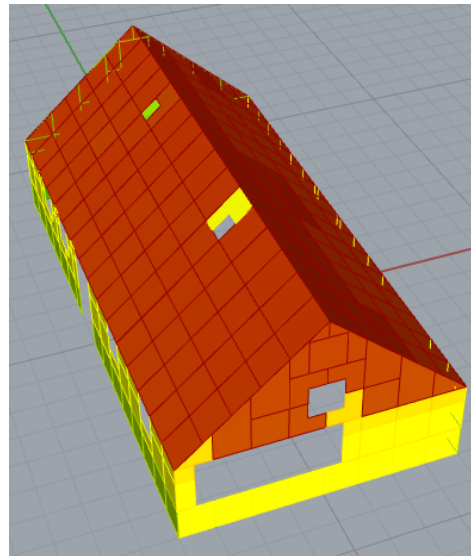
**Figur 7.1a** Simulerad solinstrålning för lamellhuset med långsidan mot söder



**Figur 7.1b** Simulerad solinstrålning för lamellhuset med gaveln mot söder

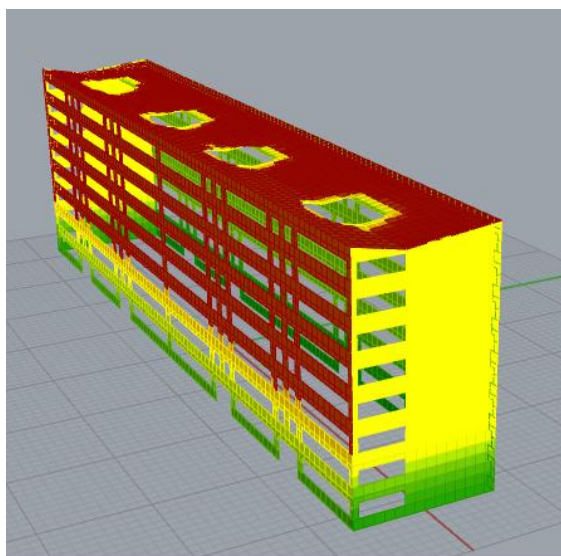


**Figur 7.2a** Simulerad solinstrålning för villan med långsidan mot söder



**Figur 7.2b** Simulerad solinstrålning för villan med gaveln mot söder

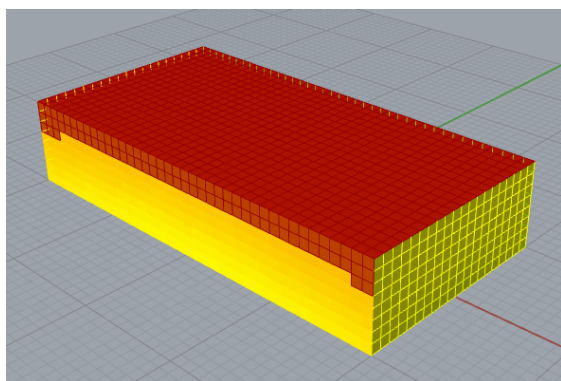
Skivhuset har störst solpotential då långsidan vetter mot söder. Med långsidan mot söder ökar den mindre goda solinstrålningen tack vare att stora fasadytor kan utnyttjas, se figur 7.3, vilket i sin tur är starkt beroende av att skuggning av fasaden i princip inte sker. Även den mycket goda solinstrålningen ökar eftersom det ”platta” taket faktiskt inte är helt platt utan delar av det lutar en aning mot söder.



Figur 7.3 Simulerad solinstrålning för skivhuset med långsidan mot söder

Resultaten för industriområdet, eller snarare bristen på resultat för industriområdet, beror på att modellen som använts varit alltför homogen i sitt utseende.

Homogeniteten resulterar i att solinstrålning endast registreras inom två kategorier per scenario, se figur 7.4, vilket gör att medelvärdet för några kategorier antingen blir 0 eller så kommer det att bli division med 0 och resultatet uteblir. Resultatet för faktorn över ökningen av den totala solinstrålningen går dock att använda, något som redogörs för i kapitel 8. Trots vissa brister i resultatet visar simuleringarna att byggnaden erhåller störst solpotential när långsidan riktas mot söder, i figur 7.4 visas detta scenario, de orangea och röda områdena är ytor med en solinstrålning på mer än  $800 \text{ kWh/m}^2$ .



Figur 7.4 Simulerad solinstrålning för industribyggnaden med långsidan mot söder. Notera att variationen av färger är begränsad, något som betyder att solinstrålningen i princip endast registreras för någon av solinstrålningskategorierna.

Ovan beskrivs bland annat den bästa orienteringen för varje analyserat område. För områdena lamellhus, skivhus och industri visar simuleringarna att denna orientering i kombination med en komplettering av byggnaden ger störst solpotential, speciellt i skivhusets fall då den kompletterade byggnaden uppvisar en väsentlig ökning av

solpotentialen. Vid vidare beräkning av solpotentialen för optimerade byggnader används därför simulerade faktorer för scenarier enligt tabell 7.6 nedan.

**Tabell 7.6 Bäst optimering av respektive område**

<b>Område</b>	<b>Scenario vid optimering</b>
Innerstadsområde	
Lamellhusområde	Gavel mot söder, komplettering
Skivhusområde	Långsida mot söder, komplettering
Villaområde	Gavel mot söder
Industriområde	Långsida mot söder, komplettering

## 8 Områdesknuten solpotential

Den områdesknutna solpotentialen per kategori (mindre god, god, mycket god, se tabell 4.1) beräknas enligt ekvation 8.1. Termen  $Solpotential_{solkartan,kategori}$  är då beräknad antingen enligt ekvation 6.2, dvs. som solpotentialen per områdesarea, eller enligt ekvation 6.3, som solpotentialen per boende inom området.

$$Solpotential_{tak\ och\ fasader,kategori} = \text{Solpotential}_{solkartan,kategori} * Faktor_{simulering,kategori} \quad (\text{ekv. 8.1})$$

Förutsättningarna för att beräkningsgången i studien ska fungera ligger dock i att den fördelning som uppstår mellan de olika solinstrålningskategorierna (mindre god, god och mycket god) överrensstämmer för de resultat som samlats in från solkartan ( $Solpotential_{solkartan,kategori}$ ) och de resultat som erhålls från simuleringen ( $Faktor_{simulering,kategori}$ ).

Både fördelningen från solkartan och fördelningen från simuleringarna ska spegla en medelfördelning för varje område. Att fördelningarna är lika är dock en praktisk omöjlighet eftersom fördelningarna inte utgör medel utan endast är stickprov som närmar sig medel. Detta blir tydligt när man jämför den totala solpotentialen för ett område beräknat på två olika sätt:

$$Solpotential_{total\ 1} = Solpotential_{tak\ och\ fasader,total} = \text{Solpotential}_{solkartan,(mindre\ god+god+mycket\ god)} * faktor_{total\ ökning} \quad (\text{ekv 8.2})$$

$$Solpotential_{total\ 2} = Solpotential_{tak\ och\ fasader,total} = \text{Solpotential}_{solkartan,mindre\ god} * faktor_{mindre\ god} + \text{Solpotential}_{solkartan,god} * faktor_{god} + \text{Solpotential}_{solkartan,mycket\ god} * faktor_{mycket\ god} \quad (\text{ekv. 8.3})$$

Skillnaden mellan  $Solpotential_{total\ 1}$  och  $Solpotential_{total\ 2}$  redovisas i tabell 8.1 nedan. Den relativa skillnaden är beräknad enligt ekvation 8.4.

$$\text{Relativ skillnad} = \frac{Solpotential_{total\ 1}}{Solpotential_{total\ 2}} \quad (\text{ekv. 8.4})$$

Tabell 8.1 Skillnader i solpotential för Solpotential<sub>total1</sub> och Solpotential<sub>total2</sub>

Område	Solpotential <sub>total 1</sub> (kWh/år)	Solpotential <sub>total 2</sub> (kWh/år)	Skillnad (kWh/år)	Relativ skillnad
Lamellhus	2277771	2297386	-19615	1,0
Skivhus	6904558	6328672	575886	1,1
Villa	1445417	1471971	-26554	1,0
Industri	20292814	11911984	8380831	1,7

Detta innebär att det finns vissa svårigheter att analysera solpotentialen inom varje kategori genom att multiplicera faktorn över ökningen per kategori med solpotentialen inom kategorin hämtat från solkartan.

Eftersom den relativa skillnaden är väldigt stor för industriområdet kommer istället faktorn för den totala ökningen för området att multipliceras med resultatet för varje kategori hämtat från solkartan. Dvs. enligt ekvation 8.5.

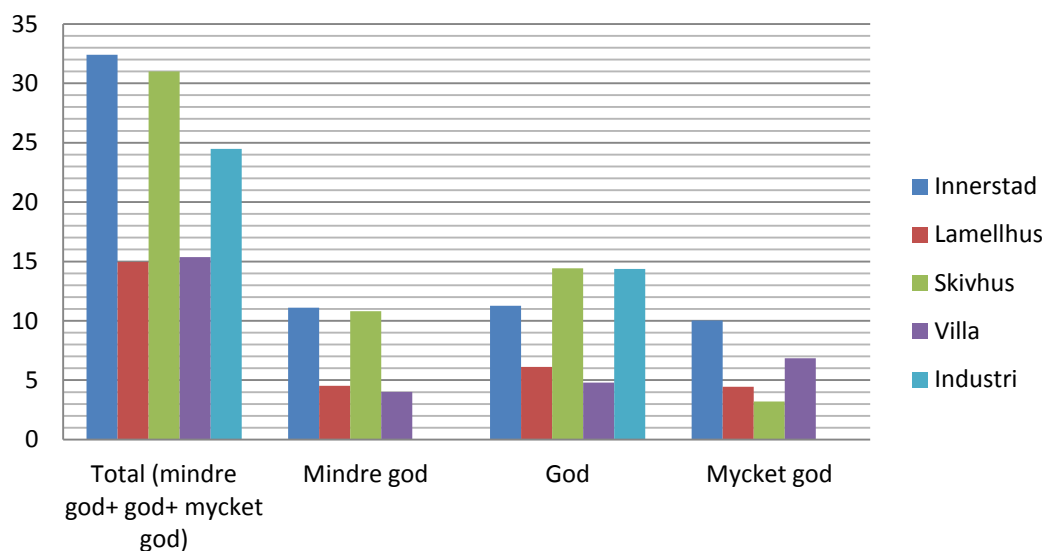
Solpotential<sub>tak och fasader,kategori</sub> = (ekv. 8.5)

$$\text{Solpotential}_{\text{solkartan,kategori}} * \text{Faktor}_{\text{simulering,total ökning}}$$

För de övriga områdena kommer faktorn för varje kategori att användas, vilket gör att beräkningsgången för dessa områden följer ekvation 8.1.

Nedan redovisas solpotentialen per områdesarea samt per person boende inom området.

## Årlig solpotential per områdesarea (kWh/m<sup>2</sup>)



Figur 8.1 Årlig solpotential per områdesarea. Total solpotential är beräknad enligt ekvation 8.2 och solpotentialen per kategori är beräknad enligt ekvation 8.1.

Innerstadsområdet och skivhusområdet uppvisar en tydligt högre total solpotential per områdesarea jämfört med de resterande områdena. Den totala solpotentialen för innerstadsområdet innehåller en jämn fördelning mellan respektive instrålningskategori medan skivhusområdet har en betydligt högre andel mindre god och god solinstrålning.

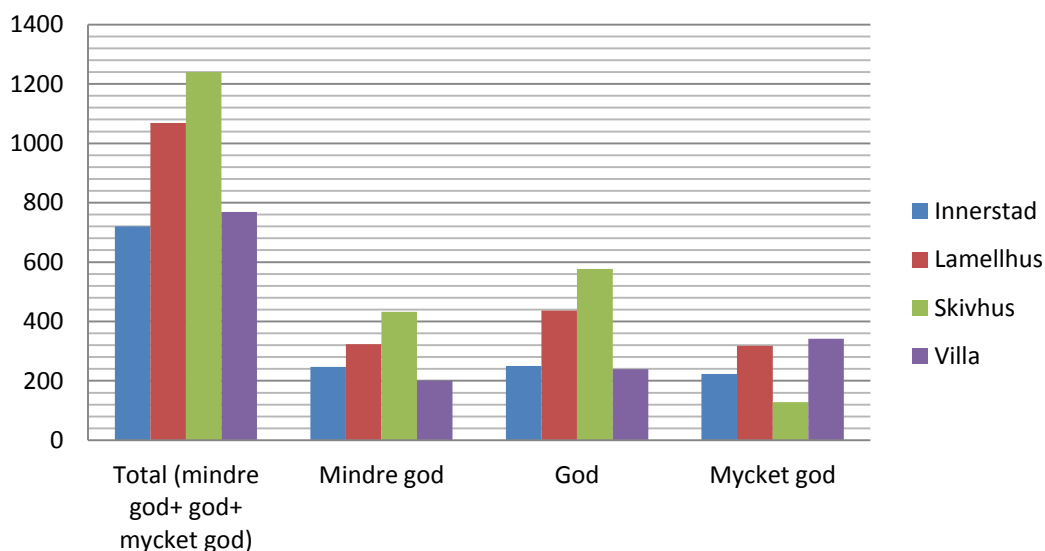
Anledningen till att innerstadsområdet uppvisar ett högt resultat per områdesarea beror på att området uppvisar en stor mängd takyta per kvadratmeter mark. Att fördelningen är jämn mellan de olika instrålningskategorierna beror till stor del på att utseendet på taken, dvs. takens lutning och orientering, varierar inom det valda geografiska området.

Skivhusområdet är det enda området som tack vare stora oskuggade fasadytor faktiskt kan utnyttja byggnaders fasader i hög utsträckning, se figur 7.3., något som bidrar till att potentialen är hög. Samtidigt erhåller området relativt övriga instrålningskategorier lite instrålning av mycket god kvalitet något som beror just på att fasaderna utnyttjas samt att taket är platt och inte vinklat mot söder.

Industriområdets solpotential är svårtolkad eftersom simuleringarna genererade nollresultat över förändringsfaktorerna för den mindre goda- och mycket goda solinstrålningen. För industriområdet blir det därför mest intressant att titta på den totala solpotentialen.



## Årlig solpotential per boende (kWh/person)



Figur 8.2 Årlig solpotential per boende. Total solpotential är beräknad enligt ekvation 8.2 och solpotentialen per kategori är beräknad enligt ekvation 8.1.

Enligt uppgifter från Boverket (Boverket 2010) och Energimyndigheten (Energimyndigheten 2011) förbrukar varje boende i ett flerbostadshus ca 3500 kWh årligen och varje boende i ett så kallat småhus, läs villor, ca 2800 kWh per år. Dessa siffror inkluderar inte energi som går till uppvärmning av boendet eller varmvattnet. Jämför man dessa siffror med resultatet presenterat i figur 8.2 borde alltså cirka en tredjedel av energibehovet kunna täckas av energi ifrån solceller.

Att villaområdet inte uppvisar högst total solpotential per boende kan ses som något förvånande, mängden takyta kan tyckas vara betydligt större per person för en villa än för innerstads-, skiv- och lamellhuset. Skivhuset har dock som sagt stora fasadytor som utnyttjas, något som övriga byggnader inte har. Att villaområdet inte har större potential än lamellhusområdet och att skillnaden mellan villa- och innerstadsområdet inte är större beror antingen på att takytorna för det undersökta villaområdet har en sådan orientering att solpotentialen blir låg eller att lamellhuset och kvartershuset faktiskt har mer takyta per boende, något som förefaller otroligt men som i den här studien inte har undersökts och därför är osäkert.

Fördelningen mellan respektive instrålningskategori är densamma för solpotentialen per boende som potentialen per områdesarea. Skillnaden mellan figurerna beror således endast på områdets täthet, ju mer människor per områdesarea desto sämre solpotential per boende.

## 8.1 Optimering

Den optimerade solpotentialen beräknas enligt samma modell som i kapitlet ovan dock med en annan faktor, nämligen den som speglar det bäst optimerade scenariot, se tabell 7.6. Bräkningsmodellen anges i ekvation 8.6 nedan.

$$\text{Solpotential}_{\text{tak och fasader, kategori}} = \text{Solpotential}_{\text{solkartan, kategori}} * \text{Faktor}_{\text{simulering, optimering, kategori}} \quad (\text{ekv. 8.6})$$

Samma problematik som i avsnitt ovan uppstår även vid den här beräkningen. Skillnaderna vid beräkning av ekvation 8.2 och 8.3 redovisas i tabell 8.2.

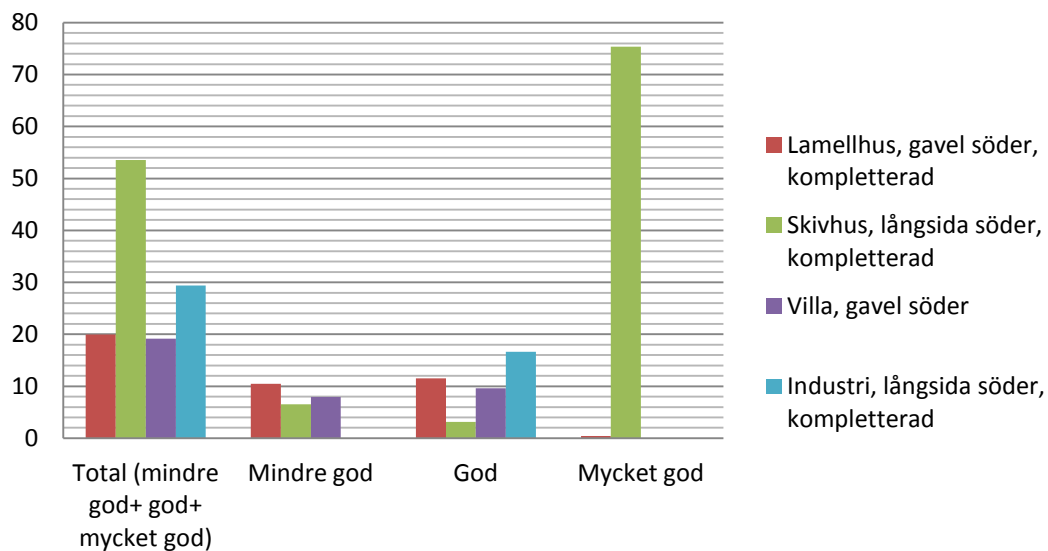
**Tabell 8.2 Skillnader i solpotential för Solpotential<sub>total1</sub> och Solpotential<sub>total2</sub> beräknade utifrån simulering med optimerade byggnader.**

Område	Solpotential <sub>total 1</sub> (kWh/år)	Solpotential <sub>total 2</sub> (kWh/år)	Skillnad (kWh)	Relativ skillnad
Lamellhus	3043956	3419136	-375180	0,9
Skivhus	11926896	18928059	-7001163	0,6
Villa	1799797	1647484	152313	1,1
Industri	24366097	13799322	10566776	1,8

Eftersom den relativa skillnaden är väldigt stor för industriområdet även den här gången beräknas potentialen för varje instrålningskategori med hjälp av faktorn för den totala ökningen. Den relativa skillnaden är stor även för det optimerade skivhusområdet, solpotentialen beräknas ändå enligt ekvation 8.6.

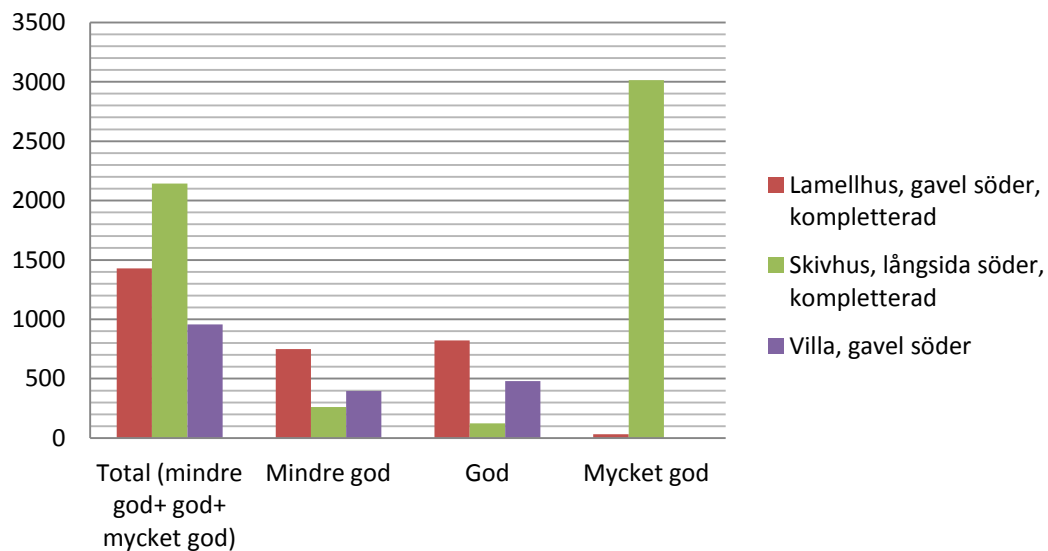
Resultatet för de optimerade områdena presenteras nedan per m<sup>2</sup> och per person.

## Årlig solpotential, optimering, per områdesarea (kWh/m<sup>2</sup>)



Figur 8.3 Årlig solpotential, optimering, per områdesarea. Total solpotential är beräknad enligt ekvation 8.2 och solpotentialen per kategori är beräknad enligt ekvation 8.1.

## Årlig solpotential, optimering, per boende (kWh/person)



Figur 8.4 Årlig solpotential, optimering, per boende. Total solpotential är beräknad enligt ekvation 8.2 och solpotentialen per kategori är beräknad enligt ekvation 8.1.

Den totala solpotentialen för skivhusområdet är betydligt större än resterande områdets solpotential både per områdesarea och per boende. Resultatet grundar sig framförallt i det fördelaktiga utseendet på det optimerade taket, för modell se bilaga 2, där takytan som tar emot solinstrålning av mycket hög kvalitet ökar i stor utsträckning. Utöver taket kan även stora delar av fasaderna utnyttjas på bästa sätt med hjälp av de vinklade panelerna.

Potentialen för lamellhus- och villaområdet ökar något jämfört med deras respektive ooptimerade utseende. Att ökningen inte är så påtaglig som för skivhusområdet beror på att byggnadernas utseende inte har förändrats lika radikalt. Förbättringar har enbart skett av byggnadernas orientering samt av fasader. Fasadernas möjligheter till förbättring är dock begränsade till följd av skuggning, något som inte skivhuset lider av.

Jämförs den totala solpotentialen för skivhuset per boende med energianvändningen per boende enligt Boverket (Boverket 2010) och Energimyndigheten (Energimyndigheten 2011) kan knappt två tredjedelar av användningen tas ifrån solceller, energianvändningen är ca 3500 kWh/år,boende för flerbostadshus. För övriga områden kan ca en tredjedel av användningen täckas av energi ifrån solceller, något som gällde för områdena även då byggnaderna inte hade optimerats. Energianvändningen för villor beräknas vara ungefär 2800 kWh/år,boende.

Resultatet över den totala solpotentialen för lamellhusområdet och villaområdet är väldigt lika varandra, fördelningen mellan instrålningskategorierna är även de liknande. Ingen av områdestyperna tar emot någon solinstrålning inom den mycket goda kategorin, något som beror på att husets gavel vetter mot söder vid val av optimal orientering av byggnaderna.

Resultatet för industriområdet lider även denna gång på samma sätt som beskrivs vid figur 8.1.



## 9 Diskussion

En stor källa till fel i studien ligger i antagandet om att insamlad data och simulerad data utgör medelvärde för solpotential för de valda områdestyperna. Medelvärdet som beräknas utifrån data ifrån solkarta är ett medel för det valda området, men inte för områdestypen. Med medelvärde menas då att storleken på potentialen och fördelningen av potentialen mellan kategorierna mindre god, god och mycket god hade speglat det verkliga förhållandet för områdestypen. För att komma nära medel för datainsamlingen ur solkartan valdes så stora och så homogena områden som möjligt, homogen i den bemärkelsen att byggnaderna inom området såg likadana ut. För att resultatet från simuleringen skulle bli så nära ett medelvärde som möjligt simulerades två ytterlighetsscenarioer, byggnadens gavel mot söder och byggnadens långsida mot söder, resultaten adderades sedan och dividerades med två. Hur den simulerade byggnaden modulerades var också ett sätt att få resultatet från simuleringarna att återspegla solpotentialen för en genomsnittlig byggnad i ett genomsnittligt område. Modellerna skapades dock både ur teoretiska beskrivningar av byggnader och ur ritningar och bilder över de faktiska områdena i Lund, alltså inte ur någon statistik över hur medelbyggnader för varje område ser ut. Som nämnts tidigare i studien utgör detta inte medelvärderna utan endast stickprov som närmar sig medel. För att komma närmare det verkliga medelvärdet hade fler områden, inom samma typ, kunnat studeras och fler orienteringsalternativ och byggnadsmodeller hade kunnat simuleras. På grund av brist av tid och resurser har detta dock varit omöjligt.

En annan källa till systematiskt fel i studien är antagandena om antalet boende inom varje område. Antagandena grundar sig i Rådbergs beskrivning av olika områdestyper samt en överslagsräkning av antalet invånare utifrån ritningar och boverkets siffror över antal boende per lägenhet och per villa i Sverige. Detta kan t.ex. vara en bidragande faktor till att lamellhusområdet har en högre solpotential per boende än villaområdet.

Gällande jämförelsen av potentialen mellan de olika områdestyperna bör det beaktas att resultatet för innerstadsområdet, till skillnad från resultatet för övriga områden, utgörs endast av en sammanfattning och omräkning av solkartan över Lund. Detta innebär att resultatet bara visar solpotentialen för taken inom det definierade området. Anledningen till att området inte analyserades vidare var att simulering krävde för stor datorkraft. Resultatet är dock användbart då den täta bebyggelsen som innerstaden utgörs av gör att skuggning av fasader är ett stort problem och att fasaderna alltså ändå inte hade bidragit till en ökad solpotential.



## 10 Slutsats

Innerstadsområdet och skivhusområdet uppvisar störst solpotential per områdesyta. Om man vill skapa stora anläggningar med effektiv användning av solpaneler, växelriktare etc. är det därför lämpligt att exploatera tak och fasader inom just de områdena. Att stora anläggningar befinner sig inom ett begränsat område gör även att förhållandena för skötsel och underhåll blir bättre. Anledningen till att dessa områden har den bästa solpotentialen per yta mark ligger för innerstadsområdet i att området är så pass tätt bebyggt att det helt enkelt finns väldigt mycket takyta inom ett litet område. Skivhusområdet å andra sida är inte alls lika tätbebyggt men tack vara att fasaderna kan utnyttjas så blir den totala ytan som kan användas för produktion av solel stor.

Skivhusområdet, tillsammans med lamellhusområdet, visar även upp en relativt övriga områden hög potential per boende. Jämförelse mellan solpotentialen för dessa områden och energianvändningen per person i områdena visar att om områdena hade exploaterats med solceller hade ca en tredjedel av energianvändningen knutet till hushållsel kunnat hämtas ifrån solceller. Detta är något som borde inspirera t.ex. fastighetsägare och bostadsrättsföreningar att investera i solel. De skulle då kunna närma sig ett tillstånd då de är självförsörjande av el och därmed minska risken att drabbas ekonomiskt om priserna på el från andra källor förändras och blir dyrare.

I studien togs det i princip fram tre olika typer siffror som går att använda som mått på solpotentialen för varje område: solpotentialen för enbart tak utifrån sammanställning av solkartan, solpotential för tak och fasader utifrån solkartan multiplicerat med en framtagna faktor och det finns solpotentialen för områdena där byggnaderna har en optimerad orientering och ett kompletterat utseende.

Det tredje måttet på potentialen speglar ett tänkt scenario som har ganska lite med varje typområdes medelutseende att göra. Det måttet skulle kunna användas som analys av vissa delar av områden eller som potential för ett framtida område med det simulerade utseendet, alltså mer som inspiration över potentialen för de bästa tänkbara områdena som dessutom har byggts om och kompletterats. Måttet hade varit applicerbart i en bredare kontext om orienteringen inte hade optimerats och byggnaden hade analyserats med en medelorientering men med ett kompletterat utseende. Den resulterande siffran hade då bättre speglat potentialen för ett medelområde där en investering i kompletterade byggnader hade skett på områdets samtliga hus. Dock hade antagligen byggnaderna behövt kompletteras på annat sätt om optimering av orienteringen inte hade skett.

Vad som är mer intressant att titta på är de faktorer som tagits fram över förändringen av solpotentialen för varje område vid optimering generellt, och inte bara faktorn över det bästa scenariot. Ur faktorerna över den totala ökningen och ökningen för respektive kategori går det att läsa ut vilken orientering av byggnaden inom varje område som bör användas vid installation av solceller. Valet av orientering beror på om det är viktigt att få ut stor mängd solenergi från liten yta eller stor mängd energi totalt sett, något som till syvende och sist en ekonomisk



fråga. När det bästa av alla optimerade scenarier valdes togs ingen hänsyn till ekonomi, något som bl.a. resulterade i att den optimala orienteringen för lamellhuset och villan var då gaveln vette mot söder eftersom den totala mängden genererad solenergi var störst just då.

De andra två måtten över potentialen, solpotentialen för enbart tak utifrån sammanställning av solkartan och solpotentialen för tak och fasader utifrån solkartan multiplicerat med en framtagen faktor, är mycket användbara båda två. Beroende på hur långt en investering i solpaneler kan tänkas gå så kan det ena eller det andra måttet användas. Om en faktisk investering sker och endast taken ska bebyggas så används det första måttet och om istället både tak och fasader ska bebyggas så används den andra potentialen. Tyvärr är det dock så att fasaderna har väldigt liten inverkan på solpotentialen för de olika områdena. Det är i princip bara skivhusområdet som erhåller en påtaglig ökning av solpotentialen då fasaderna inkluderas, för de övriga områdena är faktorn över ökningen väldigt nära 1,0, dvs. ingen ökning av potentialen alls.

## **10.1 Förslag till framtida studier**

Den genomförda studien led av bristande processorkraft, det hade därför varit intressant att genomföra en liknande studie med bättre förutsättningar med avseende på datorhårdvara. Detta hade kunnat leda till fler och noggrannare simuleringar vilket hade gett resultat som bättre närmar sig det verkliga medelvärdet för varje områdestyp.

Det hade även varit intressant att undersöka fler områden för varje områdestyp. Fler områden går att finna inom ramen för solkartan över Lund men även genom andra solkartor över andra delar av Sverige. Även detta hade lett till resultat som närmar sig ett verkligt medel för varje områdestyp.

För att verifiera resultatens rimlighet hade en liknande undersökning men med utgångspunkt från 3D-kartor varit bra. Detta skulle kunna uppnås genom jämförelse av resultaten från denna studie med liknande summeringar av solkartorna över Göteborg och Stockholm.

## 11 Nomenklatur

Förklaring av begrepp och symboler. Presentation i kronologisk ordning.

Solpotential	Årlig elproduktion genererad av solceller
Ej lämplig solinstrålning	Årlig solinstrålning på <800 kWh/m <sup>2</sup>
Mindre god solinstrålning	Årlig solinstrålning på 800-900 kWh/m <sup>2</sup>
God solinstrålning	Årlig solinstrålning på 900-1020 kWh/m <sup>2</sup>
Mycket god solinstrålning	Årlig solinstrålning på >1020 kWh/m <sup>2</sup>
Exploateringstal	BTA/(area av för byggnad anspråkstagen mark)
BTA	Bruttoarea, summerad golvyta för samtliga våningsplan i en byggnad
A.	Områdets samtliga taks solpotential per kategori från solkartan
B.	Områdets samtliga taks solpotential per kategori för med ny taklutning $B = \frac{A \cdot \cos(30)}{\cos(v)}$ v = ny takvinkel
C.	Områdets samtliga taks solpotential per kvadratmeter område och kategori för med ny antagen taklutning $C = \frac{B}{\text{områdesarea}}$
D.	Områdets samtliga taks solpotential per person och kategori med ny antagen taklutning $D = \frac{B}{\text{antal boende inom området}}$
S1	Simuleringsscenario 1, simulering av byggnader då endast solinstrålning från tak inkluderas
S2	Simuleringsscenario 2, simulering av byggnader då solinstrålning från tak och fasader inkluderas

S3 Simulerings scenario 3, simulering av byggnader då solinstrålning från tak och fasader inkluderas samtidigt som byggnaden optimeras.

Byggnaden kan optimeras på två sätt, antingen genom enbart optimering av orienteringen eller genom optimering av orienteringen och komplettering av byggnadens utseende.

$Solpotential_{total\ 1} = Solpotential_{solkartan,(mindre\ god+god+mycket\ god)} * faktor_{total\ ökning}$

$Solpotential_{total\ 2} = Solpotential_{solkartan,mindre\ god} * faktor_{mindre\ god} + Solpotential_{solkartan,god} * faktor_{god} + Solpotential_{solkartan,mycket\ god} * faktor_{mycket\ god}$

## 12 Referenser

- BJÖRK, C., KALLSTENIUS, P. & REPPEN, L. 2003. *Så byggdes husen 1880-2000 : arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 120 år*, Stockholm, Formas.
- BJÖRK, C., REPPEN, L. & NORDLING, L. 2000. *Så byggdes staden : [stadsbyggnad, arkitektur, husbyggnad]*, Stockholm, Svensk byggtjänst.
- BJÖRK, C., REPPEN, L. & NORDLING, L. 2009. *Så byggdes villan : svensk villaarkitektur från 1890 till 2010*, Stockholm, Formas.
- BOSTADSSTYRELSEN. 1976. *RE: God bostad, Exempel på lägenheter, Lamellhus 96 m*.
- BOVERKET 2010. *Teknisk status i den svenska bebyggelsen - resultat från projektet BETSI*.
- BP. 2013. *Statistical review of world energy 2013* [Tillgänglig:]. <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013.html>. [Hämtad: 2013-09-24].
- CHEN, C. J. 2011. *Physics of solar energy*, Hoboken, N.J., John Wiley & Sons.
- DUFFIE, J. A. & BECKMAN, W. A. 2006. *Solar engineering of thermal processes*, Hoboken, NJ, Wiley.
- ENERGIMYNDIGHETEN. 2011. *Energiindikatorer 2011*. Rapport ER 2011:12. Statens energimyndighet
- ENERGIMYNDIGHETEN. 2013. *CIGS tunnfilmssolceller* [Tillgänglig:]. <http://energimyndigheten.se/sv/Forskning/Kraftforskning/Solkraft/Solceller/CIGS-tunnfilmssolceller/>. [Hämtad: 2013-09-26].
- EUROPEISKA KOMMISSIONEN, J. 2010. *PVGIS* [Tillgänglig:]. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>. [Hämtad: 2013-09-24].
- GHILANI, C. D. & WOLF, P. R. 2008. *Elementary surveying : an introduction to geomatics*, Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall.
- GOOGLE. 2013. *Google Maps* [Tillgänglig:]. <https://maps.google.se/>. [Hämtad: 2013-10-03].
- GOOGLE. 2014. *Google Maps* [Tillgänglig:]. <https://maps.google.se/>. [Hämtad: 2014-02-04].
- GÖTEBORGSENERGI. 2012. *Solkartan* [Tillgänglig:]. [http://www.goteborgenergi.se/Privat/Projekt\\_och\\_etableringar/Fornyelsebar\\_energi/Solceller/Solkartan](http://www.goteborgenergi.se/Privat/Projekt_och_etableringar/Fornyelsebar_energi/Solceller/Solkartan). [Hämtad: 2013-09-24].

- HEDÉN, P. 2013. Solpotentialbedömning - framställning av solpotentialkarta över Lund och utvärdering av laserdata. Examensarbete TVBH-5070, LTH, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsfysik.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report.
- KANTERS, J. 2012. Solar integrated architecture in Scandinavia. Rapport EBD-T--12/15, Lunds universitet, Institutionen för arkitektur och byggd miljö, Avdelningen Energi och byggnadsdesign.
- KJELLSSON, E. 2000. Potentialstudie för byggnadsintegrerade solceller i Sverige. Rapport TVBH-7216.  
[http://www.solelprogrammet.se/PageFiles/328/PVpot\\_Kjellsson.pdf?epslanguage=sv](http://www.solelprogrammet.se/PageFiles/328/PVpot_Kjellsson.pdf?epslanguage=sv): LTH, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Avdelningen för Byggnadsfysik.
- KRAFTRINGEN. 2013. *Solkartan* [Tillgänglig:].  
<http://www.lundsenergi.se/Privat/Energilosningar/Solkartan/>. [Hämtad: 2013-09-24].
- MALMÖSTAD. 2013.  
[http://www.malmo.se/images/18.56d99e38133491d8225800053893/greenwall11\\_oktober2011\\_300.jpg](http://www.malmo.se/images/18.56d99e38133491d8225800053893/greenwall11_oktober2011_300.jpg). [Hämtad: 2013-10-09].
- OLRÖR. 2010. <http://www.olror.se/images/solceller.jpg>. [Hämtad: 2013-10-09].
- RÅDBERG, J. 1988. *Doktrin och täthet i svenskt stadsbyggande 1875-1975 / Johan Rådberg*, Stockholm : Statens råd för byggnadsforskning : Svensk byggtjänst [distributör], 1988 ; (Stockholm : Spångberg).
- SCB. 2009. *Tätorter 1960-2005* [Tillgänglig:].  
[http://www.scb.se/Pages/PublishingCalendarViewInfo\\_\\_\\_259923.aspx?PublObjId=5487](http://www.scb.se/Pages/PublishingCalendarViewInfo___259923.aspx?PublObjId=5487). [Hämtad: 2013-10-01].
- SCB. 2012. *Tätortsgrad (inv i och utanför tätort), per kommun 2005 och 2010* [Tillgänglig:]. [http://www.scb.se/Pages/ProductTables\\_\\_\\_13001.aspx](http://www.scb.se/Pages/ProductTables___13001.aspx). [Hämtad: 2013-10-02].
- SCB. 2013. *Nybyggnad av lägenheter i flerbostadshus resp. småhus. Korrigerad 2013-06-19* [Tillgänglig:].  
[http://www.scb.se/Pages/TableAndChart\\_\\_\\_19985.aspx](http://www.scb.se/Pages/TableAndChart___19985.aspx). [Hämtad: 2013-10-01].
- SICK, F. & ERGE, T. 1996. *Photovoltaics in buildings : a design handbook for architects and engineers*, London, James & James.
- SMHI. 2007. Solstrålning. *Faktablad nr 31* [Tillgänglig:]. [Hämtad: 2013-09-25].
- SMHI. 2013. *Extracting STRÅNG data* [Tillgänglig:].  
<http://strang.smhi.se/extraction/index.php>. [Hämtad: 2013-09-26].

- SOLARPROFESSIONAL. 2013.  
[http://solarprofessional.com/sites/default/files/articles/images/2\\_Attached\\_0.jpg](http://solarprofessional.com/sites/default/files/articles/images/2_Attached_0.jpg). [Hämtad: 2013-10-09].
- STOCKHOLMSSTAD. 2012. *Stockholms solkarta* [Tillgänglig:].  
<http://www.stockholm.se/stockholmssolkarta>. [Hämtad: 2013-09-24].
- VAN NOORD, M. 2010. Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar - Europeisk best-practice. Elforsk.
- VAN NORD, M. & PARADIS ÄRLEBÄCK, J. 2011. Solceller i samhällsplaneringen - Skapa bra förutsättningar för solenergi. *Elforsk*.
- WELLER, B., HEMMERLE, C., JAKUBETZ, S. & UNNEWEHR, S. 2010. *Photovoltaics : technology, architecture, installation / Bernhard Weller*, Basel : Birkhäuser, 2010.
- WENHAM, S. R. 2011. *Applied photovoltaics*, London, Earthscan.
- VON BRÖMSEN, J. 2011. *Gårdsten solhuset*  
<http://news.cision.com/se/varldsnaturfonden-wwf/i/gardsten-solhuset---foto-martin-von-bromssen,c113968> [Hämtad: 2014-04-03]
- YLANDER, H. 1993. Urbanisering och tätortsutveckling i Sverige. [Tillgänglig:]  
[http://www.scb.se/statistik/MI/MI0803/2000I02/MI03SA9301\\_06.pdf](http://www.scb.se/statistik/MI/MI0803/2000I02/MI03SA9301_06.pdf)  
[Hämtad: 2014-05-31].



## Bilaga 1 – Tekniska förutsättningar

### Meteonorm

Vädret i studien är skapat enligt förutsättningarna nedan:

- Plats: Lund
- Data: Solinstrålning: Timvis Perez från 1981-1990  
Temperatur: Timvis från 1961-1990
- Format: För exportering till DIVA for Rhino används EnergyPlus

### Förutsättningar DIVAdaylight

För hantering av diffus- och reflekterad solinstrålning kräver DIVA styrning av ett antal parametrar. Parametrarna är viktiga för noggrannheten av simuleringen, dock kräver ökad noggrannhet mycket processorkraft. Parametrarna är därför valda för att uppnå goda resultat utan att simuleringarna blir alltför tunga och tidsödande. Värden för parametrar anges nedan:

- Ambient bounces: 3
- Ambient divisions: 2048
- Ambient supersample: 512
- Ambient resolution: 128
- Ambient accuracy: 0,05

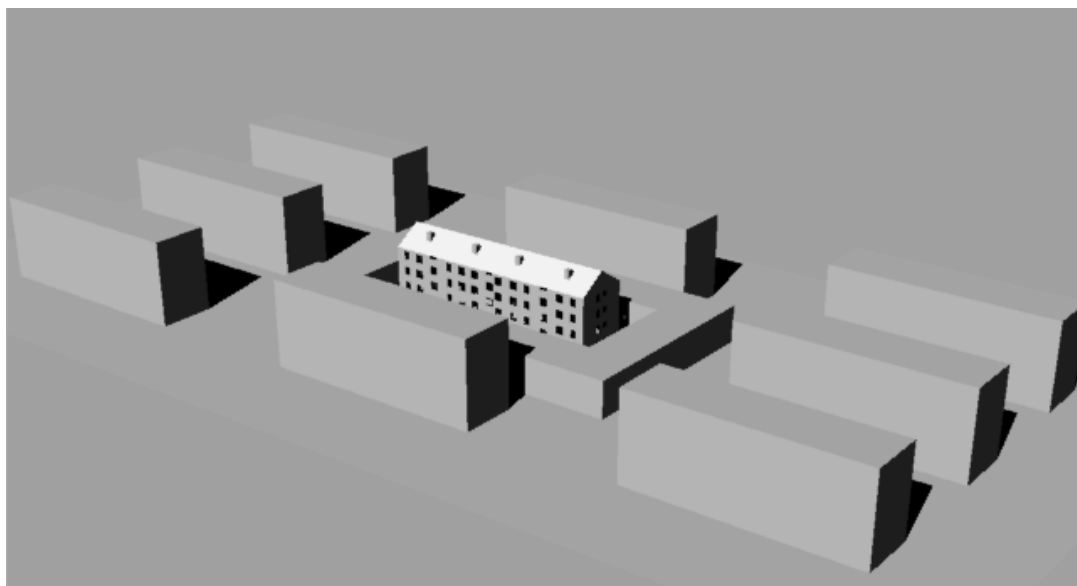
För simulering av det optimerade skivhuset krävdes att noggrannheten i simuleringen minskades för att datorn skulle orka med simuleringen. Därför ansattes parametrarna enligt nedan.

- Ambient bounces: 2
- Ambient divisions: 2048
- Ambient supersample: 512
- Ambient resolution: 128
- Ambient accuracy: 0,1

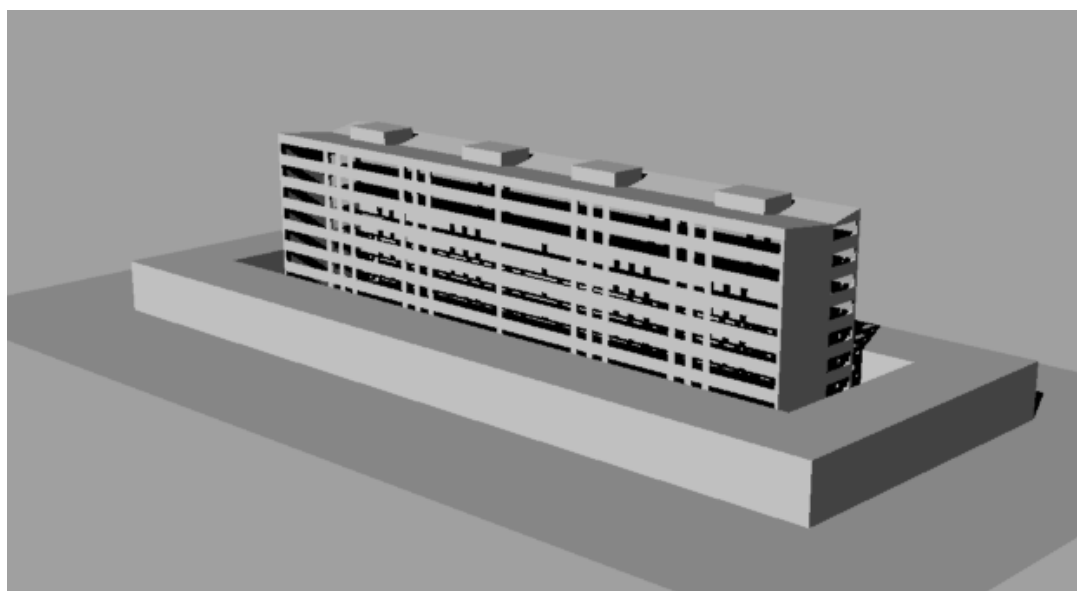




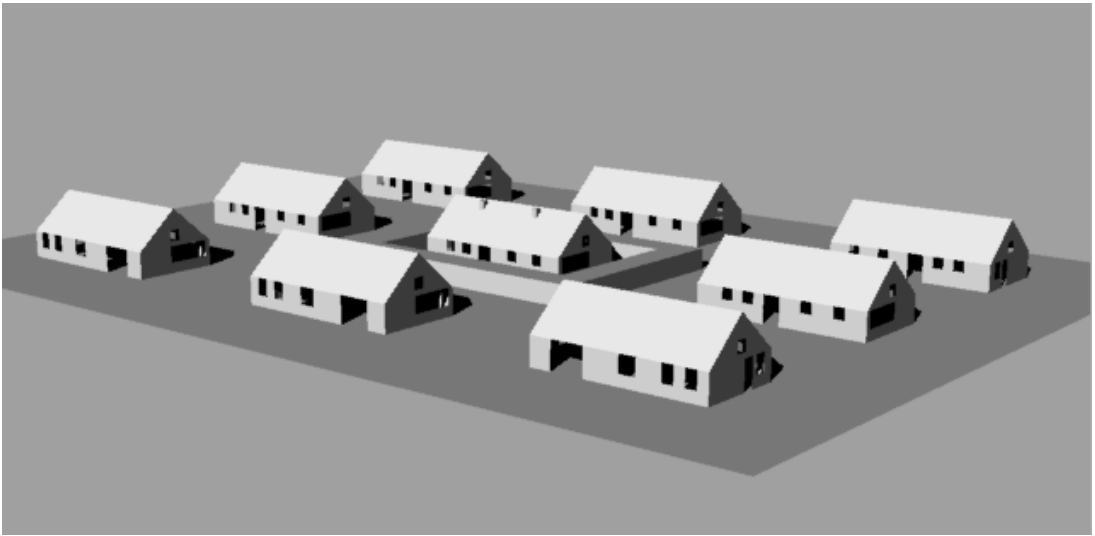
## Bilaga 2 – Modeller



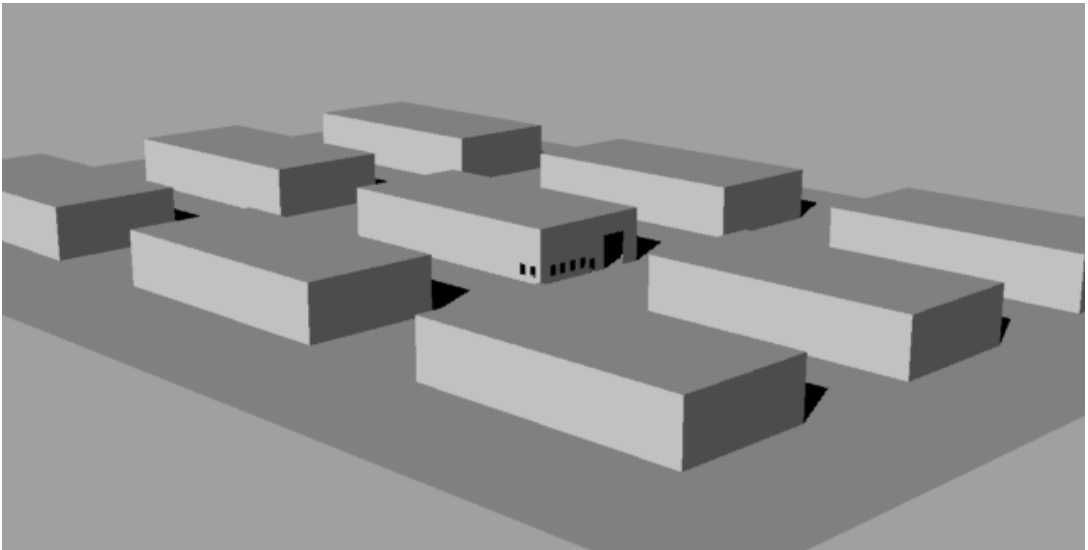
Figur B1 Modell lamellhus



Figur B2 Modell skivhus

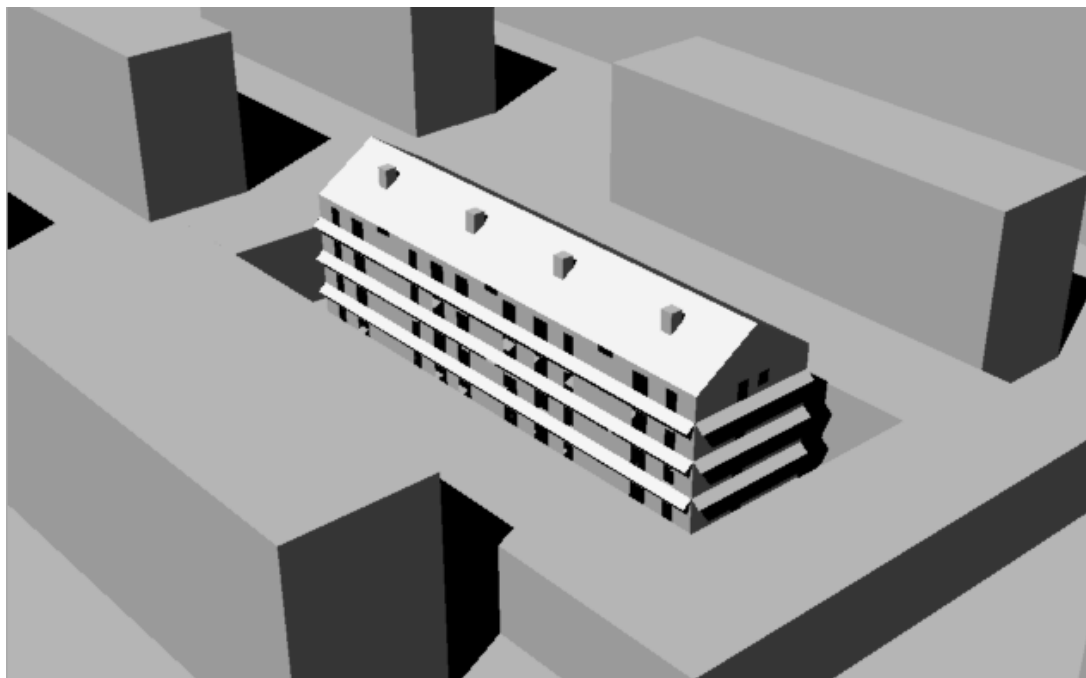


**Figur B3 Modell villa**

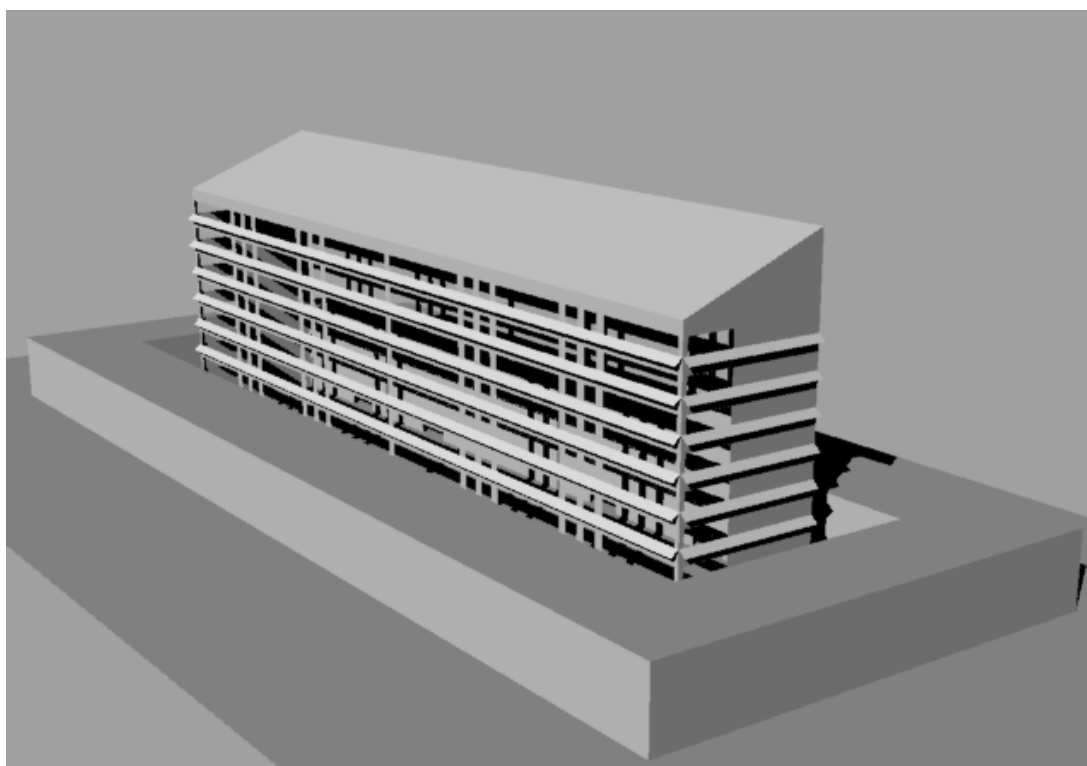


**Figur B4 Modell industribyggnad**

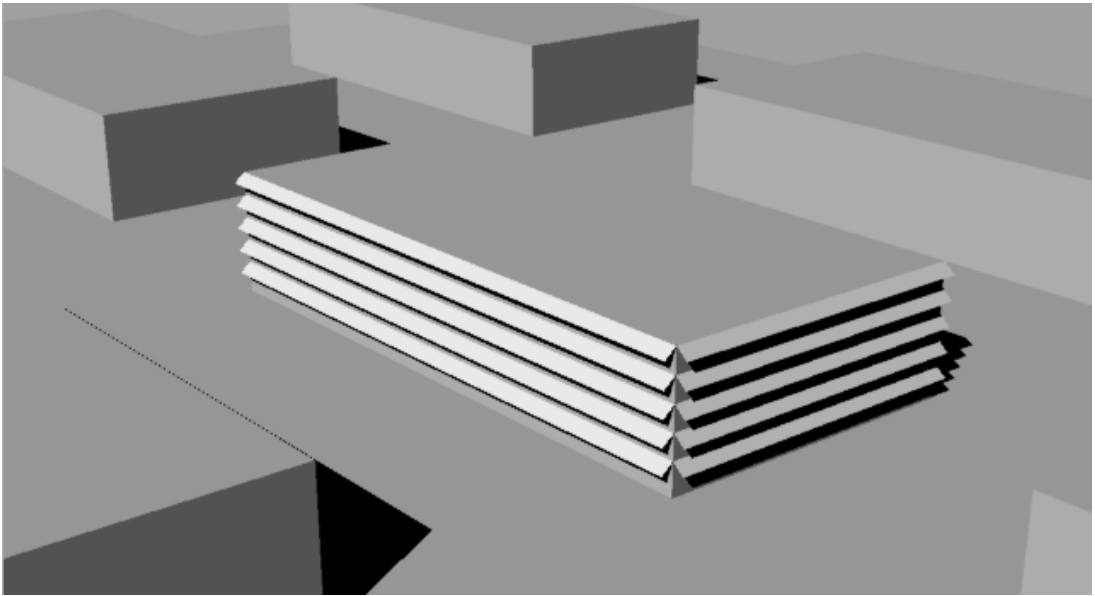
## Modeller optimerade byggnader



Figur B6 Modell optimerad byggnad lamellhus



Figur B7 Modell optimerad byggnad skivhus



**Figur B8 Modell optimerad byggnad industribyggnad**