

SOLSTATISTIK FÖR SYDÖSTERBOTTEN

Delrapport för projekt Heijastus –
valo- ja energiatehokkuuden parantaminen nykyisissä
ja uusissa kasvihuoneissa

Mats Braskén





Solstatistik för sydösterbotten

Delrapport för projekt Heijastus – valo- ja energiatehokkuuden parantaminen
nykyisissä ja uusissa kasvihuoneissa

Mats Braskén



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling:
Europa investerar i landsbygdsområden

1. INLEDNING

Allt levande på jorden är beroende av den energi som solen strålar ut. För växthusodlare, eller för de som tänker sig att använda solenergi till att värma upp vatten, alternativt tillverka el, är det av stort intresse att kunna förutsäga hur mycket solenergi som kan förväntas på en viss plats och under en viss tidpunkt på året. Denna information behövs för att t.ex. uppskatta behovet av konstgjord belysning, i fallet med växthus, eller för att förutsäga den förväntade mängden producerad el, i fallet med solpaneler. Föreliggande delrapport, som är en del av projektet ”Heijastus”, har som mål att ge den information som behövs för att göra en uppskattning av den instrålade solenergi för i detta fall den Sydösterbottiska kustregionen. Projektet har finansierats av Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden, beviljat av Österbottens och Södra Österbottens NTM-centraler. Vasa universitet har fungerat som projektägare och Yrkeshögskolan Novia som en delgenomförare.

För att utveckla en modell för den instrålade solintensiteten för det växthustäta Sydösterbotten, så jämförs i denna rapport officiella soldata från Tikkakoski väderstation, med soldata uppmätta vid Martens försöksväxthus i Övermark i Sydösterbotten. Mätningarna är för Övermarks del gjorda under tidsperioden november 2010–augusti 2012. Tidsperioden omfattar nästan två hela år, vilket gör att effekterna av tillfälliga vädervariationer (t.ex. en ovanligt regnig sommar) delvis kan kontrolleras.

För att kunna tolka och använda sig av soldata behöver man känna till en del grundläggande begrepp. Dessa begrepp introduceras och förklaras i kapitel 2 och 3. I kapitel 4 presenteras, jämförs och tolkas mätresultaten från Tikkakoski och Övermark. Dessa mätningar ligger sedan till grund för den modell, vilken har som mål att ge användaren en (grov) uppskattning av den förväntade solstrålningen i Sydösterbotten för en viss tidpunkt under året

2. SOLSTRÅLNINGENS INTENSITET

Solstrålningens intensitet (I) anger den mängd energi som faller in på en given yta varje sekund. SI-enheten för intensitet är watt per kvadratmeter (W/m^2). Ett jämförelsetal som är bra att hålla i minnet, är att intensitet en solig sommardag ligger kring $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ *. Denna intensitet kan jämföras med en solig dag i januari då intensiteten är nere i cirka $100 \text{ W}/\text{m}^2$.

Startpunkten för alla intensitetsberäkningar är den solstrålning som når jordatmosfärens övre del. Denna intensitet ges av den så kallade solarkonstant I_0 . Solarkonstantens värde varierar något under året, eftersom avståndet solen-jorden varierar, men ett ofta angivet medeltal (ovanför atmosfären) är $1360 \text{ W}/\text{m}^2$ [1]. I våra beräkningar i denna rapport kommer vi genomgående att använda oss av ett lägre värde, nämligen $I_0 = 1340 \text{ W}/\text{m}^2$ (vi använder ett minimivärde för att inte överskatta intensiteten). Solarkonstanten anger den energi som når de yttersta delarna av atmosfären, men eftersom jordatmosfären alltid absorberar en del av den inkommande solstrålningen, så kommer intensiteten som når marken att understiga I_0 .

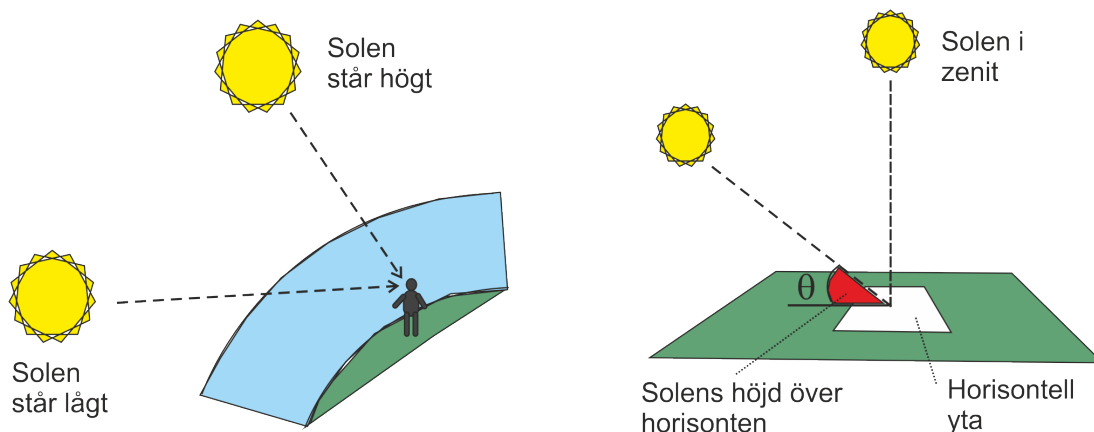
*Effekten 1000 W motsvarar ungefär effekten hos en vanlig kokplatta eller en hårfön.



Figur 1. Den intensitet som faller in på en yta ovanför atmosfären och vinkelrätt mot solstrålarna anges av den så kallade solarkonstanten I_0 . Solstrålningen som når en 1 m x 1 m stor yta på marken en solig sommardag motsvarar cirka 1000 W.

2.1 Solstrålningens intensitet vid marken

Eftersom solstrålningen skall passera genom atmosfären innan den når oss, kommer intensiteten vid marken att bero av de exakta atmosfäriska förhållandena, dvs. mängden moln, damm, vattenånga, osv., i atmosfären. De atmosfäriska förhållandena varierar ständigt, varför det i de flesta praktiska sammanhang inte är en framkomlig väg att direkt försöka beräkna intensiteten som når marken utgående från de atmosfäriska förhållandena. Alternativet är att använda sig av de statistiska metoder vi kommer att presentera längre fram.



Figur 2. Den intensitet som når marken minskar med solhöjden, eftersom solstrålarna har en längre väg att gå genom atmosfären innan de når oss. Intensiteten som träffar en given, horisontell yta på marken minskar även den med solhöjden.

I många situationer är vi intresserade att uppskatta den intensitet som träffar en viss yta, t.ex. en solpanel eller en odlingsbädd. Om vi tänker oss en solig dag och försummar solstrålarnas absorption i atmosfären, så minskar den intensitet I som träffar en given horisontell yta enligt

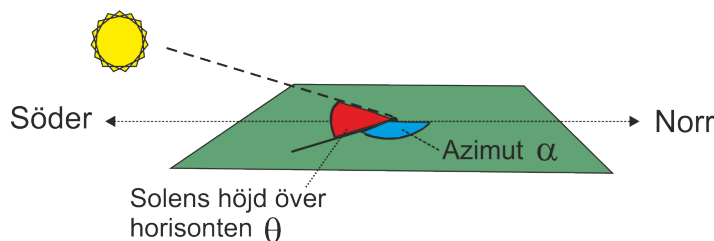
$$I = I_0 \sin\theta \quad (1)$$

där vinkeln θ är solens höjd över horisonten och I_0 den intensitet som träffar ytan när solen står i zenit ($\theta = 90^\circ$). Vi kan förstå ekvation (1) om vi tänker oss att samma mängd solenergi måste spridas ut över en allt större horisontell yta ju lägre solen står på himlen. Ekvation (1) förklarar t.ex. de stora variationerna i mängden solenergi vi har i vårt land mellan sommar och

vinter. Så till exempel stiger solen i Sydösterbotten endast 4° över horisonten en midvinterdag, medan den når 51° över horisonten under midsommaren. Använder vi ekvation (1) så ser vi att intensiteten en midvinterdag endast är cirka 10 % av vad den är en midsommardag.

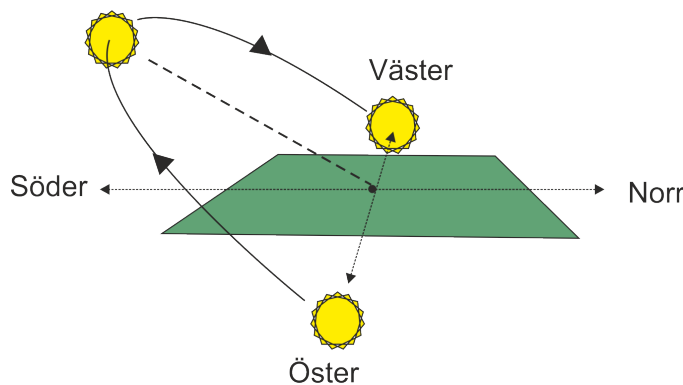
2.2 Solens läge på himlen

För att uppskatta den intensitet som faller in på en given yta måste vi känna till solens läge på himlen. Solens läge ändrar hela tiden under dagens lopp, men beror också av tidpunkten på året och breddgraden man befinner sig på. Så trots att solens läge är relativt enkel att mäta, krävs det lite mera ingående teori för att beräkna läget (se bilaga A).



Figur 3. Solens position på himlen anges med hjälp av två vinklar: solens höjd över horisonten (den s.k. altituden θ) och solens riktning i förhållande till norr (den s.k. azimutvinkeln α).

Solens läge vid en viss tidpunkt under dagen anges med hjälp av två vinklar: solens höjd över horisonten (θ) och azimuten (α) (se figur 3). Azimuten kan variera från $\alpha = 0^\circ$ (solen står rakt i norr), via $\alpha = 180^\circ$ (solen står rakt i söder), till $\alpha = 360^\circ$ (solen är tillbaka rakt i norr).

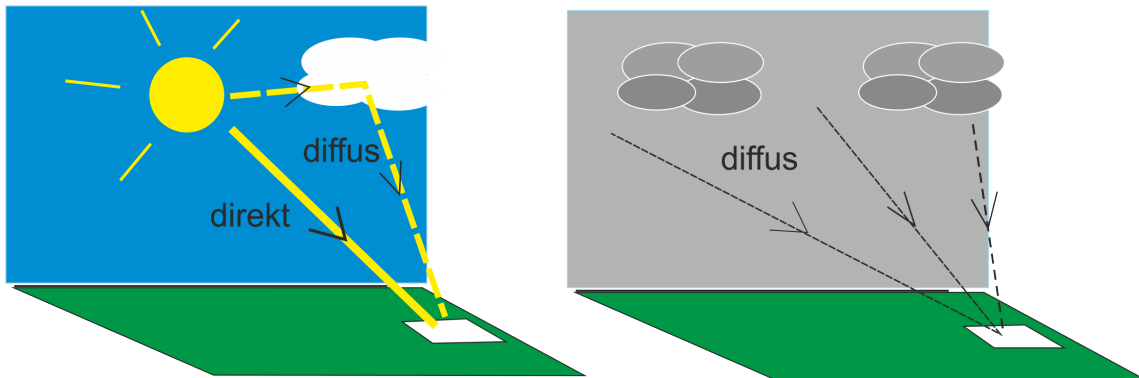


Figur 4. Under t.ex. vårdagjämningen går solen upp i öster (azimut $\alpha = 90^\circ$) och ner i väster ($\alpha = 270^\circ$). Vid soluppgången och solnedgången är solhöjden $\theta = 0^\circ$.

Om den yta som belyses av solen är horisontell, så beror intensiteten som träffar ytan endast av solens höjd och inte av azimutvinkeln. Har vi däremot en lutande yta, som t.ex. en solpanel på ett sluttande tak, kommer intensiteten som träffar ytan även att bero av azimutvinkeln.

2.3 Direkt, diffus och global solstrålning

Den solstrålning som når oss direkt från solen kallas för direkt solstrålning och den kan relativt enkelt uppskattas om vi känner solens läge på himlen. Men även om vi har en klar, solig dag så når oss ljus även från andra delar av himlen än direkt från solen (figur 5). Detta solljus, som spridits av moln, vattenånga och luftens gasmolekyler innan det når oss, kallas för diffust ljus. En solig sommardag utgörs det solljus som når oss av cirka 85 % direkt solljus och 15 % diffust ljus. En molnig vinterdag är däremot förhållandet omvänt, med närmare 100 % diffust ljus. Andelen diffust ljus beror alltså främst av hur molnigt det är.



Figur 5. Direkt solstrålning når oss rakt från solen, medan diffust ljus har spridits en eller flera gånger innan det når oss. En molnig dag är det mesta av ljuset från himlen diffust.

Summan av den direkta solstrålningen och den diffusa kallas den för den globala solstrålningen. Vi har alltså följande samband:

$$I_{global} = I_{direkt} + I_{diffus} \quad (2)$$

Det är viktigt att notera att de flesta vanliga solintensitetsmätare mäter den globala ljusintensiteten från himlen. Att dela upp dagsljuset i en direkt och en diffus del är inte bara av teoretiskt intresse, utan har direkta praktiska konsekvenser när vi försöker förutsäga den intensitet som når en viss snedställd yta. Som exempel så är det en solig dag mest fördelaktigt att vända en solpanel direkt mot solen, medan det en molnig dag med mycket diffust ljus kan löna sig att rikta solpanelen rakt upp mot himlen.

3. SOLSTRÅLNING OCH MOLNIGHET

En stor utmaning när det gäller att uppskatta mängden solstrålning vid jordytan är molnens inverkan. När vädret växlar från soligt till molnigt eller regnigt, ändrar solstrålningens intensitet kraftigt. Den vanligaste metoden för att handskas med detta problem, är att utföra långa mätserier (under flera år) av mängden solstrålning på en viss ort. Dessa mätningar ger en uppfattning om hur fördelningen mellan soliga och molniga dagar ändrar under årets lopp för just denna geografiska ort. Det är viktigt att notera att resultatet av dessa mätningar endast gör det möjligt att grovt uppskatta mängden solstrålning en viss tidpunkt på året, eftersom varje nytt år har sitt unika vädermönster. För denna rapport har vi använt soldata uppmätta under perioden 2010–2012 på två orter i Finland: Övermark i Sydösterbotten och den officiella väderstationen i Tikkakoski utanför Jyväskylä. Mer om resultatet av dessa mätningar i kapitel 4.

3.1 Mätning av solstrålningens intensitet

För att utföra de statistiska undersökningar som krävs, måste man ha tillgång till mätdata över hur solstrålningens intensitet varierar under dagens lopp. Dessa mätserier bör dessutom sträcka sig över en lång tidsperiod, allra helst flera år.

De vanligaste intensitetsmätarna ger endast den globala instrålade ljusintensiteten, dvs. mätaren skiljer inte åt direkt och diffus strålning. För att skilja åt dessa två komponenter, använder sig mer avancerade mätstationer av en intensitetsmätare där det direkta solljuset blockerats (se figur 6). Känner vi andelen global och diffus strålning, kan vi enkelt med hjälp av ekvation (2) beräkna andelen direkt solstrålning. Det bör noteras att de allra flesta intensitetsmätare är monterade så att de mäter intensiteten som faller in på en horisontell yta.



www.hukseflux.com

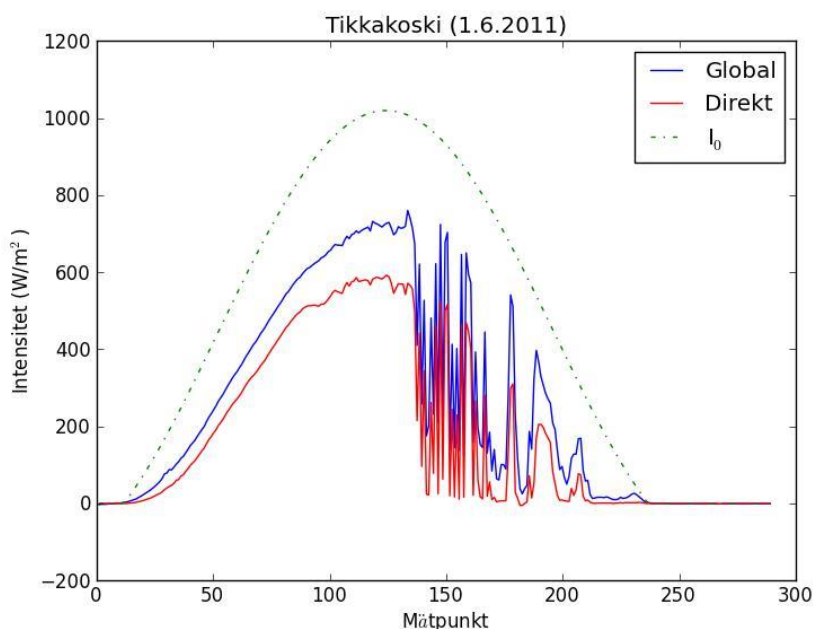


www.cas.manchester.ac.uk

Figur 6. Till vänster en s.k. pyranometer av den typ som använts för att mäta den globala solstrålningen i Övermark. För att mäta den diffusa strålningen från himlen placeras vanligen en ring framför pyranometern, vilken blockerar den direkta solstrålningen.

3.2 Solstatistik

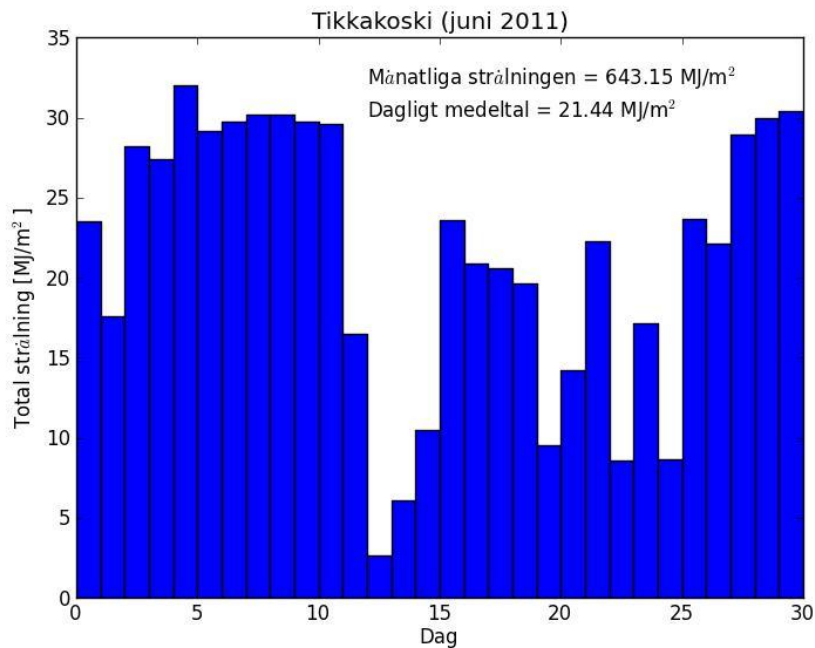
Resultatet av en intensitetsmätning ger den globala, instrålade intensiteten (i enheten W/m^2) vid en viss tidpunkt. I Övermark upprepas dessa mätningar var 5:e sekund och efter 5 minuter beräknas ett medeltal som sparas. Mätningarna gjorda i Tikkakoski är loggade med ett intervall på en minut och ger både den globala och den diffusa strålningsintensiteten (båda i enheten W/m^2). I figur 7 nedan visas resultatet av en sådan mätning (Tikkakoski, 1:a juni, 2011). Ur grafen framgår hur den globala och direkta intensiteten varierar under ett dygn. Grafen visar också den maximala intensiteten (I_0), som beräknats med hjälp av ekvation (1), utgående från den aktuella solhöjden (θ). Den maximala antar en helt molnfri dag och bortser från all absorption av solstrålning i atmosfären. Från grafen kan vi se att förmiddagen varit relativt molnfri, medan eftermiddagen-kvällen haft varierande molnighet (den direkta solstrålningsintensiteten går tidvis ner till noll när solen är helt täckt av moln).



Figur 7. Uppmätt intensitet under en dag i juni. Mätdata är tagna från Tikkakoski mätstation, vilken mäter både den globala och diffusa solstrålningen. Den övre streckade linjen ger den maximala, teoretiska strålningsintensiteten I_0 (klar himmel, ingen absorption i atmosfären).

3.3 Totala instrålade energin

Eftersom solstrålningens intensitet ofta varierar från minut till minut och från timme till timme, så är man oftare intresserad av dygns- och månadsmedeltal, än av de ögonblickliga intensitetsvärdena. Ett ofta använt värde i dessa sammanhang är den totala instrålade energin under en timme, ett dygn, en vecka eller månad. Den totala instrålade energin under t.ex. ett dygn, representeras grafiskt av arean under den globala strålningskurvan i figur 7. Den totala instrålade energin ges i enheten joule per kvadratmeter (J/m^2), eller oftare mega-joule per kvadratmeter (MJ/m^2). Figur 8 visar denna typ av statistik för juni månad.



Figur 8. Stapeldiagrammet visar hur den totala instrålade energin för en dag varierar under juni månad. Vi ser av grafen att 13:e juni var en mycket mullerig dag, medan 5:e juni var månadens soligaste dag. Den totala instrålade energin för hela juni månad var 643 MJ/m², medan det dagliga medeltalet var 21,4 MJ/m².

Det dagliga medeltalet ger en grov uppskattning över hur mycket solenergi som kan förväntas träffa en horisontell yta under en dag den aktuella månaden. Detta medeltal varierar givetvis något från år till år, eftersom värdet är beroende av väderleksmönstret under den aktuella månaden.

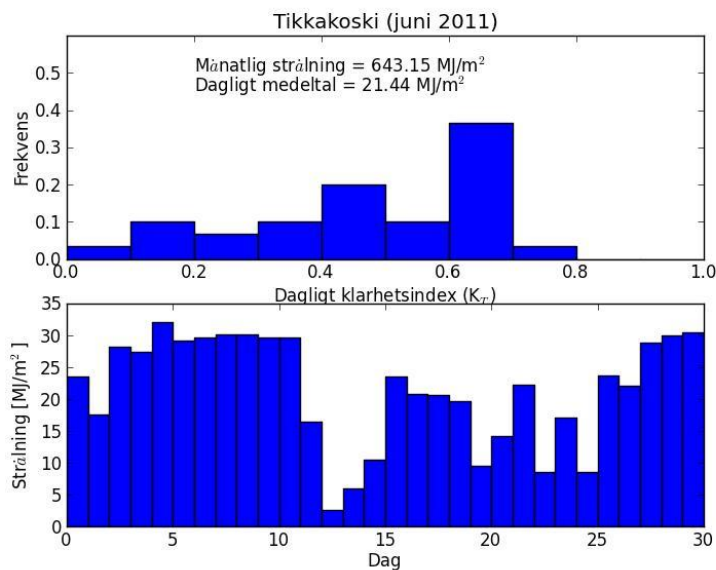
3.4 Klarhetsindex

För att få ett exaktare mått på graden av molnighet vid en viss tidpunkt, har man infört ett så kallat klarhetsindex (engelska: daily clearness index). Det dagliga klarhetsindexet (K_T) är definierat som

$$K_T = \frac{\text{Totala instrålade solenergin under ett dygn}}{\text{Maximala totala instrålade energin under ett dygn}} \quad (3)$$

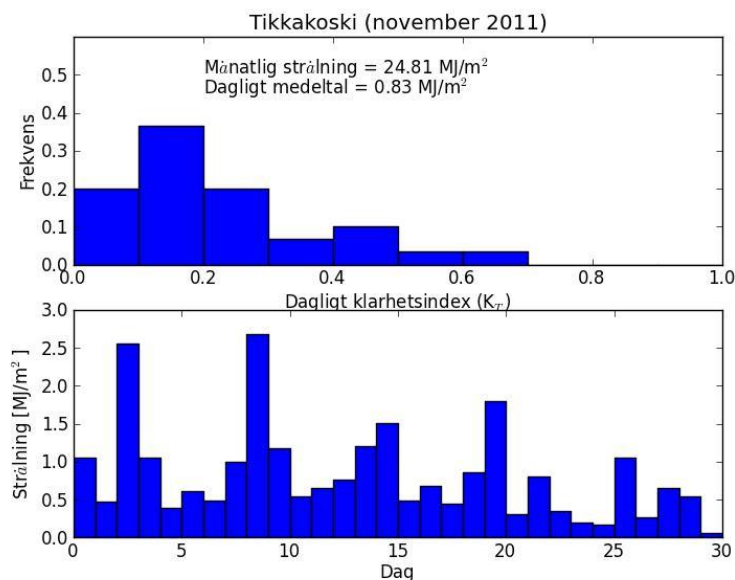
Den uppmätta, totala instrålade energin under ett dygn divideras alltså med den energi som skulle stråla in om himlen var helt klar och absorptionen i atmosfären försummas.

Klarhetsindexet är ett dimensionslöst tal med ett värde mellan noll (mörk himmel) och ett (helt klar himmel). Figur 9 visar t.ex. fördelningen hos (dygns)klarhetsindexet för juni månad. Förutom ett dagligt klarhetsindex, används ofta också ett timklarhetsindex (k_T) (hourly clearness index), vilket är definierat på motsvarande sätt.



Figur 9. Den övre grafen visar fördelningen av det dagliga klarhetsindexet under juni månad för Tikkakoski. Vi ser att ingen dag hade ett klarhetsindex som översteg 0,8. Det vanligast förekommande klarhetsindexet låg i intervallet 0,6–0,7 med en frekvens på 0,37. Eftersom juni har 30 dagar innebär det att något fler än 1/3 av dagarna i juni, dvs. cirka 10 dagar, hade ett klarhetsindex i intervallet 0,6–0,7.

För att se hur klarhetsindexet kan användas, så kan man göra samma statistik som i figur 9, men nu för den betydligt molnigare november månad (figur 10). En större molnighet innebär att K_T -fördelningen är förskjuten mot lägre värden.

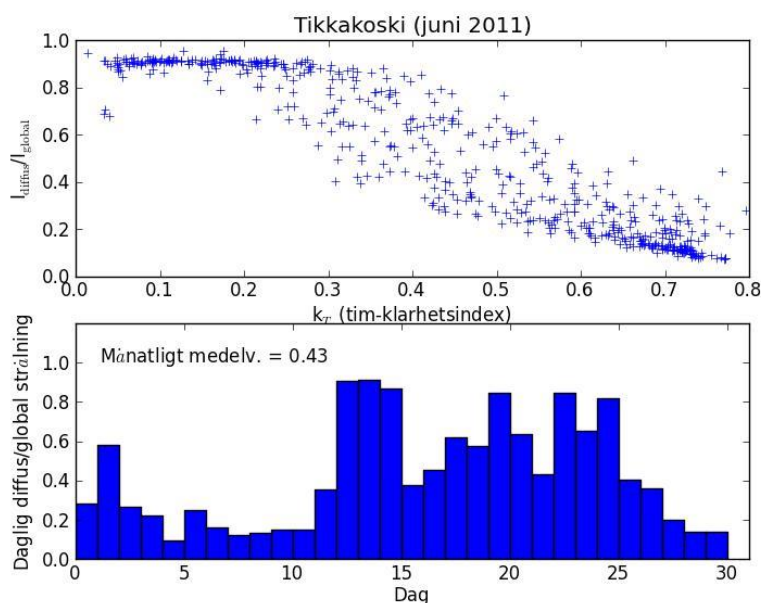


Figur 10. Vi ser av grafen ovan att november hade betydligt färre dagar med ett högt klarhetsindex. Något över 1/3 av dagarna hade ett klarhetsindex i intervallet 0,1–0,2. Att november var molnig, med mest sol 3:e och 9:e november, kan också ses av den nedre grafen över den totala, instrålade solenergin. Noter de stora skillnaderna mellan juni (figur 9) och november.

3.5 Andelen diffus och direkt strålning

All solstatistik som presenteras i kapitel 3.3 och 3.4, har beräknats utgående från den uppmätta globala intensiteten. Globala intensitetsdata finns tillgänglig för både Tikkakoski och Övermark. För att däremot uppskatta intensiteten som faller in på en sluttande yta, t.ex. ett växthustak eller solpaneler på ett tak, krävs det att man känner till hur stor andel av den globala strålningen som är diffus och hur mycket av den som är direkt. Tyvärr finns sådana mätdata endast tillgänglig för några få platser i Finland, varför man måste göra en uppskattning för andra orter. I fallet med Tikkakoski och Övermark befinner sig dessa orter nästan på samma breddgrad, men Övermark ligger betydligt närmare kusten och kan därför förväntas ha en något annorlunda väderleksmönster.

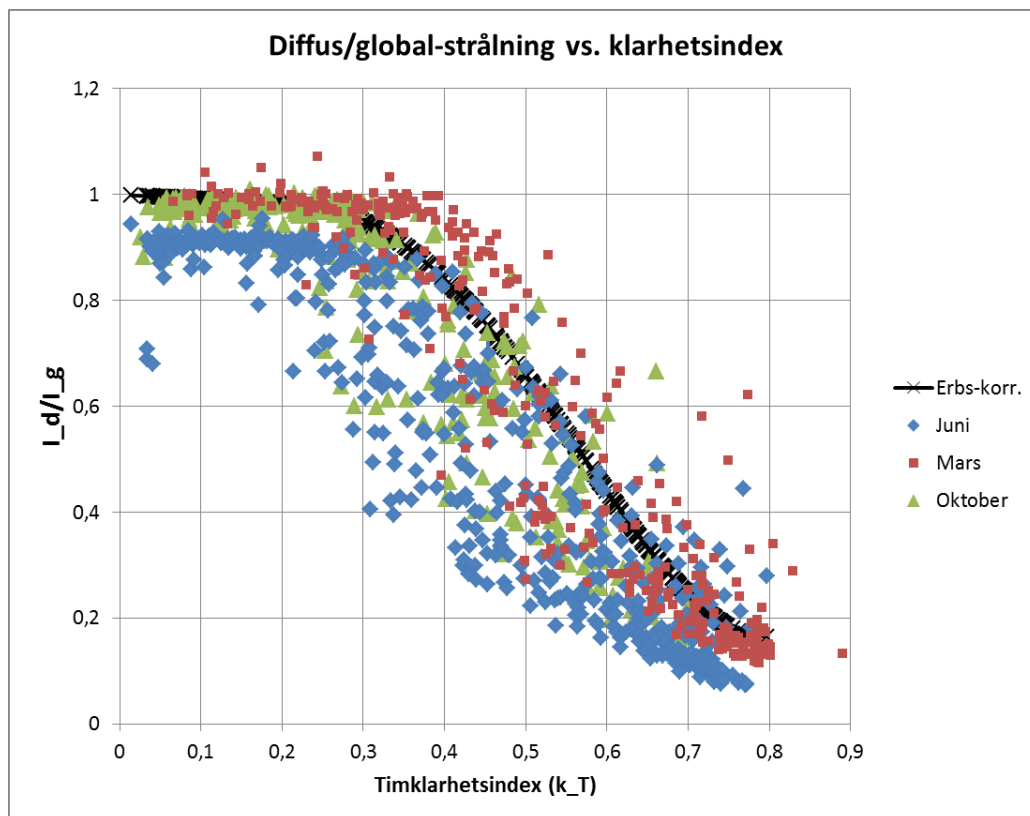
Metoden som vanligen används för att uppskatta andelen diffus och direkt strålning, är att studera sambandet mellan timklarhetsindexet (k_T) och kvoten diffus/global strålning* ($I_{\text{diffus}}/I_{\text{global}}$) för den ort där dessa både uppmäts (figur 11). Detta samband antas då också gälla för den ort där endast den globala strålningen uppmäts. Från en given, uppmätt globalstrålning och beräknat timklarhetsindex, kan då andelen diffus strålning uppskattas.



Figur 11. Grafen högst upp visar sambandet mellan kvoten diffus/global-strålning och tillhörande klarhetsindex. Varje datapunkt representerar strålningen för en timme. Ett värde på klarhetsindex som är nära noll (mulet), innebär att kvoten diffus/global-strålning ligger nära ett, eftersom då den mesta av strålningen är diffus.

Ett analytiskt samband mellan kvoten diffus/global strålning och timklarhetsindexet (k_T), som återfinns i litteraturen, är den så kallade Erbs-korrelation (se figur 12).

*I detta fall är det den totala, instrålade diffusa och globala strålningsenergin under en timme som används.



Figur 12. Grafen ovan visar sambandet mellan klarhetsindexet och kvoten mellan diffus och global strålning. Värdena baserar sig på mätningar gjorda i Tikkakoski och visar sambandet $k_T - I_d/I_g$ för tre månader under 2011 (mars, juni och oktober). Vi kan se en klar årstidsvariation i data. I litteraturen har mätningar från flera platser och över flera år använts för att ta fram ett optimalt $k_T - I_d/I_g$ -samband. Resultatet kallas Erbs-korrelation (den svarta linjen i figuren) [1].

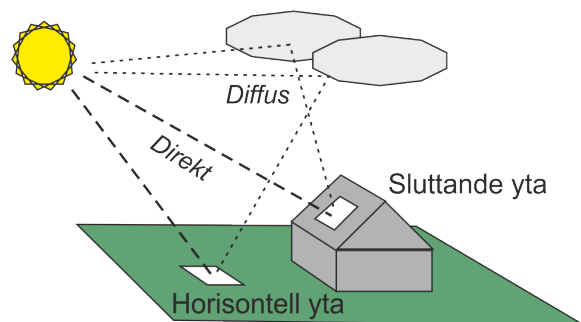
Istället för den fulla Erbs-korrelationen, använder man sig ofta i praktiska tillämpningar av följande något förenklade, linjära samband [1]:

$$I_{diffus}/I_{global} = \begin{cases} 1,0 - 0,249k_T & \text{för } 0 \leq k_T \leq 0,35 \\ 1,557 - 1,84k_T & \text{för } 0,35 < k_T < 0,75 \\ 0,177 & \text{för } k_T \geq 0,75 \end{cases} \quad (4)$$

Som exempel på hur ekvation (4) används, kan vi anta att vi mätt den inkommande globala strålningen under en timme och beräknat den totala instrålade energin (I_{global}). Från solhöjden (θ) och ekvation (1) kan vi beräkna den maximala instrålade energin under samma timme (I_0). Dessa värden ger då timklarhetsindexet: $k_T = I_{global}/I_0$. Anta att det beräknade värdet vi får är $k_T = 0,4$. Från ekvation (4) ser vi då att kvoten mellan diffus och global strålning blir $1,557 - 1,84 \cdot 0,4 = 0,821$, varför den diffusa strålningsenergin under samma timme blir $I_{diffus} = 0,821 \cdot I_{global}$.

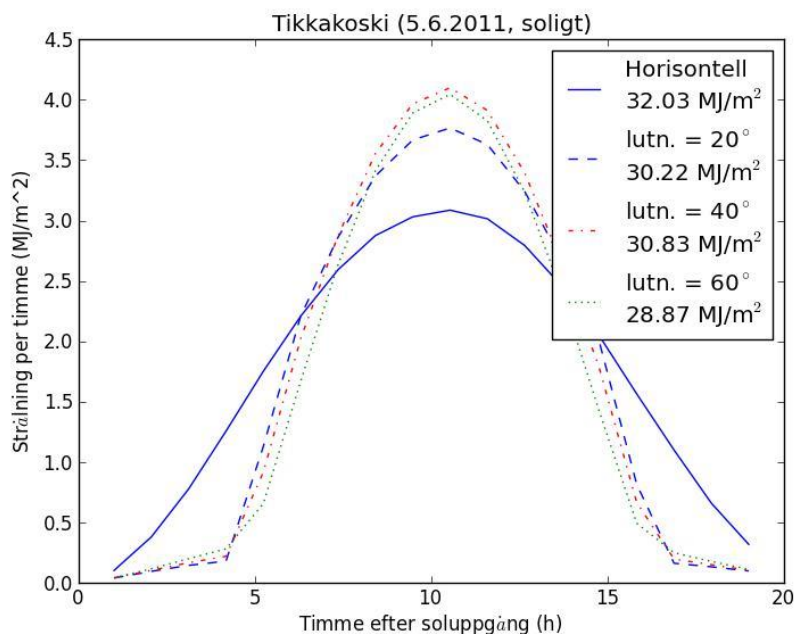
3.6 Instrålade energin på en sluttande yta

Alla resultat till och med detta kapitel har gällt solstrålning som faller in på en horisontell yta. De flesta solpaneler och solfångare är däremot monterade på sluttande taktytor och vända mot söder. För att uppskatta andelen solstrålning som faller in på en lutande yta, utgående från mätningar gjorda på en horisontell yta, måste vi känna till fördelningen mellan andelen diffus och direkt solstrålning.



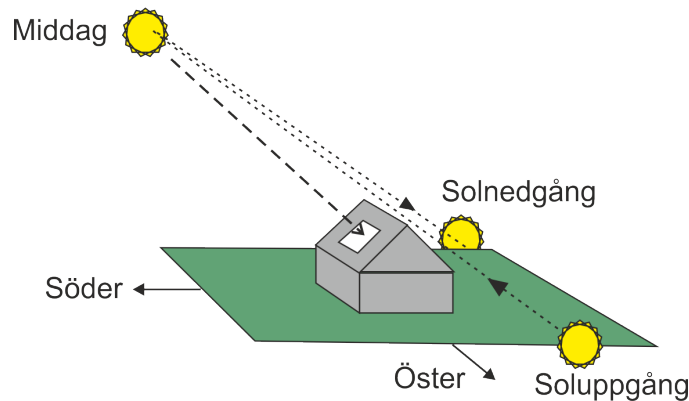
Figur 13. Mängden solenergi som träffar en given yta beror på åt vilket håll ytan är riktad och på ytans lutning. En solfångare monterad på ett sluttande tak, nås t.ex. inte av solljus från hela himlen.

I bilaga B beskrivs de beräkningar som krävs för att från den uppmätta strålningen på en horisontell yta, uppskatta strålningen som träffar en lutande yta. I denna bilaga, liksom i resultaten nedan, så antas den lutande ytan vara riktad rakt mot söder (se figur 14).



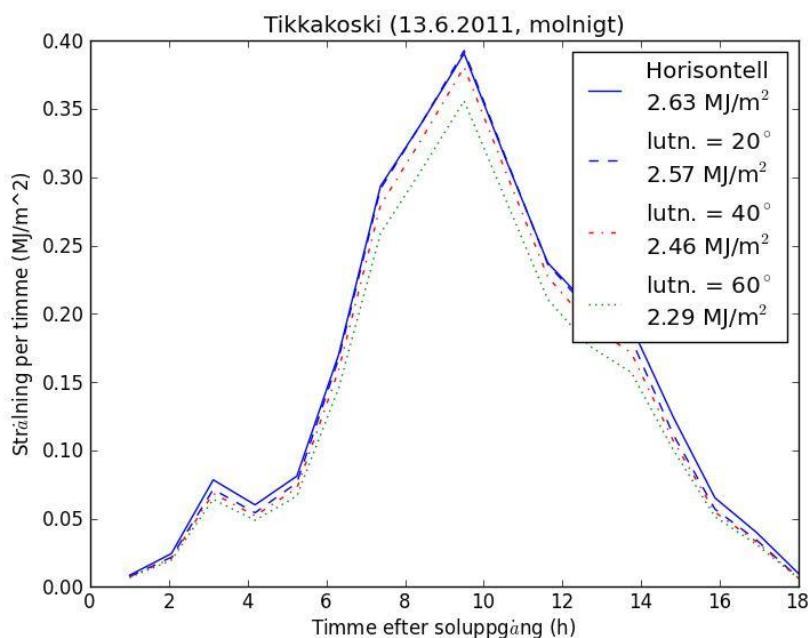
Figur 14. Den totala instrålade energin under en given timme för en solig sommardag i Tikkakoski. I grafen jämförs den instrålade energin (per timme) på en horisontell yta, med den instrålade energin på en lutande yta (lutning 20°, 40° och 60°). I grafen ges också den totala instrålade energin för hela dagen. Notera att mitt under dagen nås en sluttande yta av mer direkt solstrålning, men att totalt för hela dagen så nås den horisontella ytan ändå av mer solenergi.

Trots att en sydvänd, sluttande yta nås av mera direkt solljus under mitten av dagen, så måste solen nå förbi öst-västlinjen innan solstrålarna kan träffa ytan (se figur 15). Detta syns tydligt i figur 14 ovan, där vi ser att först cirka 5 timmar efter soluppgången träffas den sluttande ytan av mer solenergi än den horisontella ytan.



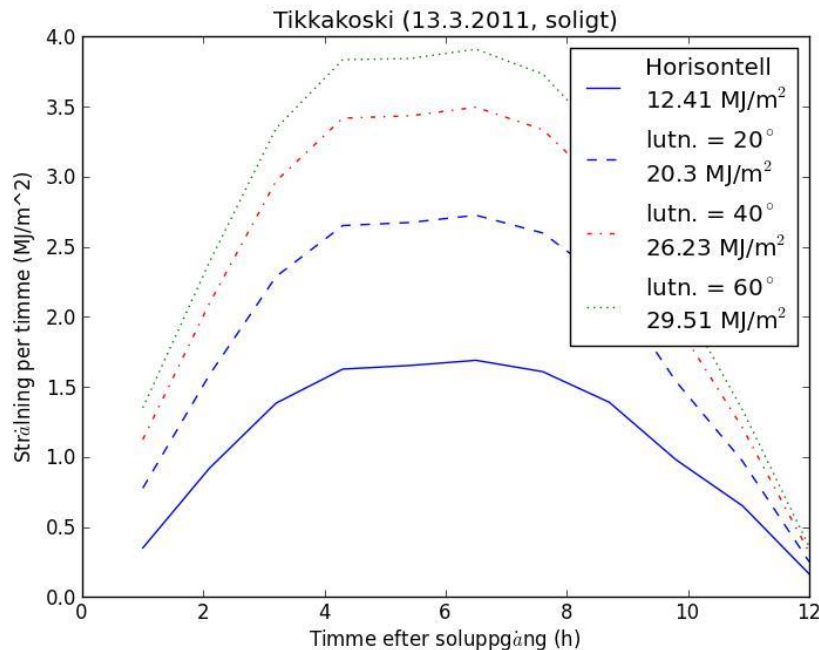
Figur 15. Solens rörelse på himlen under sommarmånaderna. Soluppgången/nedgången sker då norr om den öst-västliga linjen.

Vad som gör det utmanande med att försöka förutsäga hur mycket strålning som träffar en sluttande yta, är att resultatet kraftigt påverkas av graden av molnighet (dvs. av fördelningen mellan direkt och diffus strålning). I figur 16 nedan ser vi situationen en mycket molnig sommardag med nästan uteslutande diffus strålning. I sådan situation är alltid en horisontell yta optimal, eftersom den mottar ljus från hela himlen.



Figur 16. Samma situation som i figur 14, men nu för en mycket mulen sommardag (mest diffus strålning). I detta fall ser vi att den horisontella ytan får ta emot mer strålning, vilket är en naturlig följd av att den horisontella ytan ser hela himlen.

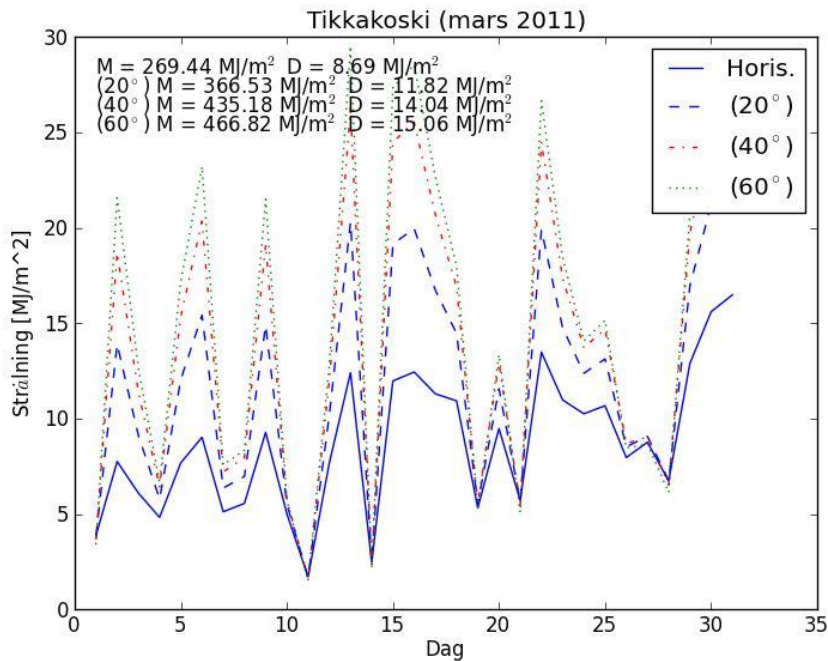
Situationen är en annan under en solig dag på vintern och vårvintern, då solen står mycket lägre på himlen. Före vårdagjämning och efter höstdagjämning belyses en sydvänd lutande yta av solen från soluppgång till solnedgång. Detta gör att man en solig vår-vinterdag kan vinna mycket på att ha en kraftigt lutande solpanel. I figur 17 ser vi data för en solig dag i början av mars. Som vi ser av figuren skiljer sig mängden energi som träffar en horisontell yta, jämfört med energin som träffar en 60-gradig lutande yta, åt med mer än en faktor 2.



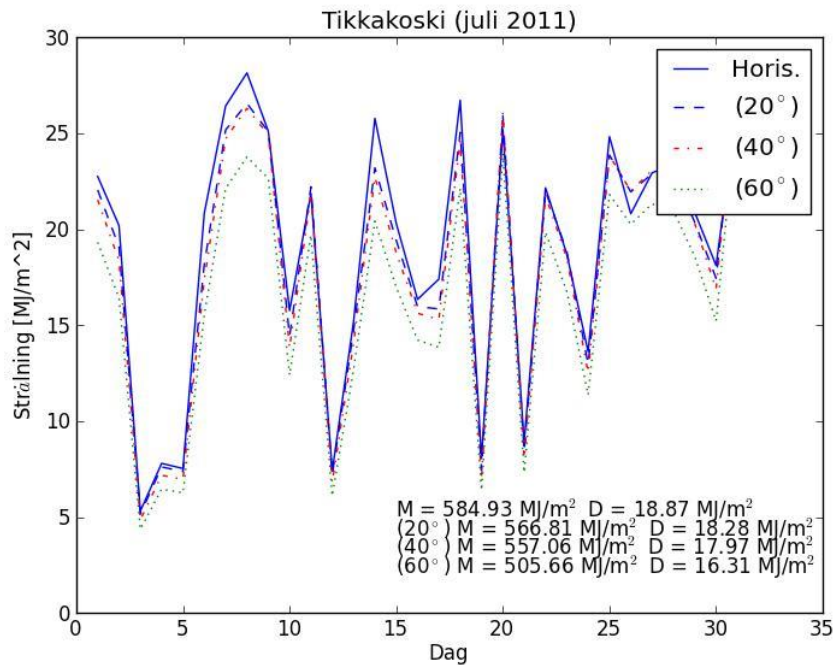
Figur 17. Den totala instrålade energin för en given timme under en solig dag i mars (Tikkakoski). I figuren jämförs solenergin som faller in på en horisontell yta, med energin som faller in på en sydvänd, sluttande yta (lutning 20°, 40° och 60°). Givet i figuren finns också den totala instrålade energin för hela dagen. Som vi ser mottar en sluttande yta betydligt mer solenergi än en horisontell.

Vi kan notera i samband med figur 17, att eftersom solen denna tidpunkt på året stiger som mest 25° över horisonten, måste ytans lutning vara ganska stor för att nå en optimal vinkel.

En given månad består av en blandning av soliga och molniga dagar. För att uppskatta strålningsenergin som faller in på en lutande yta, måste vi beakta denna fördelning mellan soliga och molniga dagar och därmed fördelningen mellan andelen diffus och direkt strålning. I figur 18 har detta gjorts med mars månad (2011) som exempel. Ur grafen ser vi att molniga dagar så är energifördelen mindre med en sluttande yta, jämfört med soliga dagar. Trots detta så ligger den totala strålningen för hela månaden betydligt högre för en sluttande jämfört med en horisontell yta. För en sommarmånad gäller däremot det omvända (se figur 19). En av orsakerna till detta är, som vi såg i figur 14, att en sydvänd yta inte träffas av direkt solstrålning under morgon och kvällstimmar.



Figur 18. Dagliga strålningen under mars månad för en horisontell yta, samt för en sydvänd, sluttande yta med lutning 20°, 40° och 60°. I figuren finns även givet den totala, månatliga strålningen (M) och det dagliga medeltalet för månaden (D).



Figur 19. Dagliga strålningen under juli månad för en horisontell yta, samt för en sydvänd, sluttande yta med lutning 20°, 40° och 60°. I figuren finns även givet den totala, månatliga strålningen (M) och det dagliga medeltalet för månaden (D).

4. SOLSTRÅLNINGSSTATISTIK: TIKKAKOSKI OCH ÖVERMARK

Mätningarna av den globala solstrålningen har utförts under tidsperioden 11.15.2010–8.22.2012 vid Martens försöksväxthus i Övermark. Mätningarna har gjorts kontinuerligt var 5:e minut under denna tidsperiod, med vissa avbrott på grund av tekniska problem. Data från Tikkakoski mätstation för motsvarande tidsperiod, har gjorts tillgängliga via Tapani Koskela vid Finska Meteorologiska Institutet. I detta kapitel skall vi, med dessa mätdata som grund och genom att använda de begrepp och metoder som introducerats i de tidigare kapitlen, jämföra och analysera de båda orternas soldata. Målet är att skapa en modell för den instrålade solenergin, vilken kan tillämpas för främst Sydösterbotten.



Figur 20. Den geografiska placeringen för de båda mätstationerna. Fotot till höger visar pyranometerens (Hukseflux LP02-TR 05) placering ovanpå Martens försöksväxthus i Övermark. Denna pyranometer mäter endast den globala solstrålningen, medan den officiella väderstationen i Tikkakoski, mäter både global och diffus strålning.

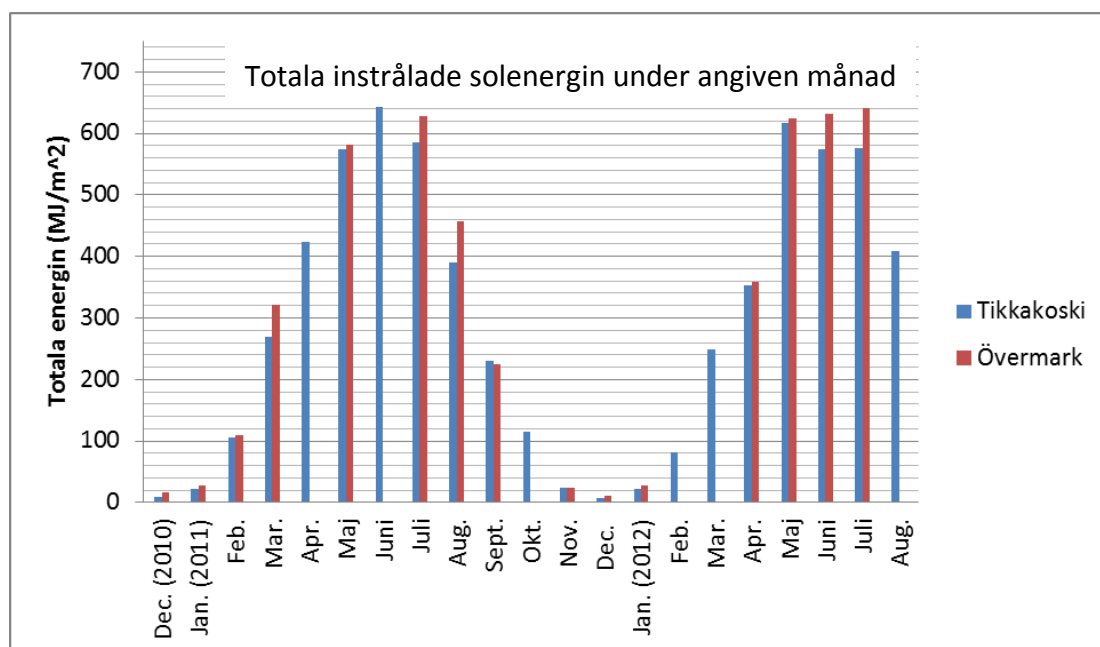
4.1. Globala instrålade energin på en horisontell yta

Solenergin som når markytan varierar med årstid, breddgrad, väder och det lokala vädermönstret (kust vs. inlandsklimat). En titt på tabell 1 nedan visar att variationerna mellan vinter och sommarmånaderna är stora och att mängden solstrålning varierar något från år till år. Vad som också framkommer ur tabellen, är att trots att de båda mätstationerna ligger på nästan samma breddgrad, så har Övermark konsekvent en något högre instrålade energimängd än Tikkakoski. En förklaring till detta är att Övermark ligger betydligt närmare kusten och därför (i medeltal) har fler soltimmar under året än Tikkakoski.

Tabell 1. Tabellen nedan visar den totala instrålade energin (på en horisontell yta) för en given månad i Tikkakoski och Övermark. Månadens dygnsmedeltal, samt max och min-värdet under månaden, finns också angivna. Alla värden är givna i enheten mega-joule per kvadratmeter.

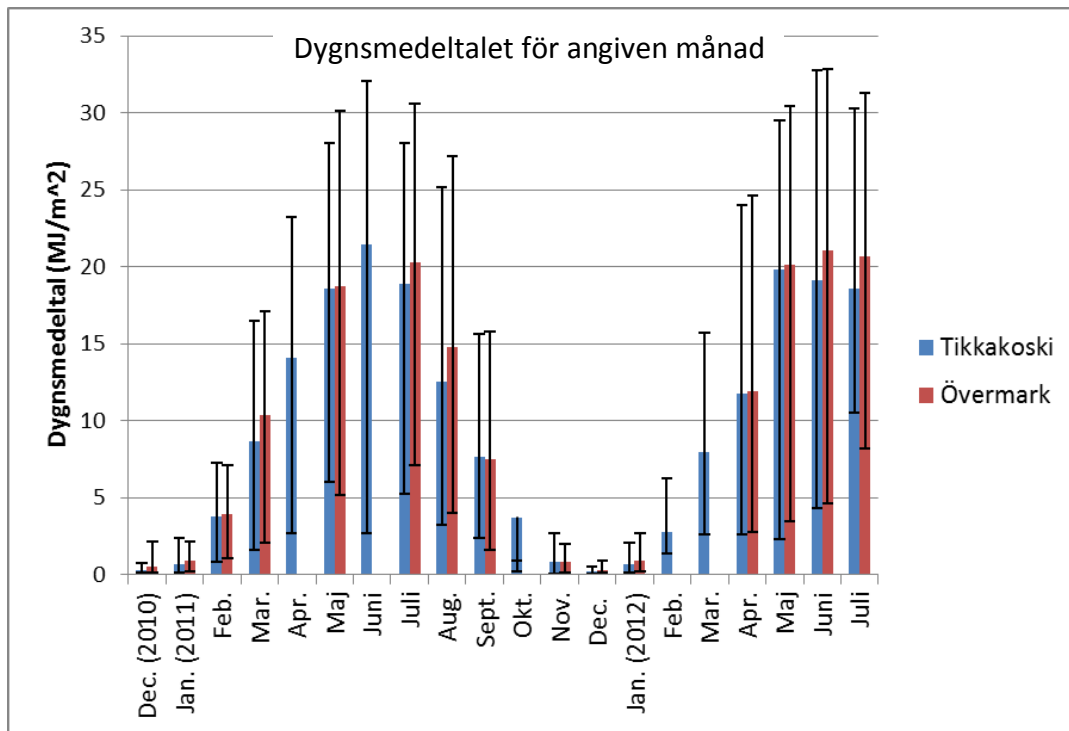
Månad (år)	Tikkakoski			Övermark (Martens)			
	Totala energin (MJ/m ²)	Dygnsmedel. (MJ/m ²)	Månadens min/max	Totala energin (MJ/m ²)	Dygnsmedel. (MJ/m ²)	Månadens min/max	
Dec. (2010)	9,47	0,31	0,11/0,73	16,77	*	0,54	0,10/2,15
Jan. (2011)	21,53	0,69	0,1/2,41	27,74		0,89	0,2/2,13
Feb.	106,38	3,8	0,8/7,23	109,45		3,91	1,04/7,11
Mar.	269,44	8,69	1,62/16,51	320,97		10,35	2,1/17,1
Apr.	422,9	14,10	2,73/23,26				
Maj	575,1	18,55	6,0/28,03	581,52		18,76	5,14/30,1
Juni	643,15	21,44	2,66/32,03				
Juli	584,93	18,87	5,25/28,05	628,99		20,29	7,1/30,6
Aug.	389,58	12,57	3,23/25,16	457,68		14,76	4,02/27,16
Sept.	229,89	7,66	2,42/15,60	224,02		7,47	1,58/15,8
Okt.	115,08	3,71	0,90/10,2				
Nov.	24,81	0,83	0,06/2,66	24,85		0,83	0,16/1,96
Dec.	7,41	0,24	0,09/0,54	10,24		0,33	0,1/0,93
Jan. (2012)	21,48	0,69	0,14/2,06	28,5		0,92	0,19/2,68
Feb.	81,41	2,81	1,41/6,25				
Mar.	248	8	2,65/15,7				
Apr.	353,31	11,78	2,61/24,0	358,12		11,94	2,76/24,6
Maj	616,61	19,79	2,27/29,54	624,30	*	20,14	3,46/30,4
Juni	573,73	19,12	4,34/32,8	631,76	*	21,06	4,67/32,86
Juli	575,37	18,56	10,54/30,32	640,85		20,67	8,2/31,3
Aug.	408,43	13,18	4,75/22,51				
			MJ/m ²				MJ/m ²
				Data saknas (>2 dygn)			
				*Data saknas (<1dygn)			

En del av informationen i tabell 1 återges grafiskt i figur 21 nedan. Grafen visar tydligt de stora variationerna i den instrålade energin under året. Också det faktum att Övermark systematiskt har en större mängd instrålade energi, jämfört med Tikkakoski, ses klart från grafen.



Figur 21. Totala instrålade solenergin under en given månad i enheten mega-joule per kvadratmeter (MJ/m²).

Månadsmedeltalet för den instrålade solenergin ger en grov uppskattning av mängden solenergi som kan förväntas träffa en given horisontell yta. Vill man få en uppskattning av mängden solenergi per dygn (dygnsmedeltalet), är första steget att dividera månadsmedeltalet med antal dagar i månaden. Trots att dygnsmedeltalet ger en uppskattning av den förväntade mängden solenergi under en viss dag och månad, måste man vara medveten om de stora variationerna kring detta medeltal. Så är t.ex. dygnsmedeltalet för juli månad (2011) i Tikkakoski 18,87 MJ/m². Under den soligaste dagen i juli uppmättes hela 28,05 MJ/m², medan under månadens molnigaste dag uppmättes endast 5,25 MJ/m². Att försöka förutsäga hur mycket solenergi man kan förvänta sig under en viss given dag, är därför förknippat med en stor osäkerhet. Figur 22 nedan visar dygnsmedeltalet för en given månad och intervallet inom vilken den instrålade energin varierar.



Figur 22. Dygnsmedelatlet för en given månad. De svarta felstaplarna visar intervallet inom vilken den instrålade, dagliga energin varierar för den angivna månaden. Notera storleken i variationerna, dvs. försiktighet bör iakttas om man använder månadens dygnsmedelat!

4.2. Globala instrålade energin på en sydvänd, sluttande yta

Som påpekades i kapitel 3.6, så är mängden solenergi som faller in på en sluttande yta ofta av intresse. Problemet är att oftast har man endast mätningar av den globala strålningen på en horisontell yta att tillgå (som i fallet med Övermark). För att lösa detta problem, hamnar man att göra vissa förenklande antaganden, samt uppskatta andelen diffus strålning från klarhetsindexet och mängden global strålning (se bilaga B för detaljer). Resultatet av dessa mätningar och beräkningar finns sammanfattade i tabell 2 nedan.

Tabell 2. Det uppmätta och beräknade dygnsmedeltalet för angiven månad. Mätningarna har utförts på en horisontell yta och beräknats för en given, sluttande yta enligt de metoder som beskrivs i bilaga B. Januari och december data från Övermark innehåller troligen effekterna en tidvis nedisning av pyranometerns glashölje. Detta gör att sensorn ger ett för högt intensitetsvärde vissa kalla, soliga dagar, med ett för högt dygnsmedelvärde som följd.

	Tikkakoski				Övermark				
	Dygnsmedel (MJ/m ²)				Dygnsmedel (MJ/m ²)				
Ytans lutn. (°)	0°	20°	40°	60°	0°	20°	40°	60°	
Jan.	0,7	1	1,3	1,4	0,7	1,9	2,9	3,5	*
Feb.	3,3	5,6	7,4	8,5	3,9	7,1	9,6	11,2	
Mar.	8,3	11,4	13,5	14,5	10,4	14,9	18,2	19,9	
Apr.	12,9	14,6	15,4	14,9	11,9	13,4	14,2	13,8	
Maj	19,2	19,1	19,2	17,7	19,2	19,6	19,6	18,1	
Juni	20,3	19,2	18,8	16,9	21,1	20,3	19,8	17,8	
Juli	18,7	18,3	18	16,3	20,5	20,3	19,9	18,1	
Aug.	12,9	13,6	13,8	13	14,8	15,7	15,9	14,9	
Sept.	7,7	9,2	10,1	10,2	7,5	8,6	9,1	8,5	
Okt.	3,7	5,2	6,2	6,7					Data saknas
Nov.	0,8	1,1	1,3	1,4	0,8	1,2	1,5	1,7	
Dec.	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	1,2	1,9	2,4	*
	Två års medelvärde				Två års medelvärde				
					* Möjligt mätproblem				

Som exempel på hur resultaten i tabell 2 kan användas, så kan vi ta en 4 m² stor solpanel som är monterad på ett sydsluttande tak (lutning 40°) i Övermark. Om vi ser på maj månad så förväntar vi oss att solpanelen varje dygn träffas av en solenergimängd på: 19,6 MJ/m² x 4 m² = 78,4 MJ. För hela maj månad blir alltså den totala energimängden: 31 x 78,4 = 2430 MJ.

Figur 23 och 24 visar informationen i tabell 2 i grafisk form. Notera speciellt den stora skillnaden i instrålad energi under vår-vintern, om den mottagande ytan har en lutning på över 40°. En lutningsvinkel som ger en energivinst under vår-vintern, leder tyvärr till en energiförlust under sommarmånaderna.

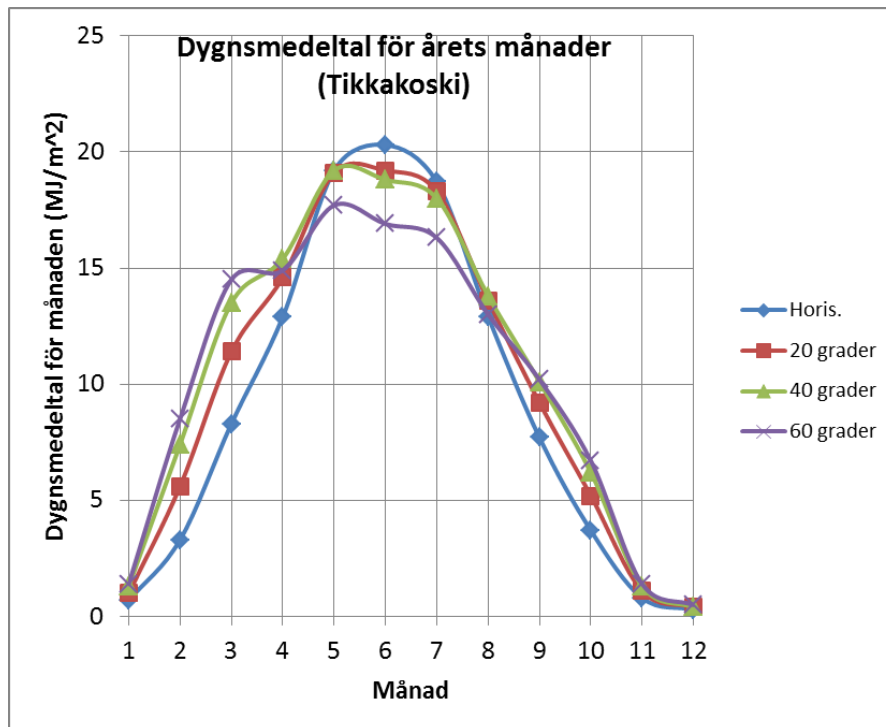


Fig. 23. En grafisk framställning av informationen i tabell 2 för Tikkakoski. Vi ser att en rätt stor energivinst kan göras under mars och april månad, om den mottagande ytans lutningsvinkel är 40° eller större. Samma vinst kan däremot inte iakttas under senhösten, vilket beror på en stor andel mulna dagar och därför en lägre mängd direkt solstrålning.

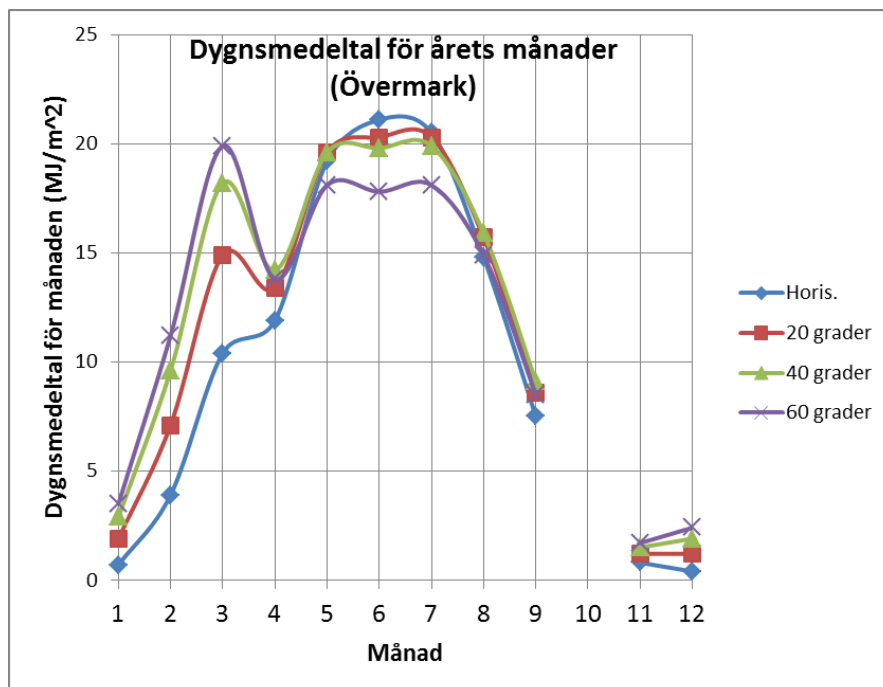


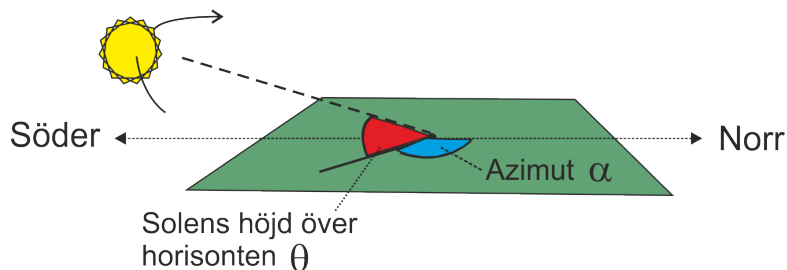
Fig. 24. En grafisk framställning av informationen i tabell 2 för Övermark. Vi ser en ännu påtagligare energivinst för mars och april månad, om den mottagande ytans lutningsvinkel är 40° eller större. Orsaken till skillnaden är att Övermark har en större andel soltimmar i mars och april än Tikkakoski.

4.3. Sammanfattning

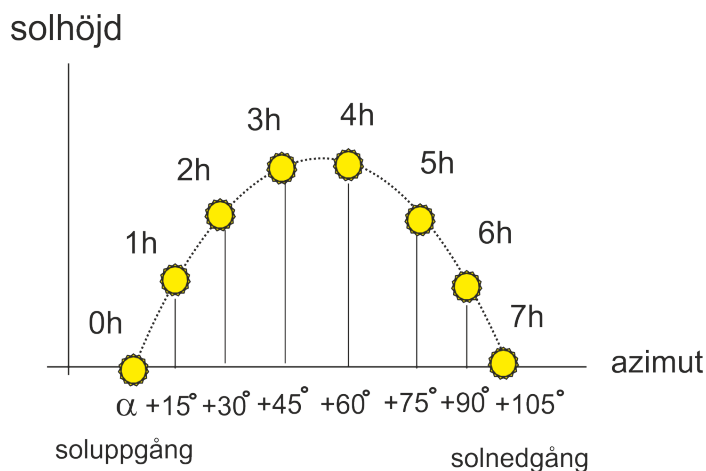
Föreliggande rapport ger solstatistik som gäller för Sydösterbotten. Mätningarna gjorda i Övermark är konsistenta med de officiella väderleksdata som gjorts tillgänglig från Tikkakoski mätstation. Trots att solstatistiken för Sydösterbotten förväntas vara representativ, måste det noteras att mätperioden endast omfattar något mindre än två år och att data saknas helt för vissa månader. En speciell försiktighet bör iaktas vid användande av december och januari månads data, eftersom en trolig reflekterande iskristallbildning på pyranometersn glashölje ger vissa dagar med ofysikaliskt höga mätvärden.

BILAGA A. BERÄKNING AV SOLENS POSITION

För att kunna beräkna den direkta solstrålningens intensitet (I), måste vi känna till solens läge på himlen. Solens läge ges med hjälp av två vinklar: solhöjden (θ) och azimuthen (α). Är vi endast intresserad av intensiteten som faller in på en horisontell yta, så räcker det att känna till solhöjden vid en viss tidpunkt på dagen. Har vi en lutande yta krävs dock båda vinklarna.

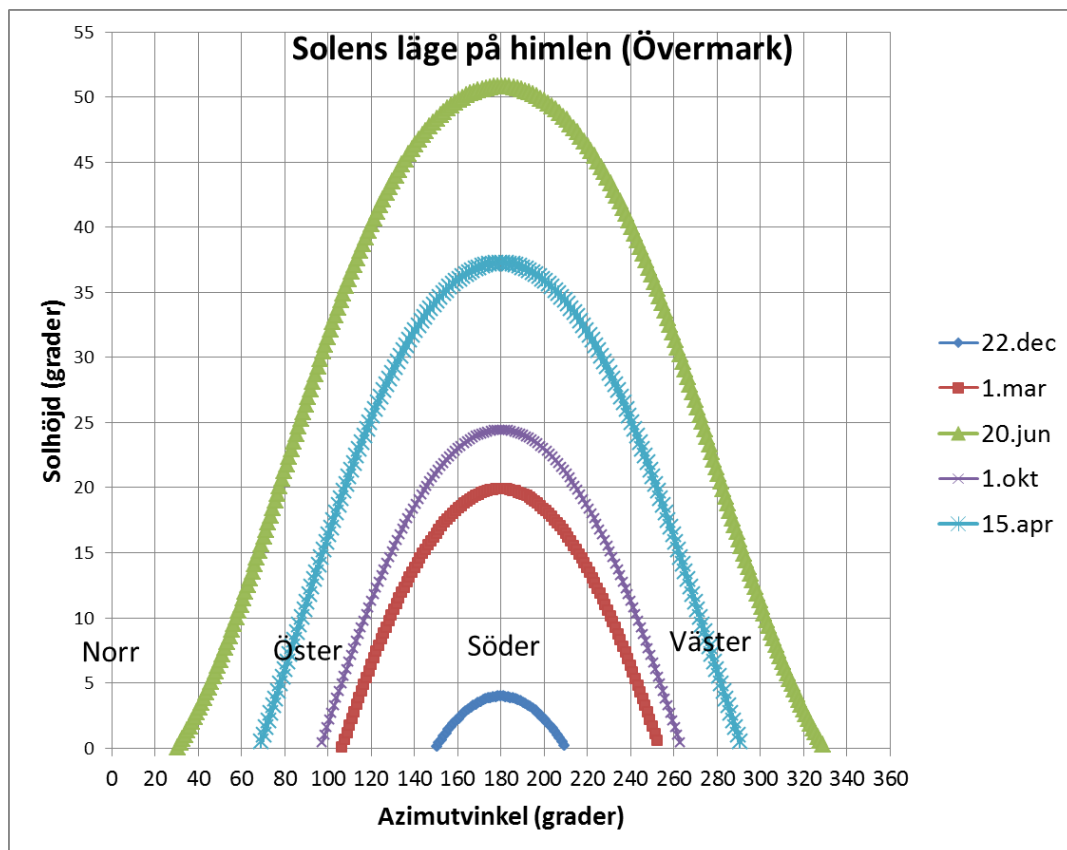


Bilden nedan visar hur solens läge ändrar på himlen under dagens gång. Solen rör sig över himlen så att dess azimuthvinkel α (och därmed timvinkeln $\omega = \alpha - 180^\circ$) ändrar med 15° per timme. Solen står som högst på himlen när $\alpha = 180^\circ$, dvs. när solen står rakt i söder.



Den exakta formen på den kurva som solen beskriver över himlen, beror av platsen man befinner sig på och på tidpunkten på året. Grafen nedan visar hur solens läge (sett från Övermark) ändrar på himlen under fem olika dagar på året (22:a december, 1:a mars, 15:e april, 20:e juni och 1:a oktober). Ur dessa grafer kan man utläsa t.ex. solhöjden vid en viss tidpunkt på dagen, information som behövs för att beräkna den maximal, direkta solstrålningen $I = I_0 \sin \theta$.

Är man endast intresserad av tiderna för solens upp- och nedgång, och därmed totala antalet soltimmar en viss dag, kan man för ett antal orter i Finland använda sig av Helsingfors Universitets almanacka [4].

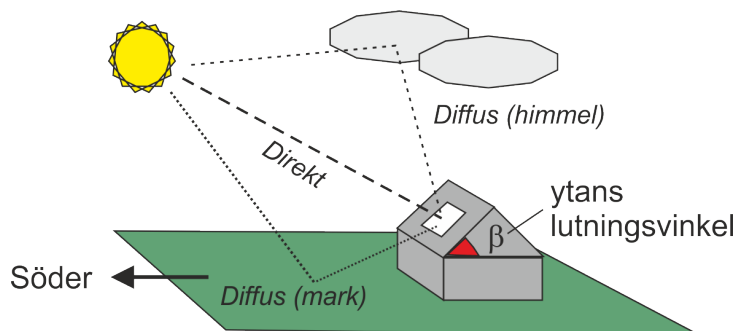


Graferna ovan och soluppgångs/nedgångs-data från en astronomisk almanacka, ger en grov uppskattning av solens läge på himlen en viss tid på dagen, under en viss tid på året. Behövs en större precision (och en större grad av automatisering), måste man använda sig av samma formler som de vilka ligger till grund för beräkningarna av solens upp- och nedgång.

Approximativa uttryck för solens läge som funktion av positionen på jordytan och tiden på året, vilka räcker till för solenergiberäkningar, återfinns i referens [1]. I detta arbete har de fulla astronomiska uttrycken använts för att beräkna solens läge på himlen, eftersom dessa uttryck ger en större exakthet och flexibilitet när det gäller att tolka och behandla uppmätta soldata (för de beräkningsalgoritmer som använts, se referens [2]).

BILAGA B. SOLINTENSITETEN PÅ EN SLUTTANDE YTA

Vi vill från mätningar av den globala intensiteten som faller in på en horisontell yta, beräkna hur stor mängd som träffar en sluttande yta. En sluttande yta kan träffas av direkt solstrålning, av diffus strålning från himlen, samt av reflekterad strålning från marken (se figuren nedan). I den enklaste modellen som används, antas att lika mycket diffus strålning kommer från alla delar av himlen (det finns alltså, förutom solen, inga ljusare eller mörkare områden på himlen). Modellen antar också att sikten till horisonten är helt fri. Dessa förenklingar ger vad som kallas den isotropiska himmelsmodellen [1].



Intensiteten som träffar den sluttande ytan (I_{lut}) är under dessa antaganden:

$$I_{lut} = I_{direkt} \cdot R_{direkt} + I_{diffus} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{global} \cdot \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (\text{B.1})$$

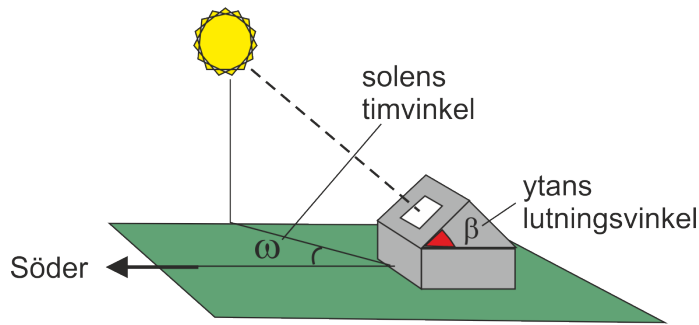
För att kunna använda denna formel måste vi känna till, förutom ytans lutning, andelen direkt solstrålning som träffar den lutande ytan (R_{direkt}), fördelningen mellan diffus och direkt strålning som faller in på en horisontell yta (I_{direkt} och I_{diffus}), samt markens reflektivitet (ρ). Eftersom vi antar att vi känner den globala strålningen (I_{global}) på en horisontell yta och följande samband gäller

$$I_{global} = I_{direkt} + I_{diffus}$$

så behöver vi endast uppskatta andelen diffus strålning. Detta kan göras med de metoder som beskrivs i kapitel 3.5. Kvar återstår att beräkna förhållandet mellan den direkta strålning som träffar en lutande yta och den som träffar en horisontell yta. Detta förhållande beror endast på ytans lutning och solens läge på himlen. Om vi antar ytan är vänd mot söder, så kan följande geometriska formel härledas [1]:

$$R_{direkt} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\phi) \cos(\delta) \cos(\omega) + \sin(\phi) \sin(\delta)} \quad (\text{B.2})$$

där vinkeln ϕ är ortens latitud (för Övermark är $\phi = 62,6^\circ$), δ solens deklinationsvinkel och ω solens timvinkel (se figuren nedan).



Solens deklinationsvinkel ändrar under årets gång mellan $+23,45^\circ$ (midsommarsolstånd) och $-23,45^\circ$ (midvintersolstånd). Solens timvinkel ω ändrar också den under dagens gång. Om vi tar vårdagjämningdagen som exempel, så stiger solen upp rakt i öster ($\omega = -90^\circ$). När solen står rakt i söder är $\omega = 0^\circ$ och när den går ner i väster är $\omega = +90^\circ$. Varje timme rör sig solen så att timvinkeln ändrar med 15° . Sambandet mellan solens timvinkel och azimuth-vinkel är: $\text{azim} = \omega - 180^\circ$ (se bilaga A för detaljer).

Värdet för markens reflektivitet (ρ) beror på typen av markvegetation och på om marken är täckt av snö, eller inte. Nedan finns en kort tabell med några riktgivande värden [3]:

Markvegetation	Reflektivitet (ρ)
Jord (våt och mörk)	0,05–0,4
Jord (ljus och torr)	0,15–0,45
Gräs (långt till kort)	0,16–0,26
Spannmålsfält	0,18–0,25
Lövskog	0,15–0,20
Snö (gammal till ny)	0,40–0,95

I våra beräkningar har vi använt ett värde på 0,5 för månaderna december–mars och 0,3 för resten av året.

Vad som återstår för att kunna använda formel (B.2), är solens deklinationsvinkel δ för den aktuella tidpunkten på året. Följande (approximativa) formel kan användas för detta ändamål [1]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad (\text{B.3})$$

Där n är dagen på året ($n = 1$ första januari, $n = 33$ andra februari, osv.). Som exempel kan vi beräkna deklinationsvinkeln för 15:e april. Denna dag motsvarar $n = 105$ och vi får med insättning i (B.3) att deklinationsvinkeln är $\delta = 9,4^\circ$.

REFERENSER

- [1]. J. A. Duffie and W. A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3rd edition, 2006.
- [2]. P. Duffett-Smith and J. Zwart, *Practical Astronomy with your Calculator or Spreadsheet*, 4th edition, 2011.
- [3]. http://www.bembook.ibpsa.us/index.php?title=Ground_Reflectance. Läst 19.9.2014.
- [4]. <http://almanakka.helsinki.fi/sv/publikationer/kalendern-foer-2014.html>. Läst 22.9.2014.

YRKESHÖGSKOLAN
NOVIA

Novia är den största svenskspråkiga yrkeshögskolan i Finland med examensinriktad ungdoms- och vuxenutbildning, utbildning som leder till högre yrkeshögskoleexamen samt fortbildning och specialiseringsutbildning. Nova har ca 4000 studerande på sex campus i Vasastad, Jakobstad, Raseborg och Åbo.

Yrkeshögskolan Nova är en internationell yrkeshögskola, via samarbetsavtal utomlands och internationalisering på hemmaplan. Novias styrka ligger i närvaron och nätverket i hela Svenskfinland.

Novia representerar med sitt breda utbildningsutbud de flesta samhällssektorer. Det är få organisationer som kan uppvisa en sådan kompetensmässig och geografisk täckning. Högklassiga och moderna utbildningsprogram ger studerande en bra plattform för sina framtida yrkeskarriärer.

YRKESHÖGSKOLAN NOVIA

Wolffskavägen 33, vån 4, 65200 Vasastad
Växel tfn (06) 328 5000
Fax (06) 328 5110
www.novia.fi

ANSÖKNINGSBYRÅN

Wolffskavägen 33, 65200 Vasastad
Tfn (06) 328 5555
Fax (06) 328 5117
ansokningsbyran@novia.fi

Yrkeshögskolan Nova upprätthåller en publikations- och produktionsserie för att sprida information och kunskap om verksamheten såväl regionalt, nationellt som internationellt. Publikations- och produktionsserien är indelad i fem kategorier:

R - Rapporter • P - Produktioner • A - Artiklar • L - Läromedel • S - Studerandes arbete

Läs våra senaste publikationer på www.novia.fi/FoU/publikation-och-produktion