

ANALYS AV STRÅLNING OCH TRANSMISSION I ETT VÄXTHUS

Mats Borg





PROJEKTET HEIJASTUS

Rapport 2015

Analys av strålning och transmission i ett växthus

Mats Borg

Yrkehögskolan Novia, Forskning och utveckling, Bomullgränd 3, 65200 Vasa

5.10.2015



Närings-, trafik- och
miljöcentralen



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling:
Europa investerar i landsbygdsområden

Abstrakt

I denna rapport analyseras uppmätta data för strålningen utanför och på insidan av ett åsväxthus. Strålningen har uppmätts separat både för globalstrålning i energienheter (W/m^2) och fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR) i kvantumenheter ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$). Syftet med analysen är att ge en bild av

- inkommande strålning över dygnet och året
- hur globalstrålning och PAR-strålning förhåller sig till varandra över dygnet och året
- hur stor andel av strålningen som tränger genom växthushöljet vid olika tider av dygnet och året
- om det finns väsentliga skillnader mellan direkt och diffus strålning gällande ovanstående punkter

I analysen används en enkel empiriskt framtagen modell för globalstrålningen från klar himmel vid olika solhöjd. Genom att jämföra uppmätt strålning och strålningen enligt denna modell bedöms i vilken grad solen skymms av moln eller dis och därmed i vilken grad strålningen är diffus respektive direkt. Bedömning av graden av molnighet görs även genom att jämföra uppmätt himmelstemperatur med lufttemperatur. Molnighetsbedömningen enligt dessa båda metoder uppvisar god korrelation.

Analys av mätdata visar att förhållandet mellan PAR-strålning och globalstrålning utanför växthuset är relativt konstant, med ett värde om cirka 2,0, under dygnets ljusa timmar. Förhållandet är också någorlunda samma för både diffus och direkt strålning. Dethär innebär att odlare som mäter strålningen med globalstrålningsmätare utan större förlust av noggannhet kan omvandla värdet till ett PAR-värde genom multiplikation med faktorn 2,0 $\mu\text{mol}/\text{Ws}$.

Globalstrålningens transmittans genom glas och strukturer för det undersökta växthuset är cirka 62 %. Detta värde är ett strålningsvägt medeltal över året. Skillnaden mellan värdena för direkt strålning och diffus strålning är liten 61 % respektive 63 %. Värdet för PAR-strålningens transmittans vid direkt strålning är ungefär samma, cirka 63 %. Däremot är transmittansen för diffus PAR-strålning väsentligt högre, cirka 70 %. Resultatet visar att man bör vara försiktig med att direkt överföra transmittansdata för globalstrålning till PAR-strålning.

Innehåll

1	Bakgrund	4
2	Mätdata och sensorer.....	4
3	Variationer i globalstrålning över året och dygnet	6
4	Solighet	7
5	Himmelsklarhet	10
6	Sambandet mellan PAR-strålning och globalstrålning	12
7	Transmittans.....	14
8	Vidare undersökning	18

1 Bakgrund

Den här rapporten har gjorts inom projektet ”Heijastus – valo- ja energiatehokkuuden parantaminen nykyisissä ja uusissa kasvihuoneissa” (”Reflektion – förbättring av ljus- och energieffektiviteten i befintliga och ny växthus”) som finansierats av Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden, beviljat av Österbottens och Syd-Österbottens NTM-centraler. Den här rapporten ingår i en större helhet. Projektägare har varit Vasa universitet och Yrkeshögskolan Novia har fungerat som en delgenomförare i projektet. Syftet med denna rapport är att ge en generell bild av solinstrålning över året och dygnet, transmissionen genom växthusets hölje och förhållandet mellan PAR-strålning och globalstrålning. För analysen används mätdata loggade vid ett växthus i Övermark under knappt två års tid.

2 Mätdata och sensorer

Mätdata har registrerats med programvaran EXO4 och hårdvaran Exoflex från Regin (AB Regin, Kålleröd, Sverige). Mätdata omfattar en tidsperiod från 15.11.2010 till 23.8.2012, med några avbrottsperioder som framgår av Figur 3. Data har uppmätts med två sekunders intervall och loggats med fem minuters intervall. Det loggade värdet utgör medeltalet av alla värden uppmätta under femminutersintervallet. Det totala antalet loggade tidpunkter är 186169.

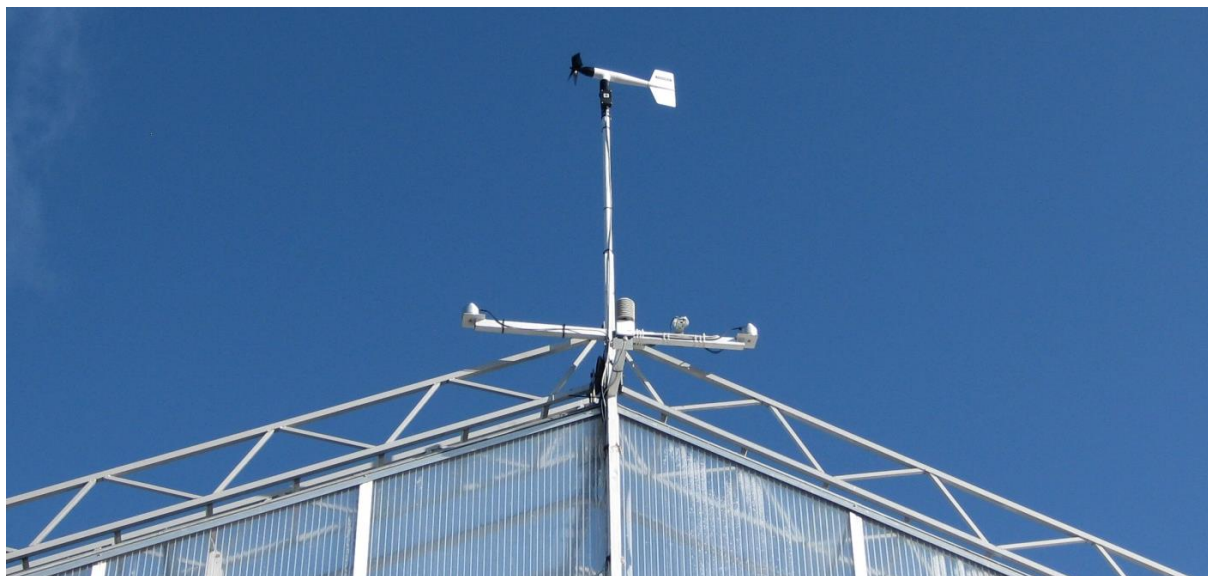
Strålningsdata finns tillgängliga från fem sensorer (Figur 1 och Figur 2):

- 1) En pyranometer ovanför växthusets tak mäter globalstrålningen (W/m^2). Globalstrålningen är den sammanlagda solstrålningen från hela halvsfären, som himlen utgör.
- 2) En pyranometer inne i växthuset, belägen på 3–4 m höjd och ovanför plantor och belysningsutrustning, mäter den globalstrålning som passerat höljet.
- 3) En PAR-sensor ovanför växthusets tak mäter PAR-strålningen ($\mu mol/m^2s$). PAR-strålningen är fotonerna inom våglängdsområdet 400–700 nm. Data för denna sensor finns från 30.3.2012 till 23.8.2012.
- 4) En PAR-sensor inne i växthuset, på samma höjd och nära sensor 2, mäter den PAR-strålning som passerat höljet.
- 5) En pyrgeometer utanför växthuset mäter strålningsutbytet mot himlen inom FIR-området (4500–50000 nm).

Pyranometrarna är av modell Hukseflux LP02-TR-05 (Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delft, Nederländerna) med en noggrannhet om $3 W/m^2 + 5 \%$. De har ett halvsfäriskt transparent hölje upptill. Höljet släpper genom strålning inom våglängdsområdet 300–2800 nm. Själva sensorytan under höljet är plan.

PAR-sensorerna är av modell LI-COR LI-190 (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska, USA) med en noggrannhet om $4 \mu mol/m^2s + 5 \%$. Sensorn är en kvantumsensor med en plan yta med filter som filtrerar PAR-strålningen.

Pyrgeometern är av modell Hukseflux IR2 (Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delft, Nederländerna). Pyrgeometerns uppbyggnad är likadan som pyranometrarnas, men höljet är transparent för långvågig strålning.



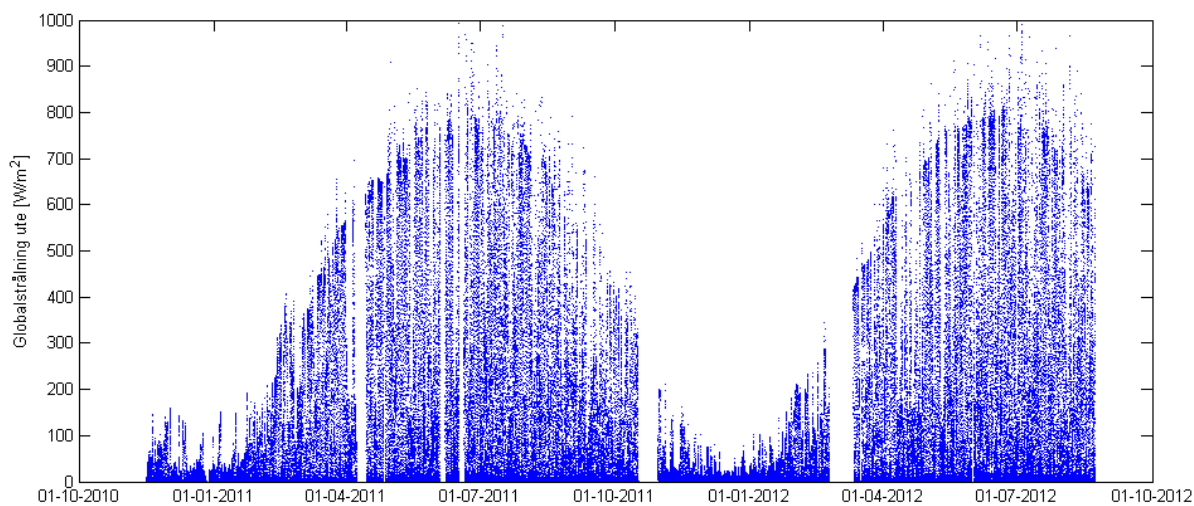
Figur 1 Utesensorernas placering vid gaveln av växthuset i höjd mednocken. Pyranometern ligger ytterst på armen till vänster, pyrgeometern längst ut på armen till höger, PAR-sensorn mitt på armen framåt i bild. Högst upp finns sensor för vindriktning och vindhastighet.



Figur 2 Innesensorernas placering i växthuset. Sensorerna är monterade ovanpå balken mitt i bild. Pyranometern ligger till vänster och PAR-sensorn till höger.

3 Variationer i globalstrålning över året och dygnet

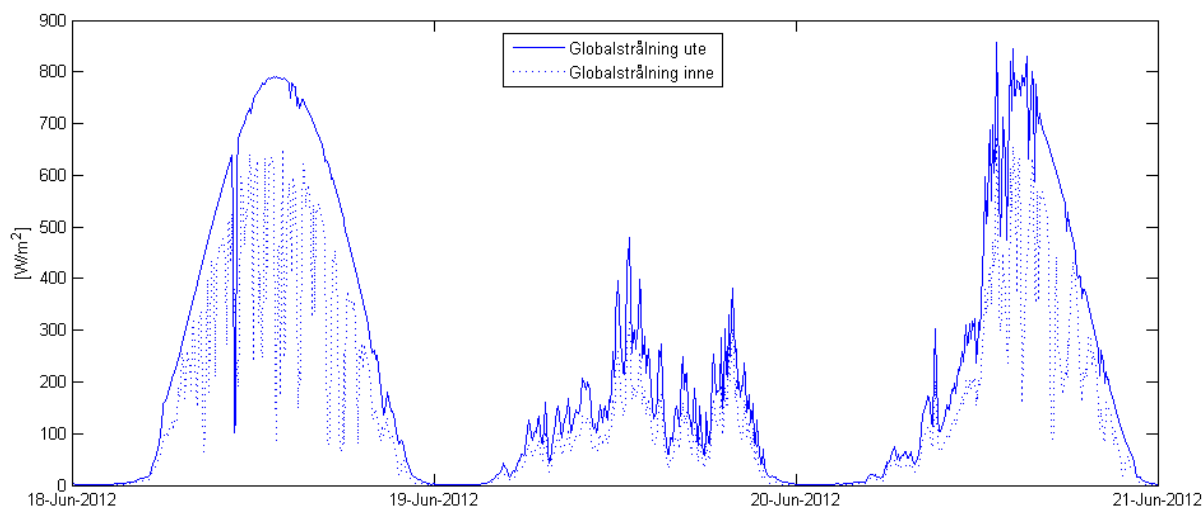
Figur 3 visar globalstrålningen över hela mätperioden, dvs. knappt två år. Varje punkt i diagrammet utgör ett femminutersvärde. Variationerna över året framgår klart. Kring midsommar är maximala strålningen ungefär 800 W/m^2 och för vissa enskilda mätningar upp till 1000 W/m^2 . Vid midvinter är maximala strålningen ungefär 60 W/m^2 . Vissa enskilda dygn med högre strålning förekommer under köldperioder, speciellt vintern 2010–2011. Strålningen är under dessa dygn högre än den teoretiskt borde kunna vara och det är alltså fråga om mätfel. Mätfelet uppstår sannolikt p.g.a. att det bildats rimfrost på strålningssensorns kupolformade hölje, vilket gör att höljet även vid låga solvinklar lyser upp den plana sensorytan under höljet.



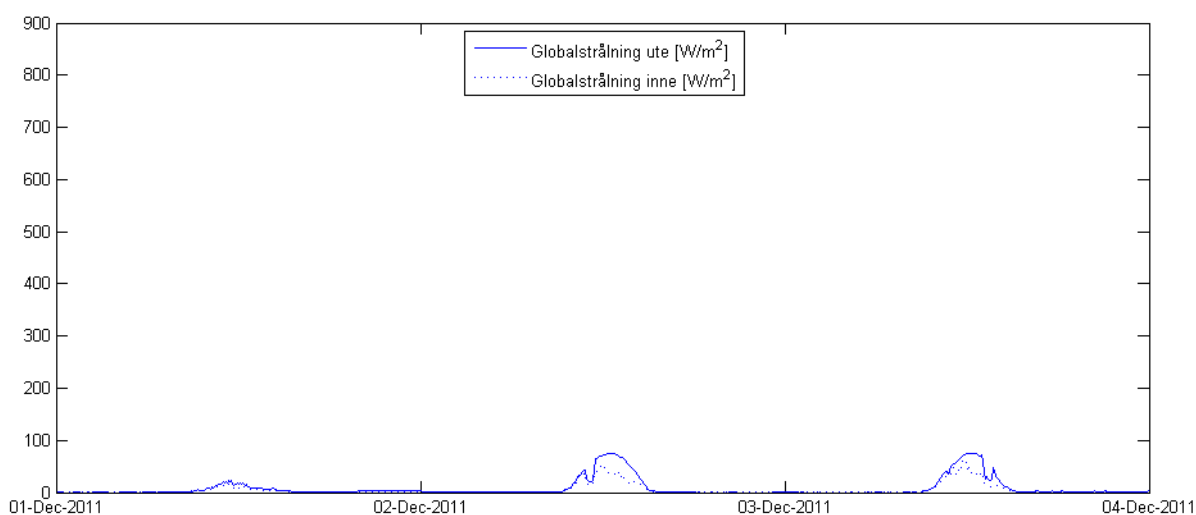
Figur 3 Globalstrålning utanför växthuset under hela tidsperioden. För vissa intervall saknas mätdata. Varje punkt i diagrammet utgör medeltalet för en femminutersperiod.

Figur 4 visar strålningen under en tredygnsperiod sommaren 2012. Den dygnsvisa periodiciteten framgår klart. Dag ett i figuren (18.6.2012) är vädret klart och strålningen utanför huset följer en jämn kurva. Den uppmätta strålningen inne i växthuset varierar p.g.a. att sensorn ibland skuggas av delar av växthusstrukturen. Under dag två (19.6.2012) är strålningen till största delen diffus och skuggningen spelar ingen betydande roll. Kurvan för strålningen inne i växthuset följer då kurvan för strålningen utanför växthuset, men på en lägre nivå p.g.a. att endast en del av strålningen kommer genom höljet.

Figur 5 visar strålningen under en tredygnsperiod vintern 2011. Figuren är ritad med samma skala som Figur 4 för att tydliggöra den stora skillnaden i strålningens intensitet mellan sommar och vinter. Även dagens korthet framgår tydligt. Sammantaget innebär detta att strålningssumman för ett soligt vinterdygn är mycket liten jämfört med ett soligt sommardygnet. Den 2.12.2011 var den uppmätta strålningssumman $0,94 \text{ MJ/m}^2$ (vilket ger genomsnittliga strålningen 11 W/m^2) medan den 18.6.2012 var $29,4 \text{ MJ/m}^2$ (340 W/m^2). Värdena skiljer med faktorn 31. Nattetid, även under en klar sommarnatt, är strålningen i praktiken noll. Mätvärdena är på några W/m^2 , men ligger inom mätosäkerheten.



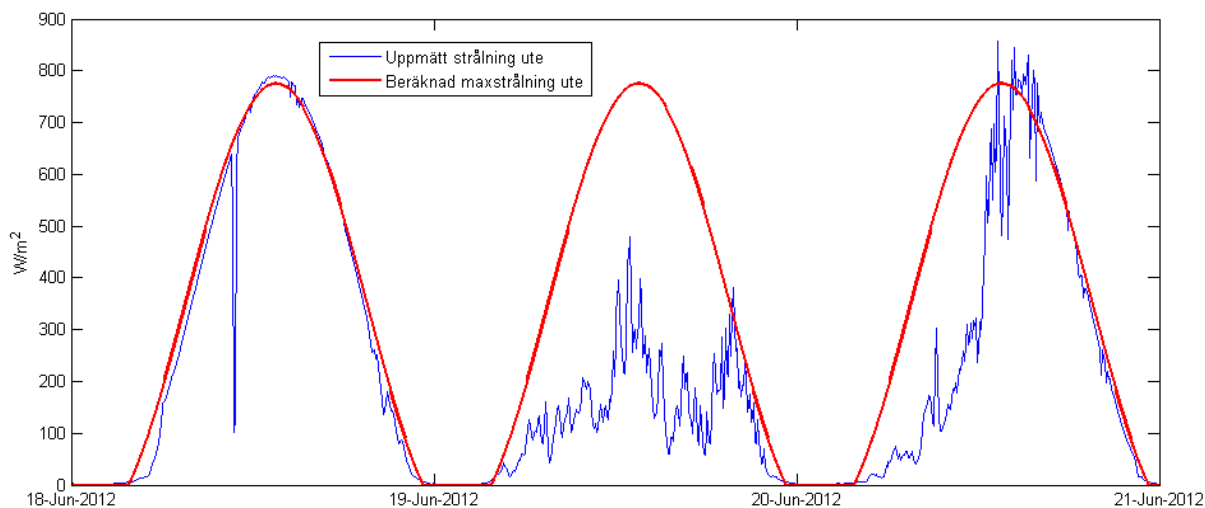
Figur 4 Globalstrålning utanför växthuset och inne i växthuset 18–20.6.2012. Den första dagen (18.6) är solig, den andra (19.6) är mulen och den tredje (20.6) har växlande molnighet. Intensitetsdalen på förmiddagen 18.6 upprepas varje dygn och beror på en skuggning från stängan, där vindsensorn är monterad (se Figur 1). Variationerna i strålning registrerad av sensorn inne i växthuset första dagen och eftermiddagen den tredje dagen beror på att sensorn tidvis skuggas av balkar och spröjsar.



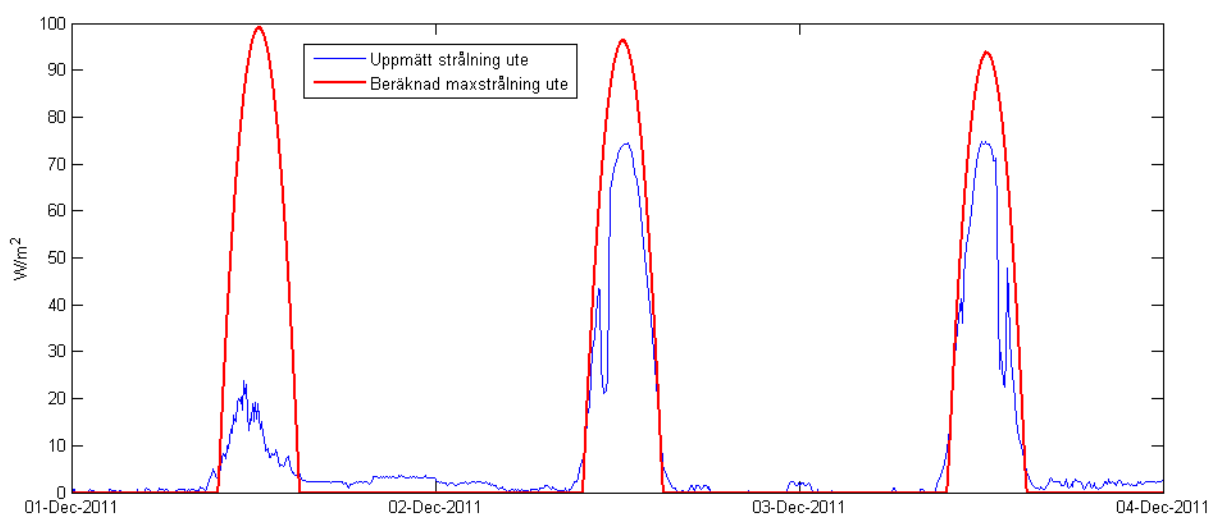
Figur 5 Globalstrålning utanför växthuset och inne i växthuset 1–3.12.2011.

4 Solighet

Solighet är inte ett etablerat vetenskapligt begrepp med entydig definition. Ett sätt att bedöma soligheten vid en given tidpunkt är att jämföra den uppmätta globalstrålningen med den förväntade globalstrålningen vid helt klart väder. Globalstrålningen kan grovt taget förväntas vara proportionell mot sinus för solhöjden. Figur 6 och Figur 7 visar den på detta sätt beräknade maximala strålningen och verklig uppmätt strålning för några sommardagar respektive vinterdagar. Som värde för den maximala strålningen vid 90° solhöjd har använts 1000 W/m^2 . Solhöjden är matematiskt framräknad för given plats, inte uppmätt. Överensstämmelsen med uppmätta data är god den 18.6.2012, som är en solig sommardag, medan den verkliga strålningen ligger något tiotal procent under den beräknade den 2.12.2011, som är en solig vinterdag.

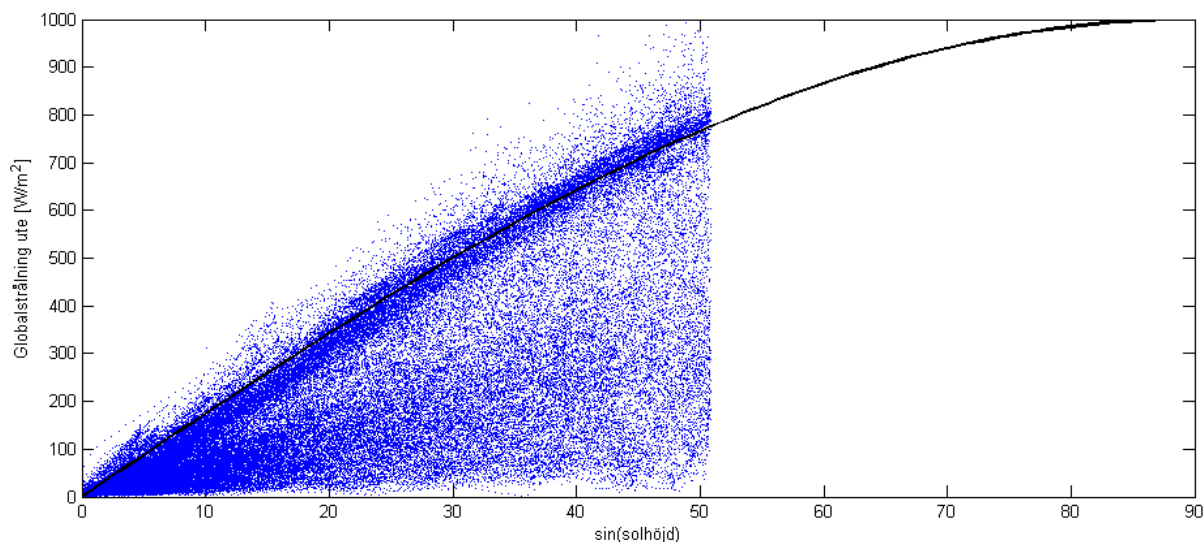


Figur 6 Uppmätt globalstrålning och beräknad maximal globalstrålning 18–20.6.2012. Den beräknade maxstrålningen har värdet noll mellan solnedgång och soluppgång.



Figur 7 Uppmätt globalstrålning och beräknad maximal globalstrålning 1–3.12.2011.

Globalstrålningen vid olika solhöjd för hela dataserien visas i Figur 8. Av figuren framgår att datapunkterna till stor del ligger under eller kring kurvan för den beräknade maximala strålningen. En mängd punkter ligger en bit ovanför kurvan. Det torde röra sig om tillfällen då sensorn nås både av direkt solstrålning och av strålning från ett ljust moln. Detta fenomen, att globalstrålningen vid växlande molnighet momentant kan överträffa den vid helt klart väder, kan noteras även i Figur 4 och Figur 6, där strålningen vid växlande molnighet 20.6 tidvis är större än vid motsvarande tidpunkter under den klara dagen 18.6.



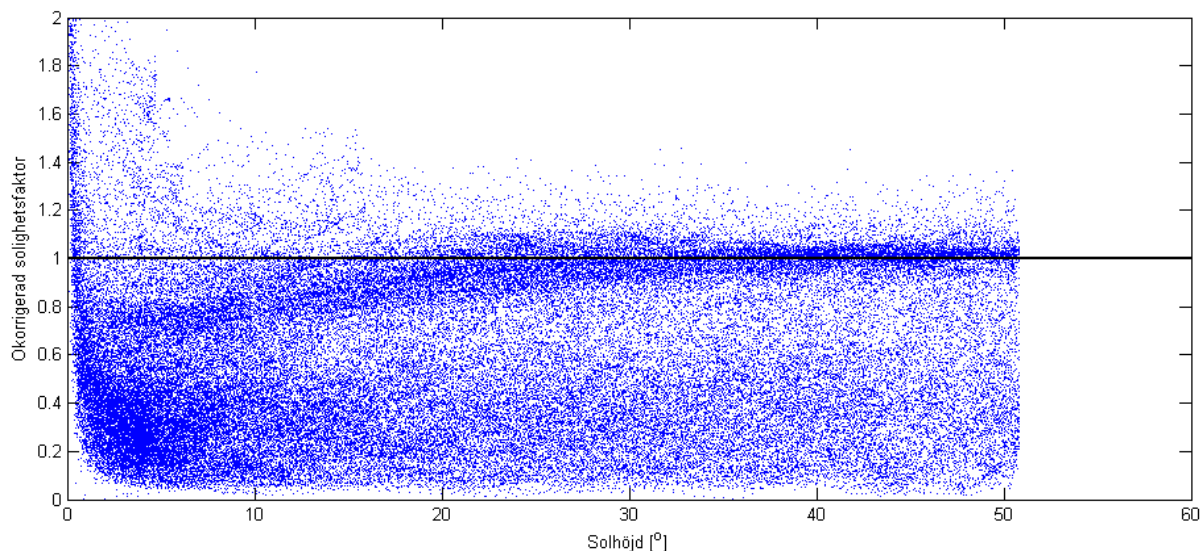
Figur 8 Globalstrålning ute mot sinus för solhöjden. Kurvan anger en maximistrålning, beräknad så att den är proportionell mot sinus för solhöjden med värdet 1000 W/m² för solen i zenit.

Man får ett mått på soligheten vid en given tidpunkt om man dividerar den uppmätta strålningen vid tidpunkten med den beräknade maximala strålningen för solhöjden vid tidpunkten, dvs. värdet enligt kurvan i Figur 8. En på detta sätt beräknad solighetsfaktor visas i Figur 9. En grupp punkter med solighetsfaktor kring värdet ett (linjen i figuren) kan som förväntat urskiljas. Vid lägre solhöjder sjunker dock solighetsfaktorn under ett för denna grupp. Vid riktigt låga solhöjder skjuter solighetsfaktorn i höjden. Detta beror på att den direkta strålningen går mot noll då solhöjden går mot noll, men det indirekta skymningsljuset finns kvar. Den grupp punkter med solhöjd under tio grader, som ligger klart över linjen i figuren är främst sådana där rimfrost på strålningsmätaren gett upphov till ett mätfel som gör att strålningen överskattas.

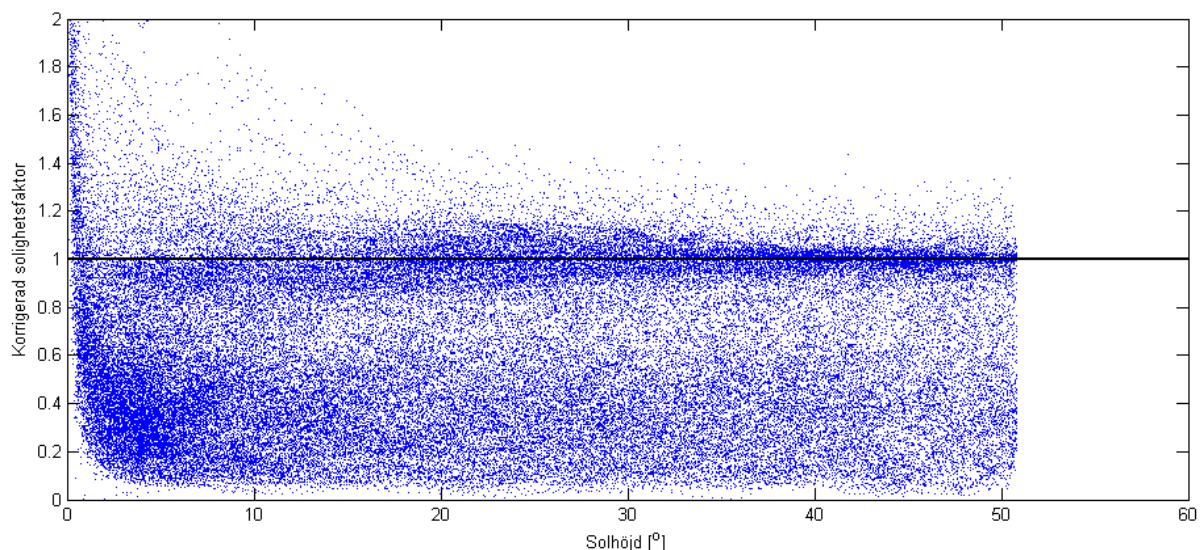
Av Figur 9 kan man konstatera att kurvan för full globalstrålning bör korrigeras för att ge god anpassning även för lägre solhöjder. Orsaken till detta är att strålningen vid låga solhöjder går en längre väg genom atmosfären och en större del då absorberas och sprids. En empiriskt någorlunda välfungerande modell fås genom att multiplicera den ovan använda kurvan för maximal strålning med faktorn

$$k(\alpha) = \max \begin{cases} 0,8 \\ 1,1 - \frac{0,07}{0,1 + \sin \alpha} \end{cases}$$

Figur 10 visar solighetsfaktorn beräknad på detta sätt. Av figuren framgår att vid solhöjder större än 10° finns en relativt klar skillnad mellan punkter med hög solighet (solighetsfaktor > 0,9) och punkter med låg solighet (solighetsfaktor < 0,6). Mellan dessa värden är det glesare med punkter. Vid låga solhöjder flyter grupperna ihop.



Figur 9 Solighetsfaktorn mot solhöjden. I denna figur används en enkel modell för full globalstrålning.



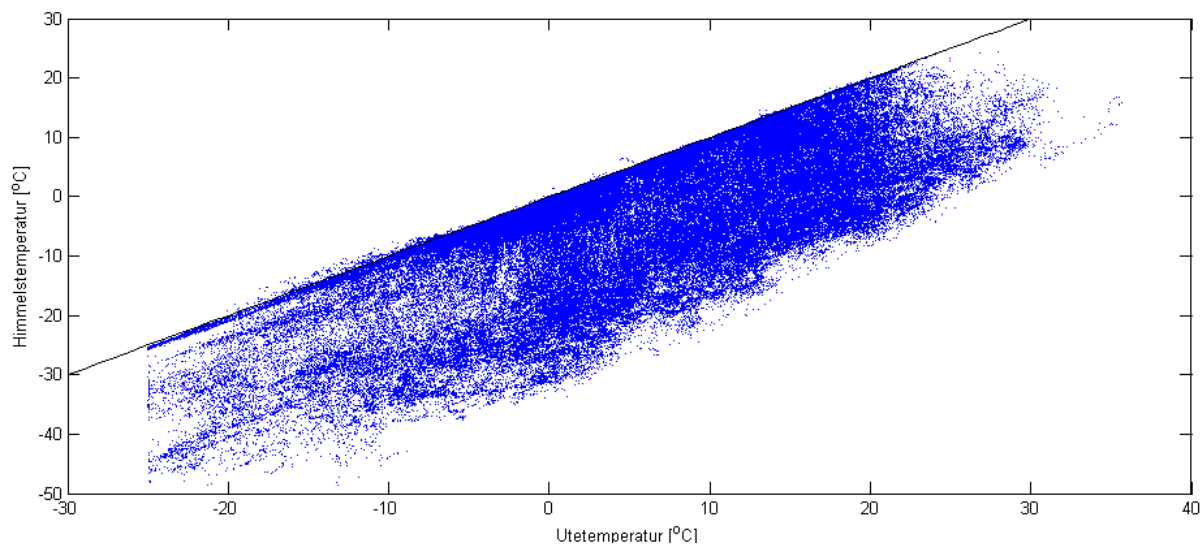
Figur 10 Solighetsfaktorn mot solhöjden. I denna figur används en modell för full globalstrålning med korrigeringsfaktor som ger bättre överensstämmelse vid låga solhöjder. Endast punkter där temperaturen ligger över -5 grader finns med i figuren.

5 Himmelsklarhet

Solighetsfaktorn, som den beräknats ovan, är ett mått på om solen är skyddad eller inte. Solen kan vara skyddad av ett enskilt moln även om himlen i övrigt är klar. Omvänt kan solen ibland glimta fram fast himlen till största delen är täckt av moln. Nedan redogörs för hur himmelsklarheten kan beräknas.

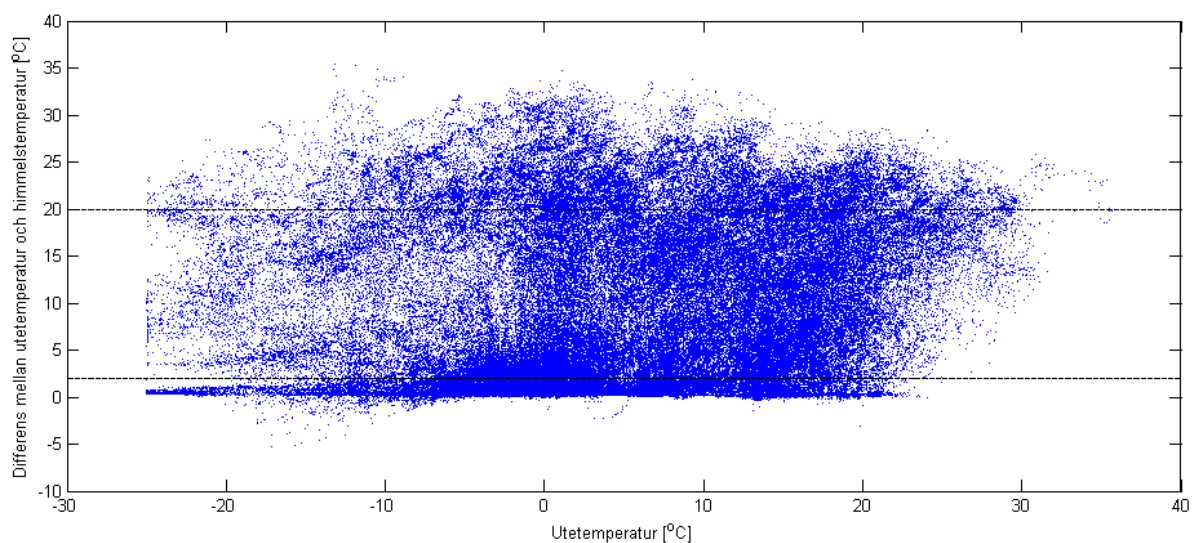
Pyrgeometern mäter nettostrålningsutbytet mellan pyrgeometern och himlavalvet inom värmestrålningsområdet. Positivt värde innebär att pyrgeometern mottar mer strålning från himlen än den utsänder. Vid klart väder sker strålningsutbytet mot atmosfär på högre höjd, där temperaturen är lägre än pyrgeometerns, som håller ungefär den omgivande luftens temperatur. Nettostrålningsutbytet (inkommande värmestrålning minus utgående värmestrålning) är då negativt. Vid mulet väder sker strålningsutbytet mot mer lågt liggande moln, vars temperatur är ungefär samma som pyrgeometerns.

Nettostrålningsutbytet är då nära noll. Utgående från strålningsutbytet kan en ekvivalent temperatur för himlavalvet, så som det "ses" av pyrgeometern, beräknas. Himlavalvet betraktas då som en svartkroppsstrålare med en över hela valvet konstant temperatur. Denna ekvivalenta himmelstemperatur varierar förutom med molnigheten även med utetemperaturen (årstiden), vilket ses i Figur 11.



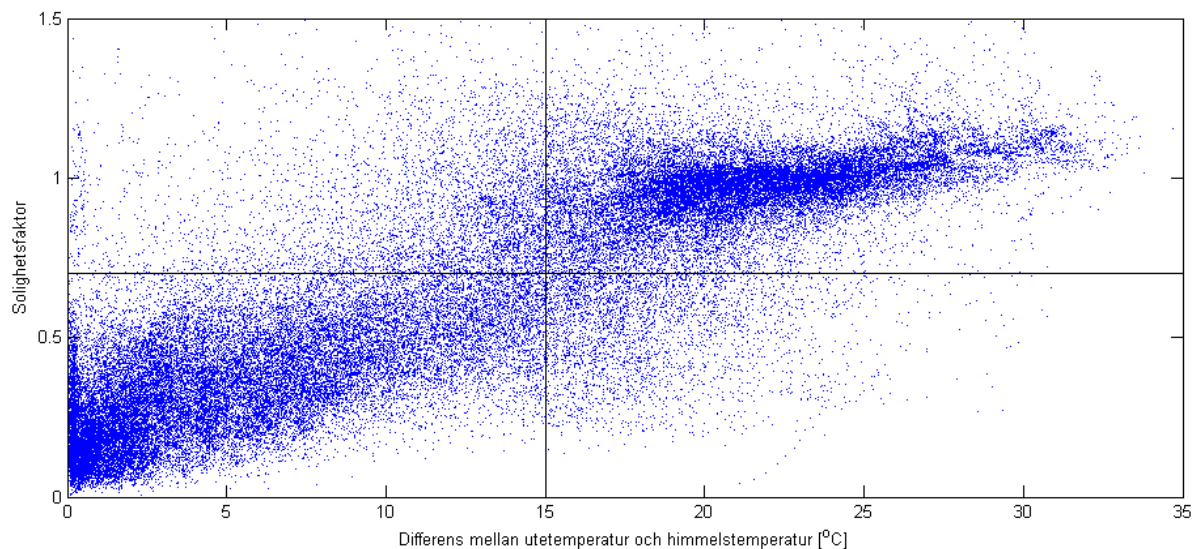
Figur 11 Himlavalvets ekvivalenta temperatur mot uteluftens temperatur. Den räta linjen är punkter där himmelstemperaturen är samma som utetemperaturen.

Figur 12 visar skillnaden i temperatur mellan uteluften och himlavalvet vid olika utetemperatur. Av figuren framgår att variationsområdet för differensen är ungefär konstant över året, dock lite högre vid utetemperaturer runt 0 °C, än vid låga och höga utetemperaturer. Höga värden på differensen (från cirka 20 °C uppåt) indikerar mycket klart väder, värden nära noll (< 2 °C) kraftigt mulet väder. En tydlig skiljelinje mellan klart och mulet går dock inte att utläsa ur figuren. Av figuren framgår att negativa värden är sällsynta och förekommer främst vid kallt väder. Det torde då vara frågan om s.k. temperaturinversion, där lufttemperaturen nära marknivå ligger under molnens temperatur högre upp i luften.



Figur 12 Differensen mellan utetemperatur och himlavalvets ekvivalenta temperatur mot utetemperaturen. Utetemperatursensorns mätområde startar vid -25 °C.

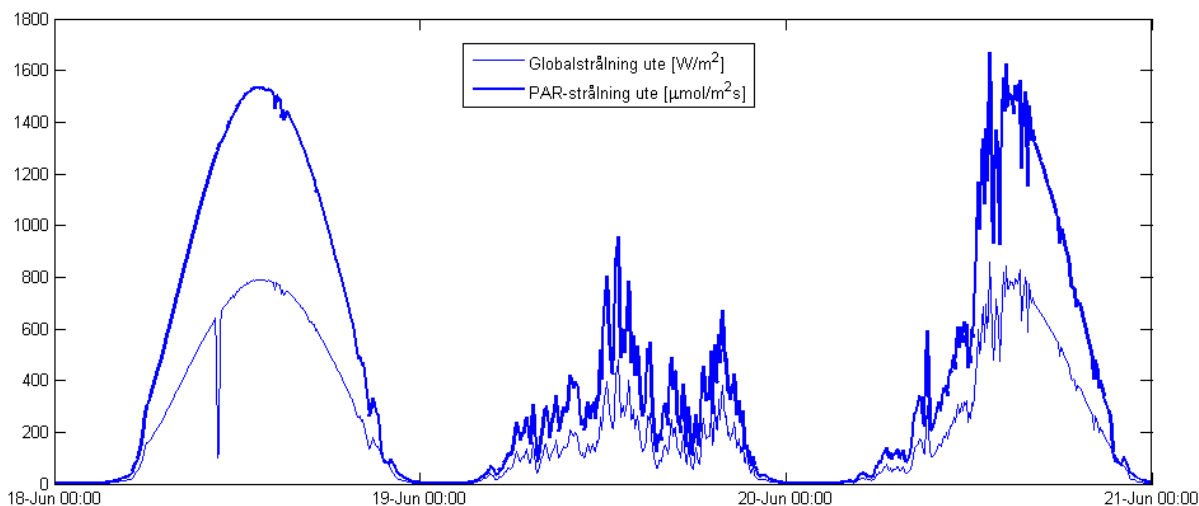
I Figur 13 jämförs solighetsfaktorn och himmelsklarheten. Figuren visar, som väntat, en klar korrelation mellan dessa båda faktorer. De flesta punkter faller antingen inom övre högra kvadranten (klar himmel, hög direkt solstrålning) eller inom den nedre vänstra kvadranten (mulen himmel, låg direkt solstrålning).



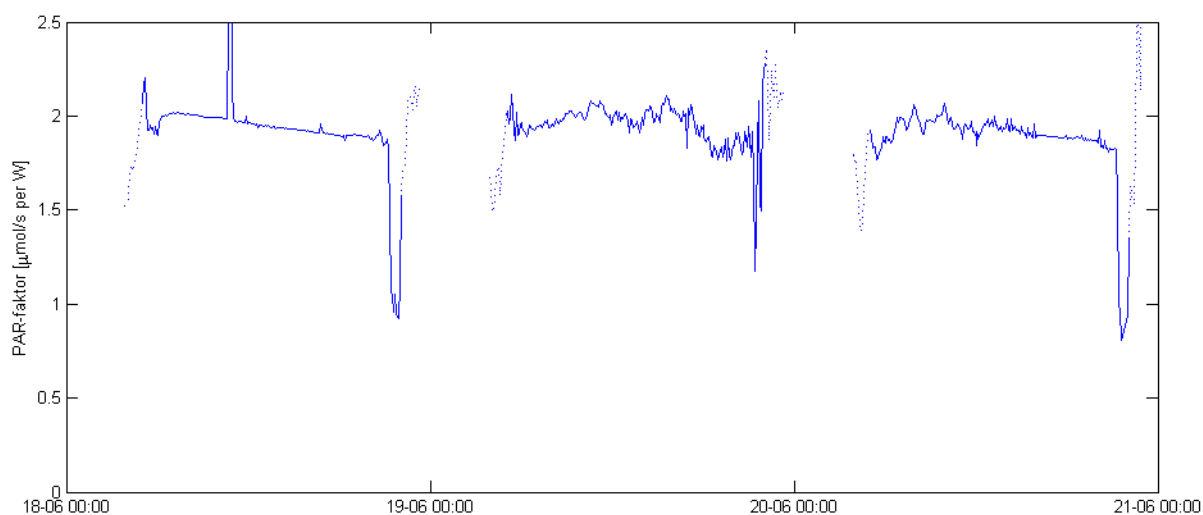
Figur 13 Solighetsfaktor mot differensen mellan utetemperatur och himmelstemperatur. Denna differens utgör ett mått på himlens klarhet. Endast punkter där solhöjden överstiger 5° och utemperaturen -5° ingår. Punkter där utepyranometern är skuggad är bortfiltrerade.

6 Sambandet mellan PAR-strålning och globalstrålning

PAR-strålning mäts vanligen i $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Sambandet mellan PAR-strålningens enhet $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ och globalstrålningens enhet W/m^2 beror av våglängden på strålningen. Utan kännedom om spektrum kan man alltså inte omvandla ett strålningsvärde från ena enheten till den andra. Inga spektrala data finns tillgängliga i mätdata. Däremot kan man empiriskt undersöka hur PAR-strålningen förhåller sig till globalstrålningen vid de olika tidpunkter som mätdata representerar. I Figur 14 visas PAR-strålning ute mot globalstrålning ute för perioden 18–20.6.2012. Kvoten mellan PAR-strålning och globalstrålning, i fortsättningen benämnd PAR-faktor, för dessa dygn visas i Figur 15.



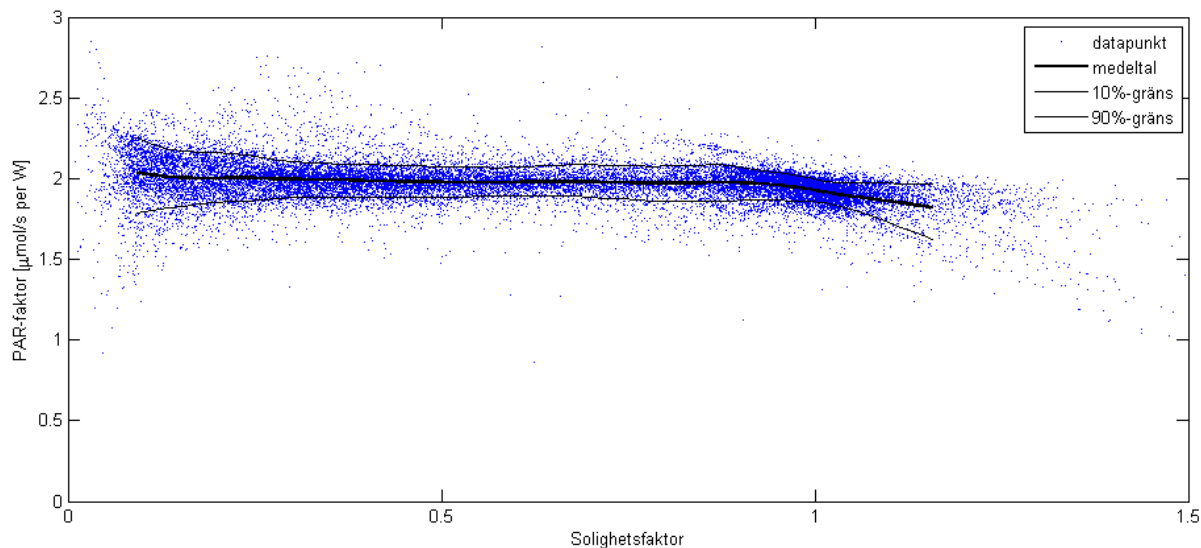
Figur 14 Globalstrålning ute och PAR-strålning ute 18–20.6.2012.



Figur 15 Kvoten mellan PAR-strålning ute och globalstrålning ute 18–20.6.2012. Värderna från soluppgång till solnedgång finns med i figuren. Punktlinje anger att solhöjden understiger fem grader. Mellan solnedgång och soluppgång är mätosäkerheten så stor att det inte är meningsfullt att beräkna PAR-faktorn.

Av Figur 15 framgår att PAR-faktorns värde under dygnets ljusa timmar är relativt konstant och ligger kring $2,0 \mu\text{mol/Ws}$. Toppen på förmiddagen 18.6 beror på att globalstrålningssensorn momentant skuggas och är alltså ett mätfel. Likaså är dalen på kvällen ett mätfel som uppkommer p.g.a. att PAR-sensorn skuggas.

Ett diagram över PAR-faktorn vid olika solighet visas i Figur 16. Enligt figuren är PAR-faktorn lite högre för diffus strålning än för direkt strålning. Det innebär att per W innehåller diffus strålning lite fler fotoner än direkt strålning.

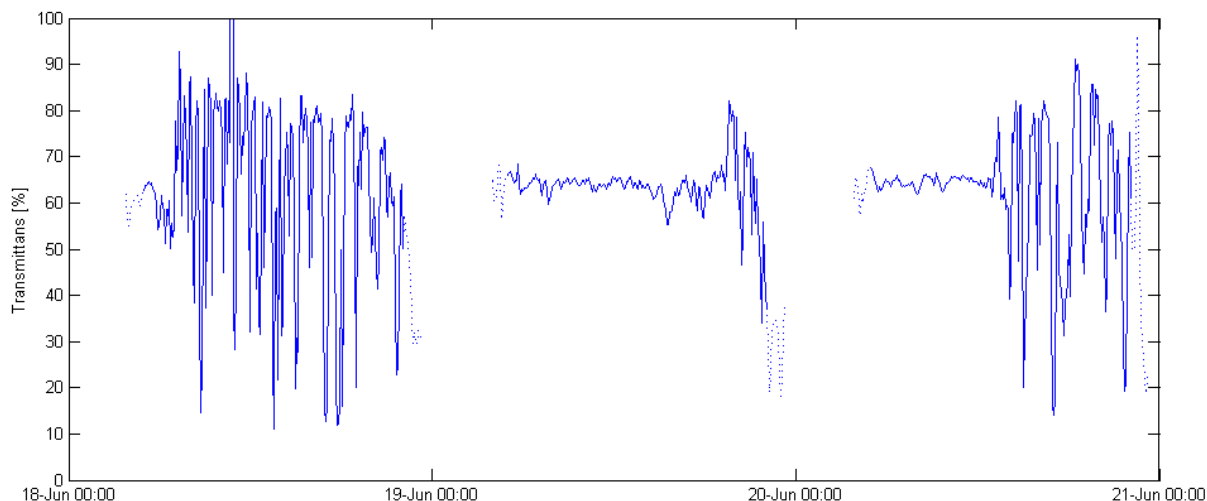


Figur 16 PAR-faktor mot globalstrålning ute. Datapunkter med solhöjd under 5 grader är utelämnade. Punkter där någon av sensorerna är skuggad är bortfiltrerade.

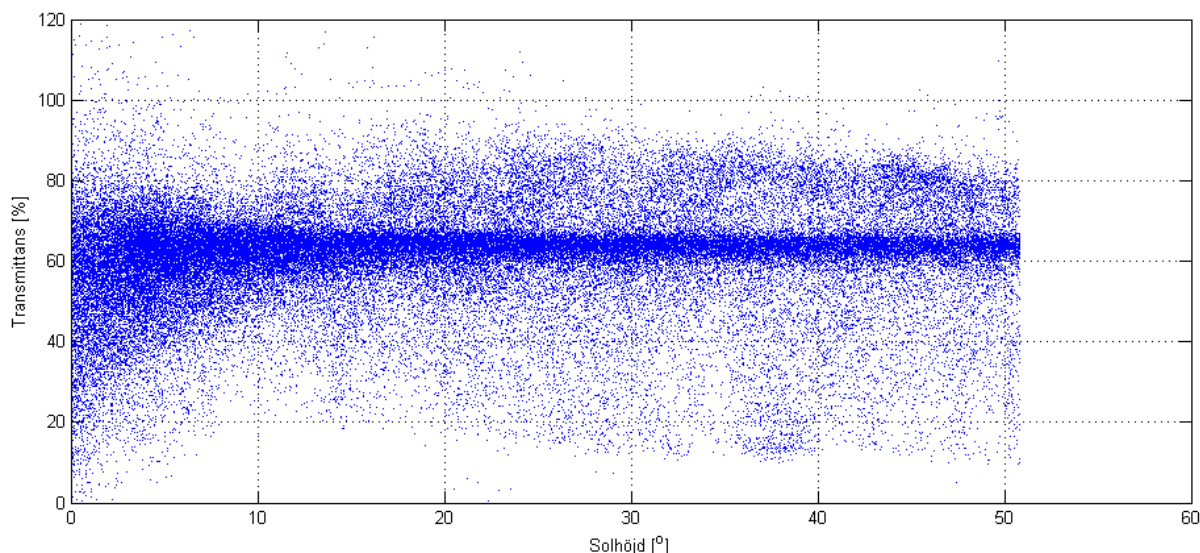
7 Transmittans

Eftersom höljet absorberar och reflekterar en del av strålningen är strålningen inne i växthuset lägre än strålningen utanför växthuset, vilket sågs i Figur 4. Transmittansen definieras som den andel av strålningen som passerar genom ett material. I de flesta fall är materialet homogent och transmittansen väldefinierad. Växthusets hölje består däremot av både homogena glasytor och mellanliggande infästningsstrukturer. Dessutom finns också innanför höljet balkar och stag. Detta innebär att transmittansen vid en given tidpunkt kommer att vara olika beroende på i vilken punkt man mäter den. Det relevanta måttet är den genomsnittliga transmittansen för hela växthusarealen uppmätt vid växthöjd. För att mäta den borde man ha många sensorer på olika ställen. I data som används här finns endast en innesensor. Medeltalet som används måste då vara över tiden i stället för över rummet. Eftersom de skuggande elementen i strukturen är rätt jämnt fördelade torde resultatet bli ungefär detsamma.

Figur 17 visar transmittansen under de tre dygnet som visas i Figur 4. Av figuren framgår att den uppmätta transmittansen under mulna perioder (huvudparten av 19.6 och förmiddagen 20.6) ligger ganska stabilt kring 65 % medan den under soliga perioder (resten av tiden) varierar kraftigt mellan värden kring 80–90 % och 10–20 % eftersom sensorn tidvis skuggas av strukturerna i växthuset.



Figur 17 Transmittansen under period 18–20.6.2012. Värden från soluppgång till solnedgång finns med i figuren. Punktlinje anger att solhöjden understiger fem grader. Mellan solnedgång och soluppgång är mätosäkerheten så stor att det inte är meningsfullt att beräkna transmittansen.

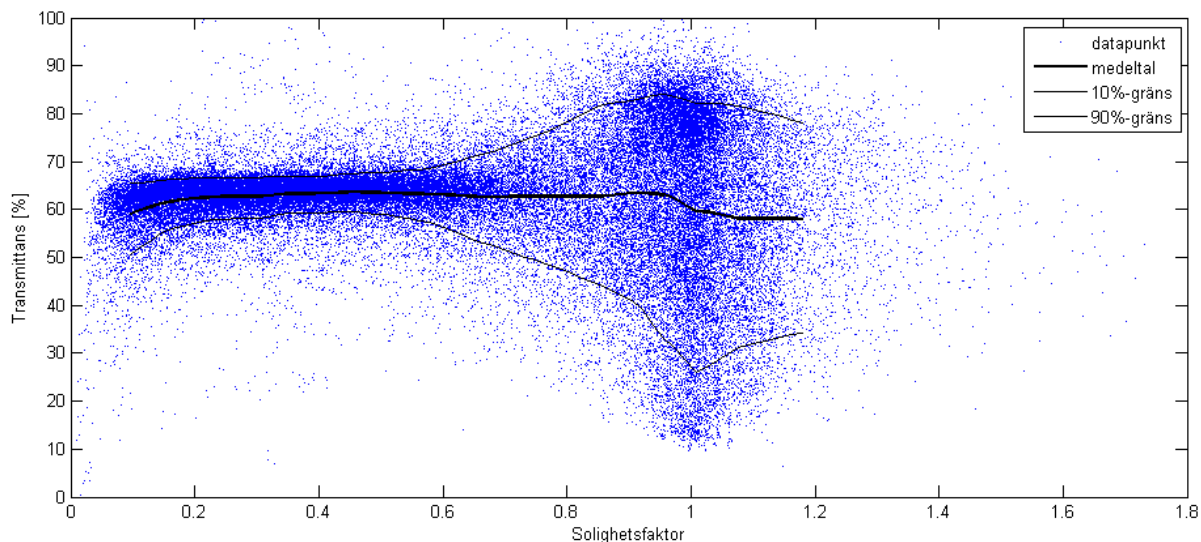


Figur 18 Globalstrålningstransmittans vid olika solhöjd ute. Endast punkter med temperatur över -5 grader ingår. Datapunkter där utesensorn är skyddad är bortfiltrerade.

Figur 18 visar uppmätt transmittans, dvs. kvoten av strålning ute och inne, vid olika solhöjd. Klustringen kring 65 % transmittans (mulna tidpunkter) syns här tydligt. Punkter som ligger över 100 % borde egentligen inte förekomma eftersom höljet inte kan tillföra strålning, bara reducera den. För de få punkter som ligger över 100 % kan det kanske handla om att reflektioner från strukturerna ger tillfälliga strålningstillskott på innesensorn. Bortsett från dessa ströpunkter är de högsta värdena 80–90 %. Det är tidpunkter då innepyranometern träffas av direkt strålning. Övriga punkter representerar tidpunkter då innepyranometern är helt eller delvis skuggad av strukturer.

Figur 19 visar transmittans mot solighetsfaktor. Man kan av figuren dra slutsatsen att glasets genomsnittliga transmittans för direkt strålning är ca 80 %. En stor mängd punkter med solighet kring 1,0 ligger kring denna nivå. Vid hög solighet hittar man också som förväntat de lägsta uppmätta transmittanserna, värdena ner mot 0,1. Det handlar då om de tidpunkter när innesensorn är helt skuggad av strukturerna. Att den uppmätta transmittansen även vid de tidpunkter när den direkta strålningen är helt skuggad ligger på minst 10 % tyder på att den direkta komponenten hos strålningen är högst 90 %.

Figur 18 visar att andelen sjunker med solhöjden och är 75–80 % vid 10 grader solhöjd. Reflektioner från strukturerna och spridning från glaset kan ge strålningstillskott som snedvrider resultatet och värdena för den direkta andelen utanför höljet är därför osäkra. En analys av hur djup skuggningen på utestrålningssensorn är då solen ligger bakom vindmätarstången ger dock likartade resultat.



Figur 19 Globalstrålningstransmittans vid olika solighet. Endast punkter med solhöjd över 5 grader ingår. Datapunkter där utesensorn är skyddad är bortfiltrerade.

Upp till solighetsfaktorn 0,6 verkar det inte förekomma skuggning från strukturerna. Det kan tolkas så att det handlar om helt mulet väder utan direkt strålningskomponent. Man kan därför betrakta en solighetsfaktor under 0,6 som indikation på mulet väder.

För solighetsvärden mellan 0,6 och 0,9 får skuggningen en allt starkare inverkan. Dessa punkter kan tolkas på två olika sätt. Det kan handla om tunn molnslöja eller lätt dis, där det finns en viss direkt komponent i strålningen, men också en stor diffus komponent. Endast den direkta komponenten ger upphov till tydliga skuggor och ju större den är, d.v.s. ju tunnare diset är, desto kraftigare blir skuggeffekterna. En annan tolkning är att det handlar om femminutersperioder där en del av perioden består av klar sol och en del där solen ligger bakom ett moln. Ju större del av perioden som består av klar sol, desto kraftigare inverkan har skuggningen.

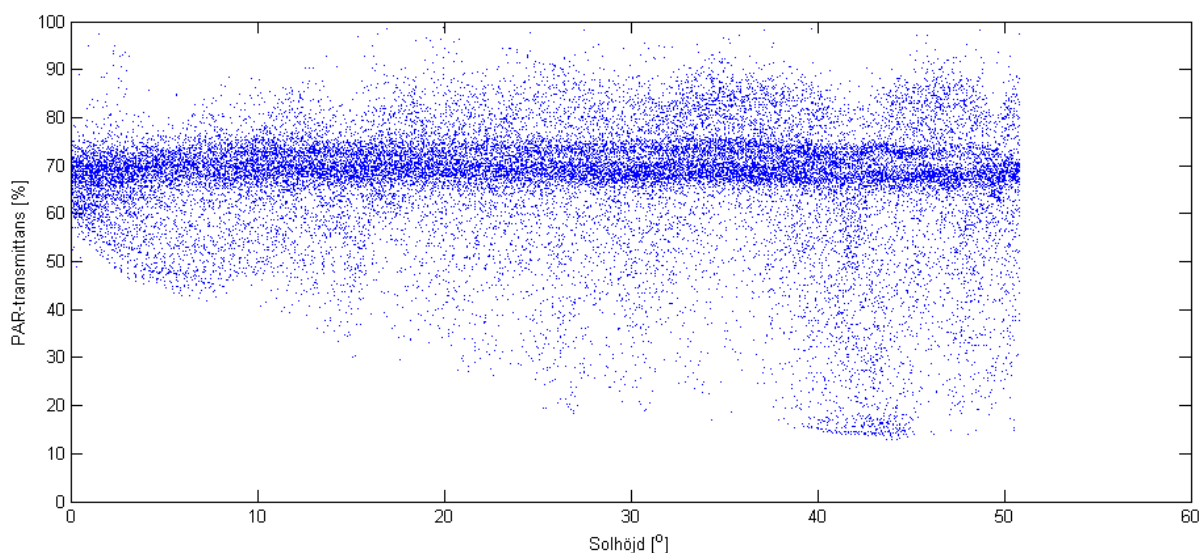
Det som är väsentligt för växtligheten är den genomsnittliga transmittansen över rummet eller tiden. Om man räknar transmittansen utgående från den totala strålningssumman inne och ute blir värdet 62 %. Värdet innefattar alltså inverkan från både glas och struktur. Enligt Figur 19 ligger medeltalet för både soliga tidpunkter (solighetsfaktor > 0,9) och mulna tidpunkter (solighetsfaktor < 0,6) nära detta värde. Ett mer noggrant medeltal, beräknat för solhöjder över 15°, är 61 % för soliga tidpunkter och 63 % för mulna tidpunkter. Det finns alltså en viss, om än liten, skillnad mellan soliga och mulna tidpunkter som förmodligen är en skillnad mellan direkt strålning och diffus strålning. Man kan förvänta sig en högre transmittans för diffus strålning än för direkt strålning eftersom strålning som kommer från hela himlavalvet i medeltal har en gynnsammare infallsvinkel mot glaset. Den direkta strålningen kommer i Finland under stor del av tiden från en rätt låg solhöjd, varvid infallsvinkeln mot höljet blir stor vilket innebär att reflektionen ökar. Den diffusa strålningen, å andra sidan, kommer i högre grad uppifrån, snarare än från sidan. Det ger måttliga infallsvinklar och delvis infaller strålningen optimalt, d.v.s. vinkelrätt mot ytan, vilket aldrig är fallet med direkt strålning för den taklutning och orientering som det undersökta växthuset har.

Analysen ovan har gjorts för globalstrålning, vilken innefattar UV-, synlig och NIR-strålning. Glasets transmittans kan vara olika i olika våglängdsområden och de värden som är mest intressanta ur fotosyntessynpunkt är de som gäller för PAR-strålning. Figur 20 och Figur 21 visar i övrigt samma information som Figur 18 och Figur 19, men med transmittansen beräknad för från PAR-strålningen, dvs. med användande av data från PAR-sensorerna i stället för globalstrålningssensorerna. Data omfattar då en kortare period, endast sommarhalvåret, och är därför inte nödvändigtvis jämförbara med data i Figur 18 och Figur 19.

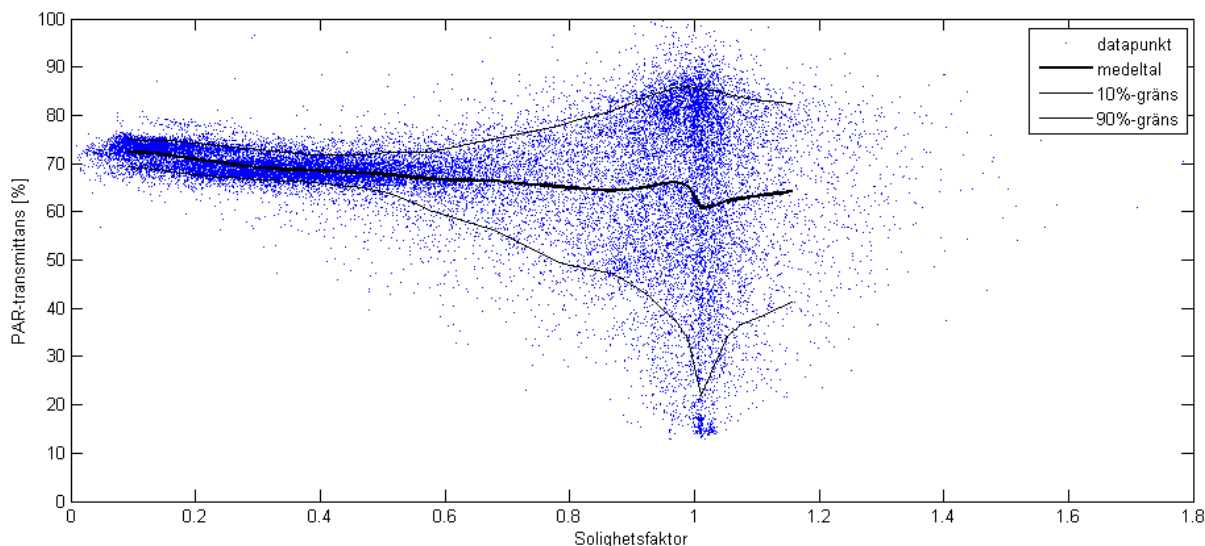
PAR-strålningens transmittans är enligt figurerna högre än transmittansen för globalstrålning. Vid solhöjder över 15° är medeltalet 70 % för mulna tidpunkter och 63 % för soliga. Motsvarande värden för globalstrålning var 63 % respektive 61 %. För mulna tidpunkter är värdet för PAR-transmittans alltså 7 procentenheter högre än värdet för globalstrålningstransmittans, medan skillnaden för soliga tidpunkter är betydligt mindre. Som redan påpekats är data inte direkt jämförbara men skillnaden kvarstår även när man beräknar globalstrålningstransmittansen och PAR-transmittansen för samma tidsperiod.

Att det finns en skillnad mellan PAR-transmittans och globalstrålningstransmittans är i sig inte förvånande. Orsaken kan t.ex. vara att glaset absorberar UV- och NIR-strålning i högre grad än strålning i det mellanliggande PAR-området. Mer förvånande är då att skillnaden är så mycket större för diffus strålning än för direkt.

I Figur 20 kan urskiljas två stråk av punkter, ena vid knappt 70 % transmittans, det andra vid några procentenheter högre transmittans. Även i Figur 21 kan urskiljas två punktmängder vid motsvarande transmittansnivåer. Den exakta orsaken till denna tudelning är inte klarlagd, men om det är fråga om samma grupper i de båda figurerna verkar gruppen med högre transmittans vara förbunden med lägre himmelsklarhet, dvs. tjockare molntäcke, och kan eventuellt bero av molntyp.



Figur 20 PAR-transmittans vid olika solhöjd 30.3–23.8.2012. Datapunkter där utesensorn är skyddad är bortfiltrerade.



Figur 21 PAR-transmittans vid olika solighet. Endast punkter med solhöjd över 5 grader ingår. Datapunkter där utesensorn är skymd är bortfiltrerade.

8 Vidare undersökning

I Figur 15 verkar det som att det finns en gradvis minskning av PAR-faktorn under dagens lopp. Man kunde undersöka om detta är ett återkommande fenomen för alla soliga dagar och utreda orsaken. En tänkbar orsak är ökande luftfuktighet.

Det finns ett tvärt kast vid solighetsfaktorn 1,0 hos medeltalskurvan i Figur 21 och ett motsvarande mindre tvärt kast i Figur 19. Orsaken kunde undersökas. Det är tänkbart att det handlar om skillnader i spektrum mellan förmiddag och eftermiddag eller mellan perioder med snötäckt mark och bar mark. Alternativt kan det finnas mättekniska orsaker, t.ex. reflektion från stängen som håller vindsensorn (Figur 1), eller brister i synkroniseringen mellan uppmätt tid och soltid.

Man kan förvänta sig att närvaron av kondens på växthusglaset påverkar transmittansen. Data för dagpunkt hos växthusluften och glasets temperatur finns tillgängliga i mätdata och skulle möjliggöra en separering av tidpunkter med kondens respektive utan kondens för analys av kondensens inverkan.

För att förklara skillnaden i transmittans hos PAR-strålning och globalstrålning och varför denna skillnad är mer markant för direkt strålning än för diffus borde spektrum hos diffus strålning och direkt strålning före och efter transmission genom höljet undersökas.

Genom att automatiskt ta bilder av himlen med regelbundna mellanrum och lagra bland mätdata skulle man få möjlighet att med större säkerhet analysera solighet och himmelsklarhet. Med sådana bilder kunde man också analysera i vilken mån den diffusa strålningen är homogen över himlavalvet.

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 Vasa, 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 Vasa
Växel tfn (06) 328 5000
Fax (06) 328 5110
www.novia.fi

ANSÖKNINGSBYRÅN

Wolffskavägen 33, 65200 Vasa
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