

Faglig slutrapport for projektet:

Detektering af planters kunstlysudnyttelse



Niels Erik Andersson
Aarhus Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet,
Institut for Havebrugsproduktion

2008

Faglig slutrapport for projektet

Detektering af planters kunstlysudnyttelse

(Projektidentifikation: 336-084, 464-03, 615-0008)

Niels Erik Andersson
Aarhus Universitet, Institut f. Havebrugsproduktion

Indledning

Brugen af kunstlys i potteplanteproduktion skyldes, at potteplanter er højt værdiafgrøder, hvor kvalitet er et nøgleelement. Kunstlys er af afgørende betydning for planters vækst og udvikling i vintermånederne.

Elforbruget til kunstlys er kraftigt stigende og gartnerierne har en interesse i at sænke energiforbruget for at forbedre rentabilitet af produktionen. Hvis elforbruget til kunstlys kan reduceres i potteplanteproduktion gennem metodisk afgrænsning af brugen, vil det både forøge rentabiliteten i virksomheden og sænke CO₂ emissionen.

Projektet tager udgangspunkt i overgangsperioderne mellem vinter og forår og efterår og vinter. Det er i overgangsperioderne, gartneren skal træffe afgørelse om anvendelse af kunstlys. Det gøres i dag ud fra erfaring og beslutningen bliver ofte tilfældig, fordi den ikke er baseret på en egentlig analyse hverken af naturlige lysforhold eller plantens behov for kunstlys og udnyttelse. Projektet giver et forslag til en beslutning, som ikke længere baseres på et skøn, men på en egentlig analyse. Langt de fleste plantearter tilpasser sig de lysforhold, de lever under. I overgangsperioderne sker der store ændringer i det naturlige lys og planterne tilpasser sig de nye lysforhold. Kunstlys udnyttes bedst muligt, når planterne er tilpasset til lav indstråling. Hvis kunstlyset bruges, når planterne ikke er tilpasset, er virkningen på planternes vækst stærkt begrænset. Da de naturlige lysforhold varierer fra år til år, er det ikke muligt at fastsætte en bestemt dato for start og stop af kunstlysanvendelse. Projektet har til formål at reducere elforbruget til kunstlys i gartnerier ved at begrænse brugen af kunstlys til de perioder, hvor udnyttelsesgraden af kunstlys er stor.

Plantedyrkning

Planter er rodfæstede og kan ikke bevæge sig rundt og er derfor plastiske, så de kan tilpasse sig ændrede levevilkår. Der er dog grænser for, hvor stor tilpasningsevnen er og den er afhængig af plantearten. Vegetation er foranderlig og urteagtige planter vil blive overgroet af træagtige planter (træer og buske). Overgroningen betyder øget konkurrence om vand, næringsstoffer og lys, hvor især lys til sidst bliver den helt afgørende faktor. Forholdet kan iagttages ved at se på skovrejsning. I begyndelsen kan de urteagtige planter virke væksthæmmende på træerne, men efterhånden som træerne gror til, skifter vegetationen karakter. Ved større og større overskygning vil kun plantearter, der kan leve ved dårlige lysforhold i skovbunden, overleve.

Ved væksthusproduktion nedsættes konkurrencen mellem planterne, blandt andet gennem vanding og gødskning, dels ved at planternes indbyrdes afstand reguleres. Her gennem produktionen flyttes planterne fra hinanden, for at de ikke skal overskygge hinanden.

Den afgørende forskel ved produktion i væksthus er muligheden for at give planterne kunstlys.

Sammenlignet med naturligt lys, f.eks. om sommeren, er det niveau, som bruges i væksthus meget

lavt. Midt på dagen om sommeren vil indstråling i plantehøjde i et uskygget væksthuse være på ca. $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mens et kunstlysanlæg typisk vil ligge på $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Lyskompensationspunkt

Lyskompensationspunktet er defineret som det punkt, hvor fotosyntesen målt, som CO_2 optagelse, modsvarer CO_2 afgivelsen ved respiration. Lyskompensationspunktet (LCP) bestemmes som skæring af fotosyntesekurven med X-aksen, når lysintensiteten plottes mod CO_2 optagelsen. LCP kan defineres som det punkt, hvor respiration og fotosyntese er lige store. Størrelsen af LCP bestemmes af to faktorer, dels mørkerespirationen, dels hvor effektiv lysudnyttelsen er.

Fra forsøg med holdbarhed af pottedplanter er det fundet, at tilpasning til dårlige lysforhold sker ved, at lyskompensationspunktet sænkes og mørkerespirationen falder. I holdbarhedsforsøg sker skiftet fra væksthuse til holdbarhedsrum momentant, ved dyrkning i væksthuset er der ikke et skarpt skift i lysintensiteten.

Tilpasning til lavere eller højere indstråling sker helt naturligt, men mekanismen, som starter processen, og hvor lang tid tilpasningen tager, kendes ikke under væksthuseforhold.

Lystilpasning er en kompleks proces, hvor der sker en ændring i kloroplasternes (grønkorn) struktur og forholdet mellem klorofyl a og b ændres. Klorofyl a fanger fotoner og klorofyl b omsætter fotonenergien. Ved lav indstråling øges mængden af klorofyl, fordi det er nødvendigt at opfange så mange fotoner som muligt. Det modsatte gør sig gældende ved høj indstråling, hvor mængden af klorofyl b skal være størst for at kunne omsætte alle fotoner.

I litteraturen er ændringen i LCP beskrevet, hvor der går fra høj indstråling til lav indstråling, fordi lystilpasning har betydning for pottedplanters holdbarhed. Det er meget store lysændringer, som planterne momentant udsættes for, de procentvise ændringer ligger mellem 66 og 96 % og niveaumæssigt er der spring fra 564 til $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ og fra 45 til $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ændring i LCP udtrykt i procent er mellem 25 og 85, men længden af perioden hvor planterne har mulighed for akklimatisering, er forskellig og varierer fra 3 til 15 uger (Mortensen & Olsen, 1987).

I de tilfælde, hvor den samme planteart momentant flyttes fra forskellige, men høje indstrålinger til én lav indstråling, får de planter, som er dyrket under den laveste indstråling, det laveste LCP.

Under væksthuseforhold sker ændringer i naturligt lys langsomt og samtidig med ændringer i daglængde. I danske gartnerier installeres kunstlysanlæg med en elektrisk effekt på et sted mellem 40 til 50 Wm^{-2} og det svarer til et sted mellem 60 til $75 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Alle de historiske data, som er fundet i litteraturen, viser, at LCP efter akklimatisering ligger lavere end den forventede indstråling af kunstlys. Mere end halvdelen af planterne havde et LCP før akklimatisering, som var lavere end den indstråling de ville få fra et gennemsnitligt kunstlysanlæg. Som gennemsnit var LCP ca. 35% af kunstlysanlæggets indstråling og det højeste LCP var på 66% og det laveste var på 8%. To ting, som er vigtige i forbindelse med vurdering af LCP, er plantens evne til at udnytte lavere lysintensiteter bedre og det forhold, om tilpasningen gælder for alle blade på planten eller kun de øverste blade, som der måles på ved bestemmelse af lyskompensationspunktet.

Måling af CO_2 optagelse

Det kræver specialudstyr at måle ændring i lyskompensationspunktet, og for gartneren betyder det, at han ikke umiddelbart har adgang til informationer om planternes udnyttelse af lav lysintensitet. Måling af planternes CO_2 optagelse måles på et enkelt blad i en lille kuvette, hvor der sendes en luftstrøm igennem med en kendt koncentration af CO_2 . Ændring i CO_2 koncentrationen over

kuvetten er et udtryk for fotosyntesen i relation til de temperatur- og lysforhold, som bladet udsættes for.

CO₂ doseres til væksthuset som en form for gødning, idet CO₂ forbruges i fotosyntesen. Planterne kan udnytte højere koncentrationer af CO₂ end den naturligt forekommende (ca. 350 ppm). Der bruges CO₂ på ca. 600 ppm til potteplanter og 1000-1200 ppm til væksthushgrønsager (tomat og agurk). CO₂ doseres kun, når luftvinduerne er lukkede, fordi det naturlige luftskifte bliver meget stort ved ventilation og det er ikke realistisk at opretholde en højere CO₂ koncentration end den naturligt forekommende.

Planters CO₂ forbrug og tab fra væksthush

Den mængde CO₂, som planterne optager over tid, kan beregnes ud fra ændring i CO₂ koncentrationen over tid, under hensyntagen til naturligt luftskifte og tilført CO₂ mængde (Gustafsson & Weich, 1991):

$$U = m_{CO_2} - q \times \rho_{CO_2} \times (\bar{C}_i - C_o) - V \times \rho_{CO_2} \times (C_{i(t_1)} - C_{i(t_0)})$$

Hvor U er den optagne mængde CO₂ i μgh^{-1} , m_{CO_2} er den kunstigt tilførte mængde CO₂ til væksthushet gh^{-1} , q er det naturlige luftskifte i måleperioden i m^3h^{-1} , ρ_{CO_2} er densiteten af CO₂ i kgm^{-3} (1.98 kg m^{-3} v. 25°C), V er væksthushets brutto luftvolumen¹ i m^3 , C_i er den gennemsnitlige CO₂ koncentration i måleperioden i væksthushet i ppm, C_o er CO₂ koncentration udendørs i ppm i måleperioden (antages at være konstant, hvis måleperioden er kort), $C_{i(t_0)}$ og $C_{i(t_1)}$ er CO₂ koncentrationen i ppm i væksthushet ved henholdsvis start og afslutning af måleperioden.

Michaelis-Menten proces

Hvis det antages, at koncentrationsændringen pga. planternes CO₂ optagelse, kun i marginal grad påvirker koncentrationsforskellen mellem inde og ude, kan den mængde CO₂, som planterne optager, beregnes som en Michaelis-Menten proces.

Ændring i CO₂ koncentration over tid kan beregnes ud fra (Linker & Seginer, 2000):

$$-\frac{dX_i}{dt} = \frac{X_i}{X_i + K} + h(X_i - X_o)$$

hvor det første led på højre side af lighedstegnet er planternes CO₂ optagelse (Michaelis-Menten) og det andet led er CO₂ tab ved naturligt luftskifte. X_i og X_o er CO₂ koncentration henholdsvis i væksthushet og udendørs i ppm, K er Michaelis-Menten konstanten og h er det naturlige luftskifte m^3h^{-1} .

Naturligt luftskifte i væksthush

Det naturlige luftskifte i et væksthush bestemmes af væksthushets tæthedsgrad. Det naturlige luftskifte betegnes også som det ukontrollerede luftskifte, fordi luftskiftet ikke er bestemt af åbningsgraden af luftvinduerne.

¹ Rumfang af væksthush inventar og planter antages at være marginale og fratrækkes ikke væksthushets luftvolumen.

Metode til bestemmelse af luftskifte

Det naturlige luftskifte kan bestemmes ved ændring over tid i koncentration af en gasart, som doseres i væksthuset til en given koncentration. Normalt bruges en nitrøs gas (f.eks. N₂O), fordi det ikke tilføres ad naturlig vej fra planter og jord.

Beregning af luftskifte

Det naturlige luftskifte kan udtrykkes ved (Fernandez & Bailey, 1992, Papadakis *et al.* 1996):

$$\phi_v = -\frac{Vdc}{dt}$$

Hvor ϕ_v er luftskiftet i m³ s⁻¹, V er væksthusets volumen, c er koncentrationen af gasarten i ppm og t er tiden i sekunder.

Omskrivning af [1] i relation til dc giver:

$$\log_e\left(\frac{c}{c_0}\right) = -\frac{\phi_v}{V}t$$

ϕ_v kan beregnes ud fra hældningskoefficienten ved at plotte $\log_e(c/c_0)$ mod t (fig. A)..

Alternativt kan halveringstiden for koncentration af sporgassen anvendes til bestemmelse af luftskiftet (Benn, 1986). Koncentration til tiden t₁ i forhold til startkoncentrationen ved t₀ kan udtrykkes ved:

$$C_{t1} = C_{t0} \cdot e^{-\alpha \cdot t_{1/2}}$$

Hvor C₀ og C_{t1} er hhv. startkoncentrationen og koncentrationen til tiden t₁, α er luftskiftet i h⁻¹, og t_{1/2} er halveringstiden for luftens indhold af sporgassen. Det forudsættes derfor, at:

$$\frac{C_{t1}}{C_{t0}} = \frac{1}{2}$$

Ved substitution fås:

$$\frac{1}{2} = e^{-\alpha \cdot t_{1/2}}$$

Ved at uddrage den naturlige logaritme på begge sider fås:

$$\ln(1) - \ln(2) = -\alpha \cdot t_{1/2}$$

Da ln(1) er 0 fås:

$$\alpha = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}}$$

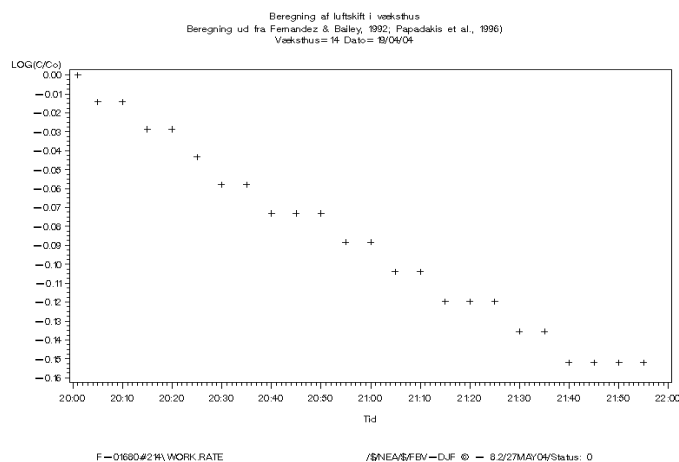
Matthews et al. (1987) angiver luftskiftet (N) ved:

$$N = \frac{-1}{t_1 - t_0} \cdot \ln \frac{\phi_{t_1} - \phi_0}{\phi_{t_0} - \phi_0}$$

Hvor t_0 og t_1 er henholdsvis start- og sluttiden for målingen og ϕ_{t_0} og ϕ_{t_1} er koncentration ved henholdsvis start- og sluttidspunktet for målingen og ϕ_0 er apparaturets nulpunktsstøj.

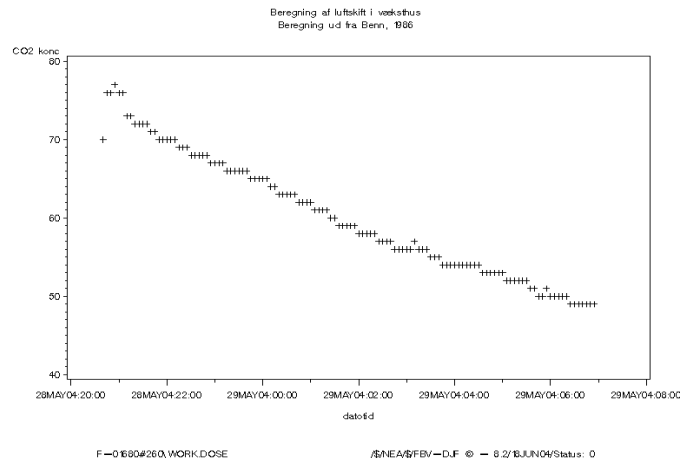
Målinger

Målingerne blev udført i et glasvæksthus med et grundareal på 160 m² og med en volumen på 666.6 m³. Som sporgas blev brugt CO₂ og der var ingen planter i væksthuset. CO₂ doseringen startede kl. 18:00 og sluttede ved solnedgang. Den ønskede koncentration var 1000 ppm. Målingerne blev gennemført i perioden fra 14. april til 30. april 2004. Dataopsamling skete via klimacomputerens hovedstation og målingen af CO₂ skete med en Siemens CO₂ analysator TN59129. Data blev opsamlet hvert 5. minut. Isoleringsgardinerne (LS16) var lukket under målingen.



Figur A. Plot af $\log_e(c/c_0)$ mod tiden.

Der blev udført en måleserie, hvor data blev brugt i beregning ud fra halveringstiden af CO₂ koncentrationen (fig. B).



Figur B. CO₂ koncentrationen plottet mod tiden.

Resultater af luftskiftemåling

I analysen er brugt data fra tidsrummet 20:00 til 22:00 og beregningerne af det naturlige luftskifte er sket efter Fernandez & Bailey, 1992 og Papadakis *et al.* 1996.

Luftskiftet blev bestemt til 37,4 m³ pr. time, hvilket svarer til et luftskifte på 0,06 gange pr. time. Det ligger under den forventede værdi på 0,1 gang pr. time, og dette kan skyldes, at væksthuset er uopvarmet, hvilket giver en lille forskel i temperatur mellem inde og ude.

En af årsagerne til det lave luftskifte kan også findes i, at isoleringsgardinerne er lukkede og at de har et meget lavt luftskifte (Andersson & Skov, 1991). Det betyder, at CO₂ hovedsageligt vil sive ud ved gardinets inddækning.

Foretages beregningen efter en afladningskurve, hvor halveringstiden af CO₂ koncentrationen bruges, er luftskiftet mellem 0,06 til 0,07 gange pr. time. Det er i god overensstemmelse med beregning, hvor koncentrationsændring over tid bruges.

Praktisk anvendelse

Beregninger af luftskifte kompliceres, hvis der skal tages hensyn til vindhastighed og -retning. Det kræver et større datamateriale for at kunne opstille en pålidelig model og kræver en model for hvert væksthuis.

Luftskiftetberegninger kan omgås ved at fastlægge koncentrationsændringen ved det aktuelle luftskifte, før kunstlyset tændes. Modellen fastlægger det forventede tab ved luftskifte, når kunstlyset er tændt. Det forudsætter, at der ikke sker store ændringer i klimaet udendørs. Falder CO₂ koncentrationen mere end det, som er betinget af det naturlige luftskifte, optages CO₂.

Luftskiftemålinger i erhvervsgartnerier

Den ovennævnte dataindsamlings- og beregningsmetode for naturligt luftskifte kan ikke finde anvendelse i erhvervsgartnerier. Målinger, foretaget i et gartneri, har vist en meget uensartet CO₂ fordeling. En koncentrationsudjævning medfører både stigning og fald i CO₂ koncentrationen ved målepunktet, og samtidig er der stor træghed i udjævningen. Det er vanskeligt at opsamle et pålideligt datamateriale til beregning af luftskifte eller modellering af den ændring, som sker i CO₂ koncentrationen, der kan tillægges naturligt luftskifte.

CO₂ optagelse

I de to første forsøg, hvor der udover måling af CO₂ koncentrationen også skete en måling af kvantitativ plantevækst, var det ikke muligt med sikkerhed at beregne planternes CO₂ optagelse. Hvis CO₂ optagelsen ikke kan beregnes med stor sikkerhed, er det ikke muligt at fastlægge en ændring i LCP. Usikkerhederne på målingerne skyldes bl.a., at væksthuset ikke er en perfekt omrørt tank og at CO₂ ikke er jævnt fordelt i hele væksthushets volumen.

Måling af planternes tilpasning

Ændring i de naturlige lysforhold og planternes lysudnyttelse kan bestemmes gennem dyrkningsforsøg hvor forskellige kvantitative parametre for plantevækst findes og relateres til de lysforhold, som planterne har været udsat for.

Lyssum

Beregning af lyssum sker ud fra indstrålingen af fotosynteseaktivt lys ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), hvor lyssum opstår ved at multiplicere med tiden i sekunder. Lyssum udtrykkes som mol m^{-2} . Med kendskab til indstrålingen, som kunstlysanlægget udsender, og om kunstlysanlægget er tændt eller ej, kan lyssummen beregnes henholdsvis for den mængde, som kommer fra kunstlysanlægget, og den, som er naturlig.

Kvantificering af plantevækst

I forsøg bruges ofte parametre som plantehøjde, antal blomsterbærende skud og antal blomster som udtryk for en plantes reaktion på en given forsøgsbehandling.

Hvis plantevækst skal udtrykkes over tid, er det nødvendigt at bruge andre parametre til at beskrive tilvæksten. Der findes en række tilvækstparametre, som må betegnes som både veldokumenterede og anerkendte. De fleste kvantitative udtryk for tilvækst beregnes for de overjordiske plantedele og afspejler ikke faktorer, som påvirker rodvækst.

En del af de kvantitative udtryk kan beregnes som en øjebliksværdi og behøves ikke at blive udtrykt over tid.

Udtrykkene angives som akronymer for de engelske betegnelser, hvor det ikke altid er let at give en forståelig oversættelse til dansk.

RGR

Relative growth rate udtrykker tilvæksten i tørstof på baggrund af plantens tørstof i relation til tid. RGR angives som $\text{g g}^{-1} \text{dag}^{-1}$ og beregnes ved:

$$RGR = \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{t_2 - t_1}$$

Den relative vækstrate afhænger af plantens udviklingstrin. For frøplanter er RGR under konstante vækstforhold eksponentiel. Hvis den naturlige logaritme af tørvægten plottes mod tiden, fås en ret linie. RGR kan udtrykkes ved (Challa & Schapendonk, 1994):

$$RGR = \frac{I}{(bI + c)}$$

Hvor I er den daglige fotosynteseaktive lyssum og b og c er konstanter, som er relateret til plantearten. RGR udtrykker en form for effektivitetsindeks mht. lys, hvor effektiviteten stiger, når b går mod 1 og mindskes når den går mod 0.

Med stigende bladareal aftager RGR, fordi vedligeholdelsesrespirationen stiger, samtidig med at den interne skygge i plantemassen stiger.

NAR

Netto assimilation rate udtrykker tilvæksten i tørvægt pr. dag i relation til bladarealet. NAR angives som $\text{g m}^{-2} \text{dag}^{-1}$ og beregnes ved:

$$NAR = \frac{(W_2 - W_1)(\ln(LA_2) - \ln(LA_1))}{(LA_2 - LA_1)(t_2 - t_1)}$$

hvor t_1 og t_2 er tidspunktet for måling af henholdsvis tørvægten W_1 og W_2 og bladarealet LA_1 og LA_2 . NAR betegnes også som *ULR* (unit leaf rate).

SLA

Specific leaf area udtrykker vægten af bladene i forhold til bladarealet. LAR angives som $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ og beregnes ved:

$$SLA = \frac{LA}{W_l}$$

Hvor LA er bladarealet og W er tørvægten.

Ændringer i SLA over tid er et udtryk for ændring i bladtykkelse. Solblade er tykkere end skyggeblade, fordi mesophylet (palisadevævet) har større volumen. Ændringer i indstrålingsforholdene har betydning for tykkelsen af mesophylet, og ved skift fra høj til lav indstråling bliver bladtykkelsen mindre og det omvendte gør sig gældende med stigende naturlig indstråling. Ændring i bladtykkelsen er derfor et indirekte udtryk for tilpasning til indstrålingsforholdene.

LAI

Leaf area index udtrykker forholdet mellem bladarealet af planten (målt ensidigt) og det overfladeareal, som planten dækker og beregnes ved:

$$LAI = \frac{LA}{A}$$

Hvor LA er bladarealet og A er det areal, som planten dækker; LAI er dimensionsløs. Bladarealindekset har betydning for plantens udnyttelse af indstrålingen. Ved et bladarealindeks mindre end 3, kan lysmætning ske, dvs. at der er mere lys, end planten kan bruge. Ved et bladarealindeks over 7 indtræder lysmætning kun i de øverste blade. Lysudnyttelsen er bedst hos planter med oprette blade og dårligst med vandrette blade ved samme bladarealindeks, når bladarealindekset er større end 3.

LAR

Leaf area ratio udtrykker bladarealet i forhold til plantens totale tørvægt og beregnes ved:

$$LAR = \frac{LA}{W}$$

Hvor LA er bladarealet og W er tørvægten af hele planten; LAR angives som $m^2 g^{-1}$. LAR udtrykker bladarealens evne til at opbygge tørstof set i relation til den samlede tørvægt. LAR kan bruges som et udtryk for hvor bladfuld planten er. LAI er et mål for forholdet mellem lysudnyttelse og plantens totale respiration af over- og underjordiske organer.

LWR

Leaf weight ratio er den procentuelle andel, som bladenes tørvægt udgør af den samlede tørvægt og beregnes ved:

$$LWR = \frac{W_l}{W}$$

Hvor W_l er tørvægt af blade og W er tørvægt af hele planten; LWR er dimensionsløs LWR ændres som følge af ændringer i tykkelsen af bladene og bladstørrelsen. LWF (leaf weight fraction) er synonym for LWR . LWR er et udtryk for vægten mellem strukturelle organer og muligheden for fotosyntese. Strukturelle organer er i denne forbindelse stængler, og strækningsvækst hos planter påvirker LWR .

SWR

Stem weight ratio er den procentuelle andel, som stænglernes tørvægt udgør af den samlede tørvægt og beregnes ved:

$$SWR = \frac{W_s}{W}$$

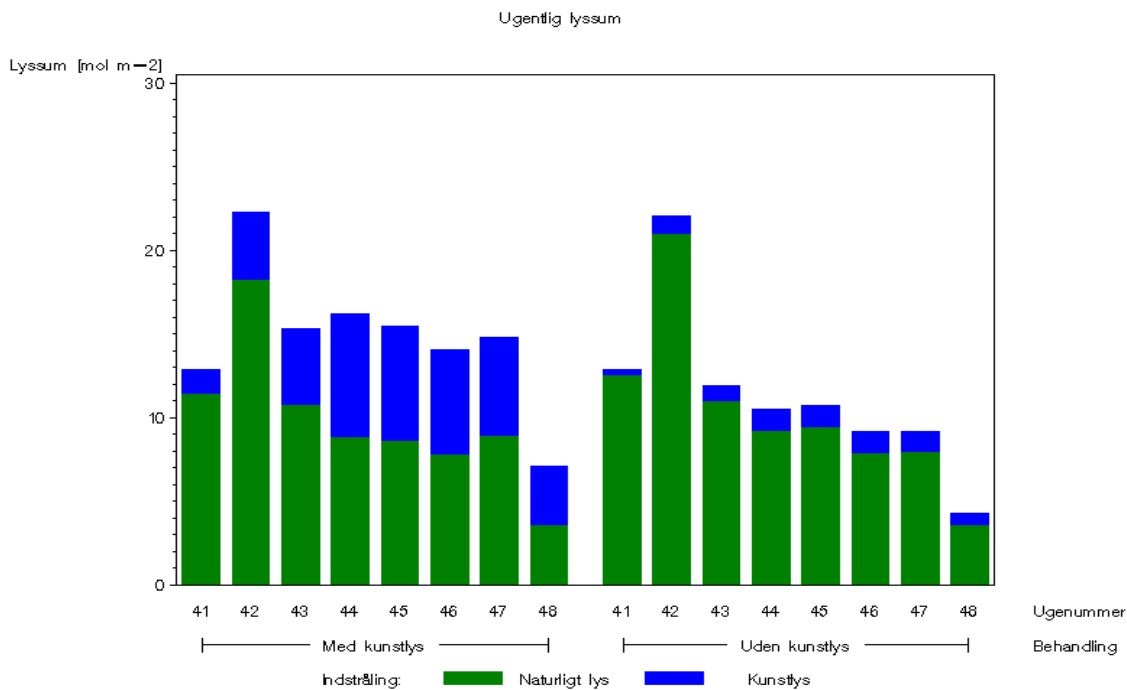
Hvor W_s er tørvægt af stængler og W er tørvægt af hele planten; SWR er dimensionsløs. SWR ændres f.eks. som følge af forvedning og sekundær tykkelsesvækst af stængler. Ændringer kan også skyldes strækningsvækst, hvor internodierne enten bliver længere eller kortere.

Kvantitative vækstrelationer for Hibiscus

I det første forsøg med kvantitativ vækst blev brugt *Hibiscus rosa-sinensis* 'Red Cairo'. Planterne blev dyrket med og uden kunstlys. Planterne, som blev dyrket uden kunstlys, fik dagligt 2 timers lys (03:00 – 05:00) for at måle, hvor hurtigt faldet i CO_2 koncentrationen skete.

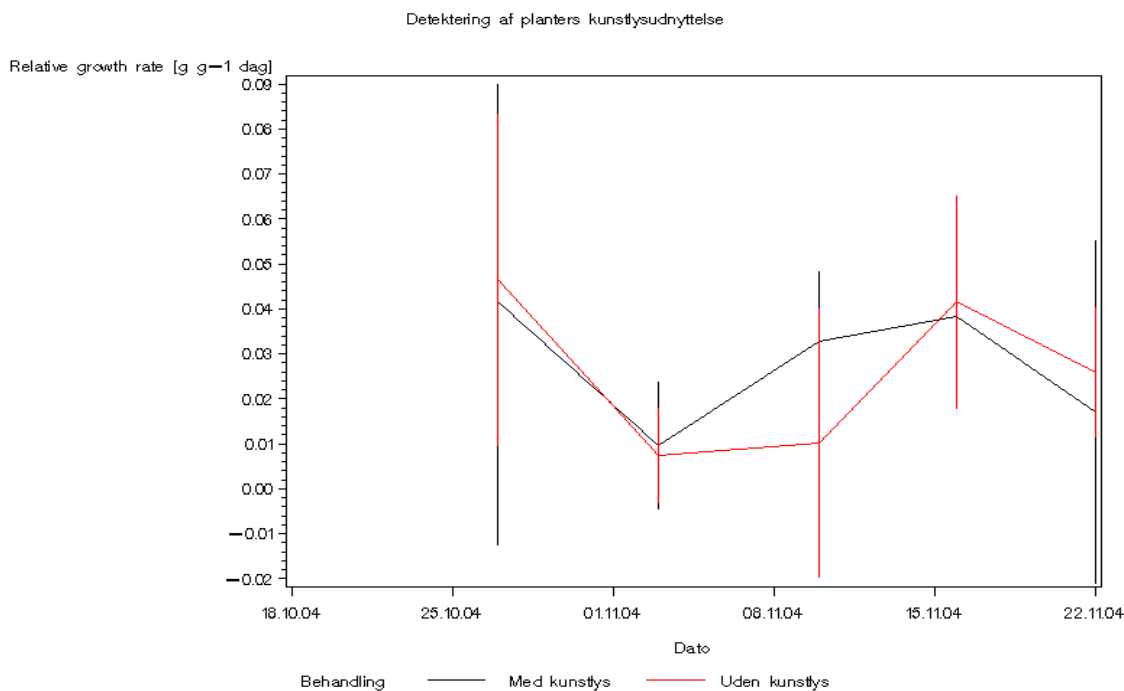
Lyssum

Beregning af lyssum skete ud fra indstrålingen af fotosynteseaktivt lys ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), hvor lyssum opstår ved at multiplicere med tiden i sekunder. Lyssum udtrykkes som mol m^{-2} . Med kendskab til indstrålingen, som kunstlysanlægget udsender, og om kunstlysanlægget er tændt eller ej, kan lyssummen beregnes henholdsvis for den mængde, som kommer fra kunstlysanlægget, og den, som er naturlig (Fig. 1).



Projekt: Detektering af planters kunstlysnudnyttelse / NEA\$FBV-DJF ©2004

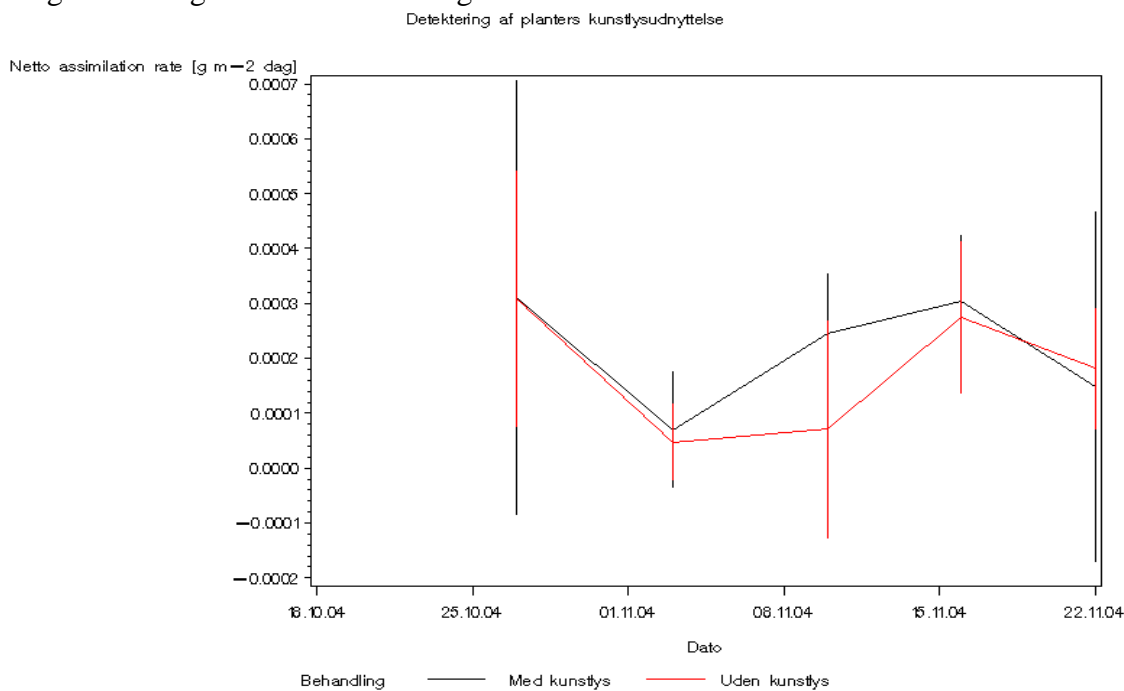
Figur 1. Lyssum opdelt i naturligt lys og kunstlys på ugebasis. Bemærk, at uge 41 og 48 indeholder færre dage end 7 pga. forsøgets start- og sluttidspunkt.



Projekt: Detektering af planters kunstlysudnyttelse /30NOV04/NEA\$FBV-D.J.F ©2004

Figur 2. Relative Growth Rate med og uden kunstlys.

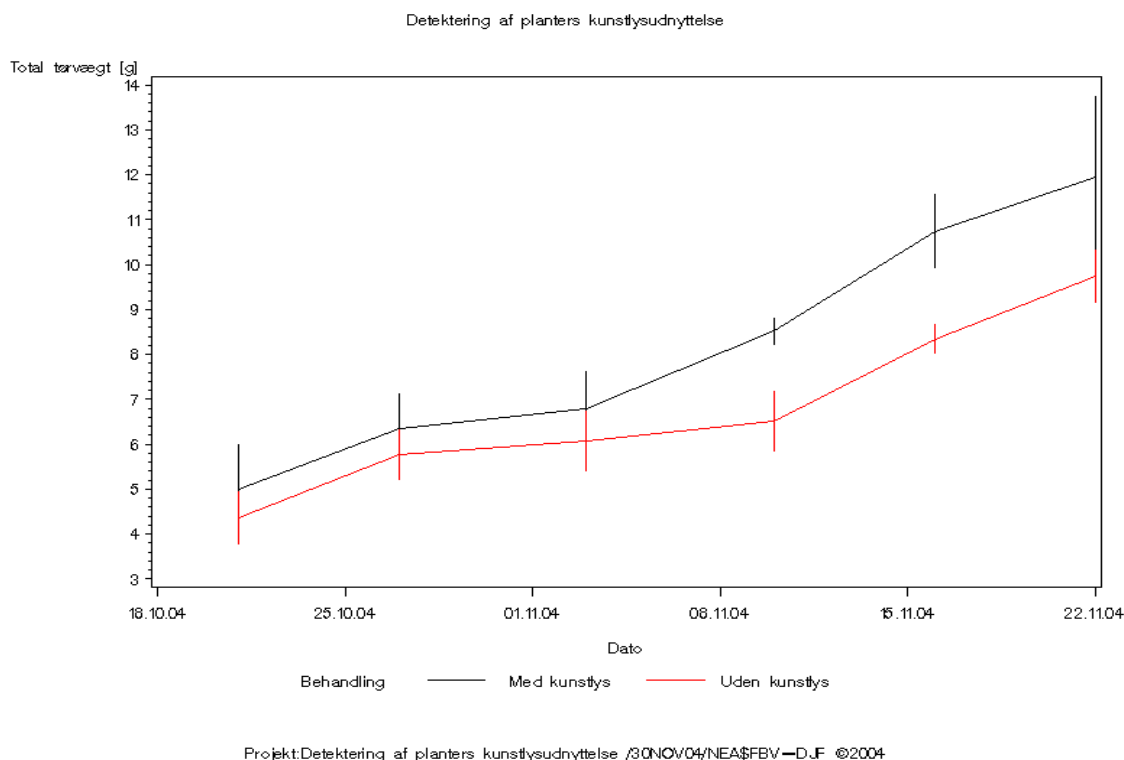
RGR udviser først et fald og derefter en stigning og så igen et fald (Fig. 2). Selv om lyssummen er relativt konstant både for planter med og uden kunstlys, var forventningen, at RGR skulle stige i begyndelsen, når der blev givet kunstlys. Stigning i RGR kommer før med kunstlys, men RGR aftager samtidig for de to behandlinger.



Projekt: Detektering af planters kunstlysudnyttelse /30NOV04/NEA\$FBV-D.J.F ©2004

Figur 3. Netto Assimilation Rate med og uden kunstlys.

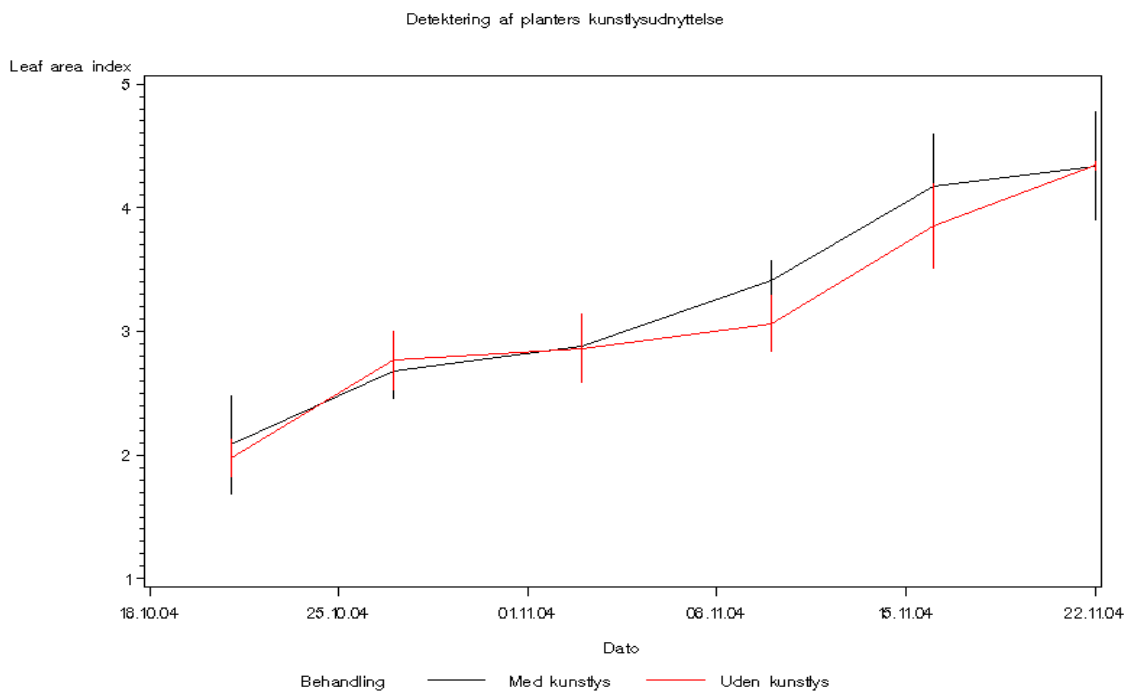
NAR udviser samme kurveforløb som RGR (Fig. 3), hvilket vil sige, at der først sker et fald i lysudnyttelsen, dvs. at planterne ikke er tilpasset lave lysintensiteter.



Figur 4. Tørvægt med og uden kunstlys.

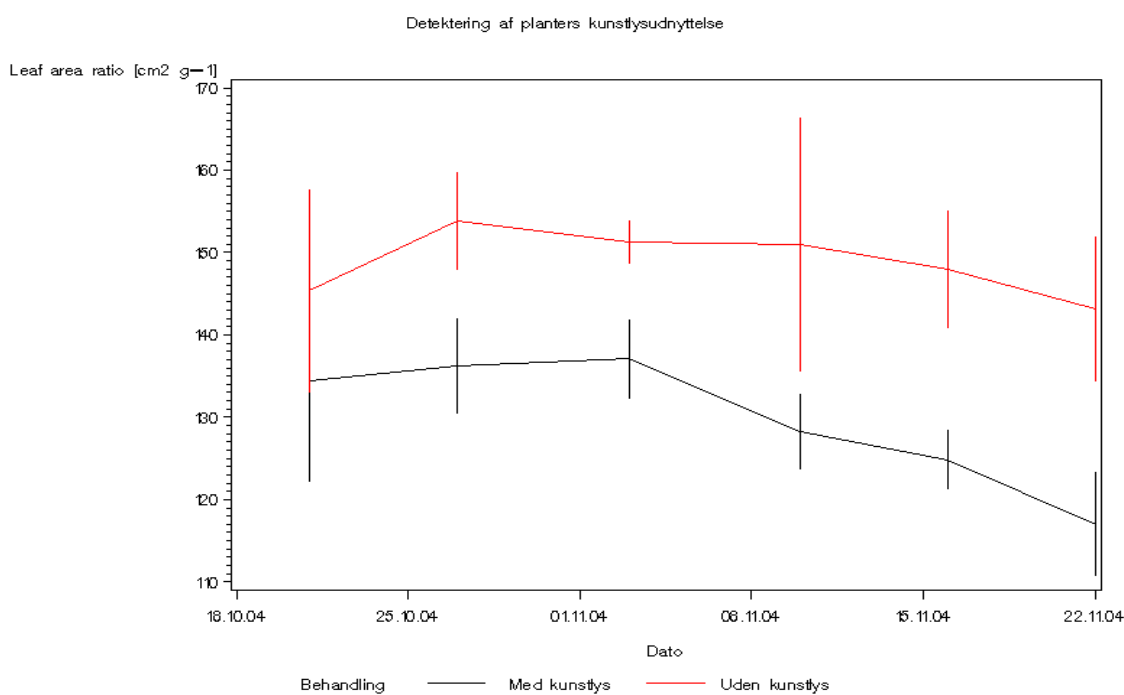
Ændring i tørvægten sker parallelt i de to første uger af forsøget, hvorefter den største stigning sker hos planter, som får kunstlys (Fig. 4). Et af de forhold, som gør sig gældende ved lystilpasning, er, at blade er tilpasset de lysforhold som de er dannet under. Udviklingshastigheden af blade er meget stærkere bundet til temperaturen end til lysforholdene. Forudsætningen for bladudvikling er celledeling og det forbruger fotosyntater (sukkerstoffer), som dels indlejres i cellulose og dels omsættes til energi ved respiration. Energien bruges i dannelsen af cellulose, protein etc. En større lyssum skal potentielt give større vækst, så derfor kan det ikke entydigt tolkes, at der er sket en lystilpasning ud fra tilvæksten i tørvægt. Det kan dog antages, at der er en dårlig udnyttelse af kunstlyset i de første 2 uger af forsøget.

Udviklingen i bladarealindeks (Fig. 5) er nødvendigvis ikke relateret til lyssummen, men mere til lysintensiteten. Ved lave lysintensiteter kan samme planteart danne blade med et større bladareal end ved høje lysintensiteter. Ved lave lysintensiteter forbedres plantens mulighed for at opfange lys, hvis bladarealet forøges. Ved høje lysintensiteter er der lys nok, og bladarealet bliver mindre for, at nedbringe transpirationstabet fra planten.



Projekt: Detektering af planters kunstlysudnyttelse /30NOV04/NEA\$FBV-D.J.F ©2004

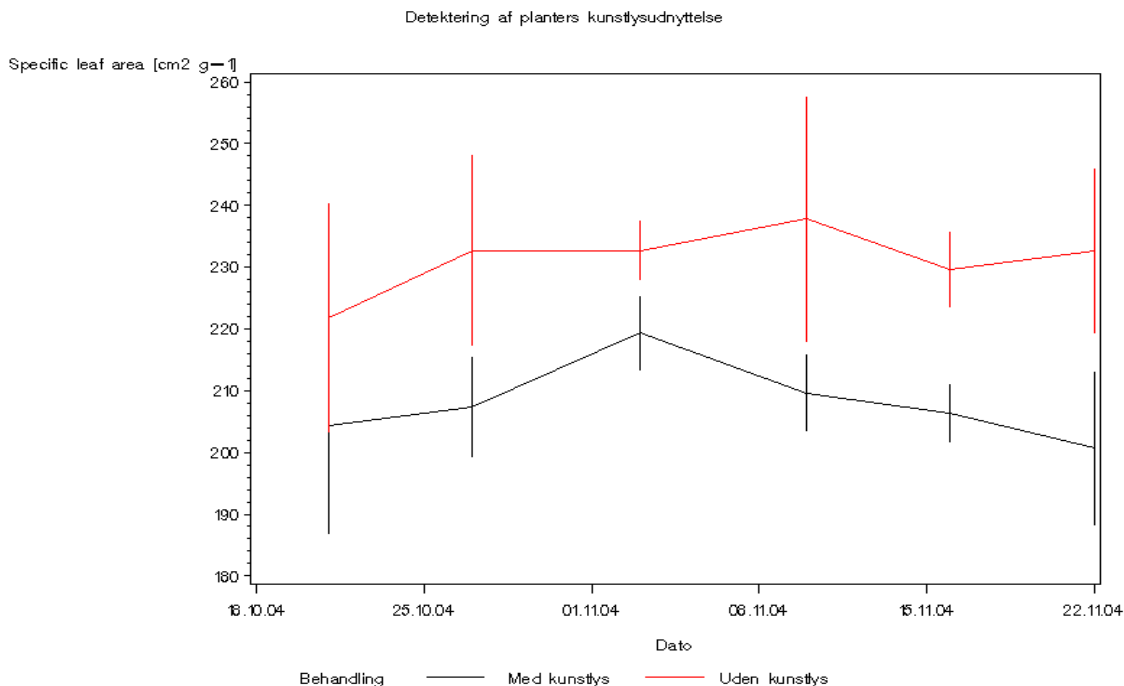
Figur 5. Leaf Area Index med og uden kunstlys.



Projekt: Detektering af planters kunstlysudnyttelse /30NOV04/NEA\$FBV-D.J.F ©2004

Figur 6. Leaf Area Ratio med og uden kunstlys.

LAR aftager hen gennem forsøget (Fig. 6), dog mest for planterne som får kunstlys. Planter uden kunstlys er bedre til at producere tørstof pr. bladarealend end planter, som får kunstlys, men der er ikke taget højde for rodvækst.

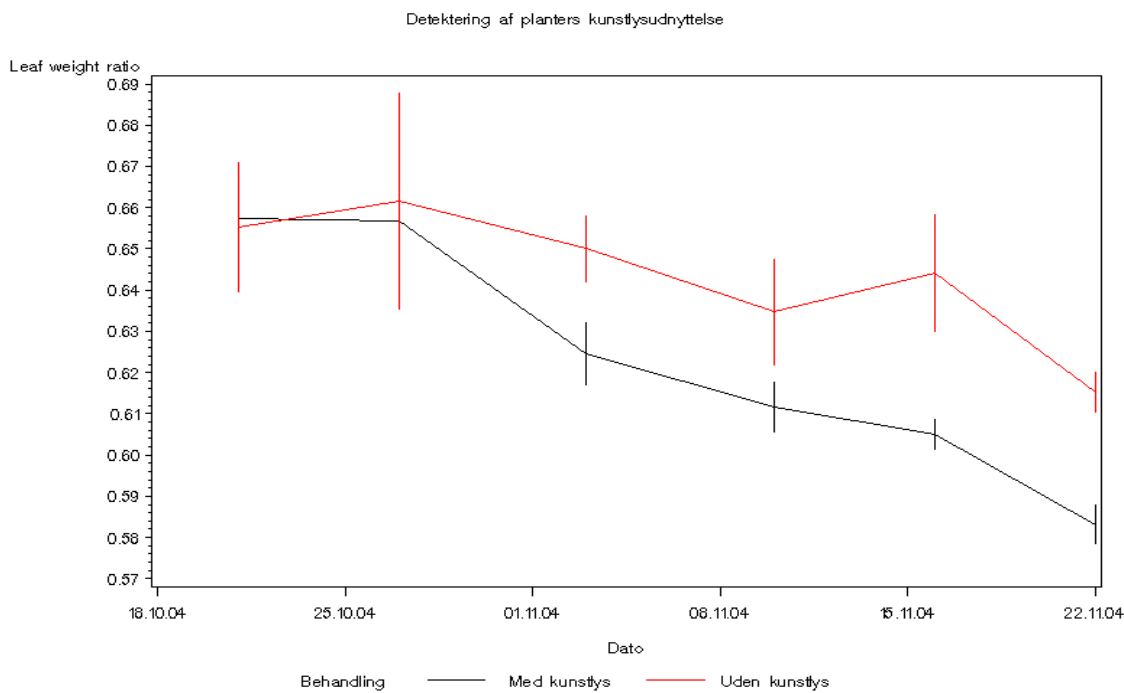


Projekt: Detektering af planters kunstlysudnyttelse /30NOV04/NEA\$FBV—DJF ©2004

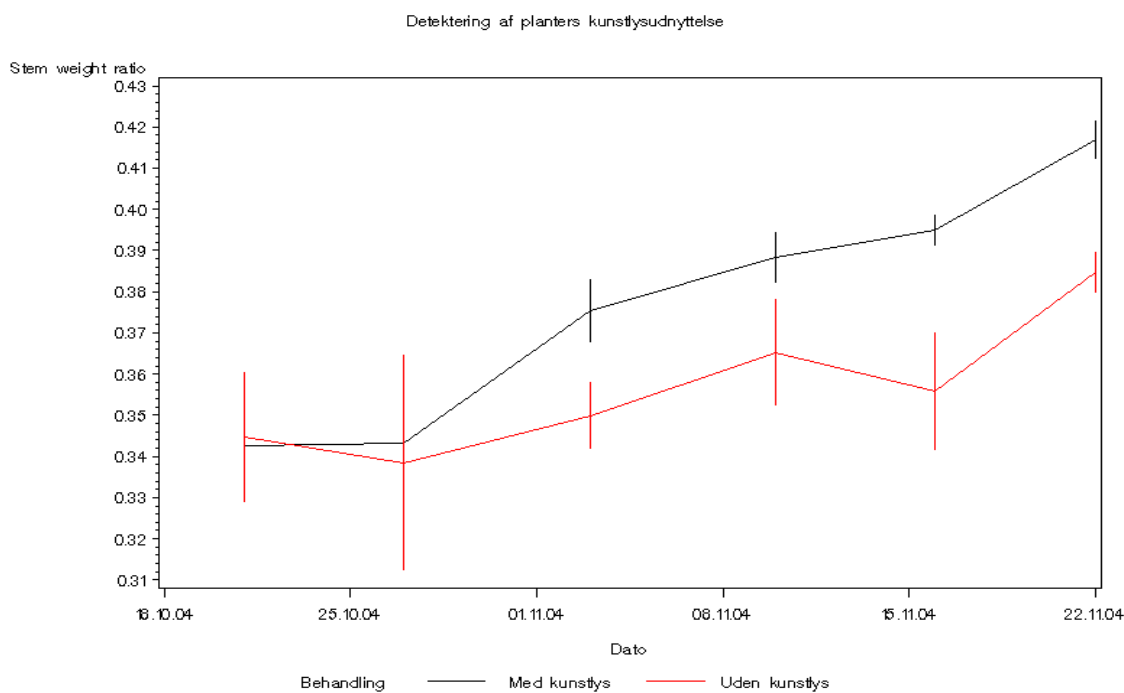
Figur 7. Specific Leaf Area med og uden kunstlys.

SLA forbliver konstant hen gennem forsøgsperioden og det ville være forventeligt, at SLA ville aftage, da lav lysintensitet giver tyndere blade.

En ændring i LWR vil modsvares af en tilsvarende, men modsat rettet ændring i SWR (Fig. 8 og 9), hvilket også er tilfældet i forsøget. Når LWR falder, skyldes det dannelse af tyndere blade. Faldet i LWR forstærkes, samtidig med at der sker en fortykkelse (forvedning) af stænglerne. Det giver en stigning i SWR. Ændringerne i LWR og SWR er størst hos planter, som får kunstlys. Hibiscus er en træagtig plante og en hurtigere vækst medfører hurtigere forvedning, men ændringer skyldes også en forøgelse i antallet af nodier, efterhånden som planten får flere blade.



Figur 8. Leaf Weight Ratio med og uden kunstlys.



Figur 9. Stem Weight Ratio med og uden kunstlys.

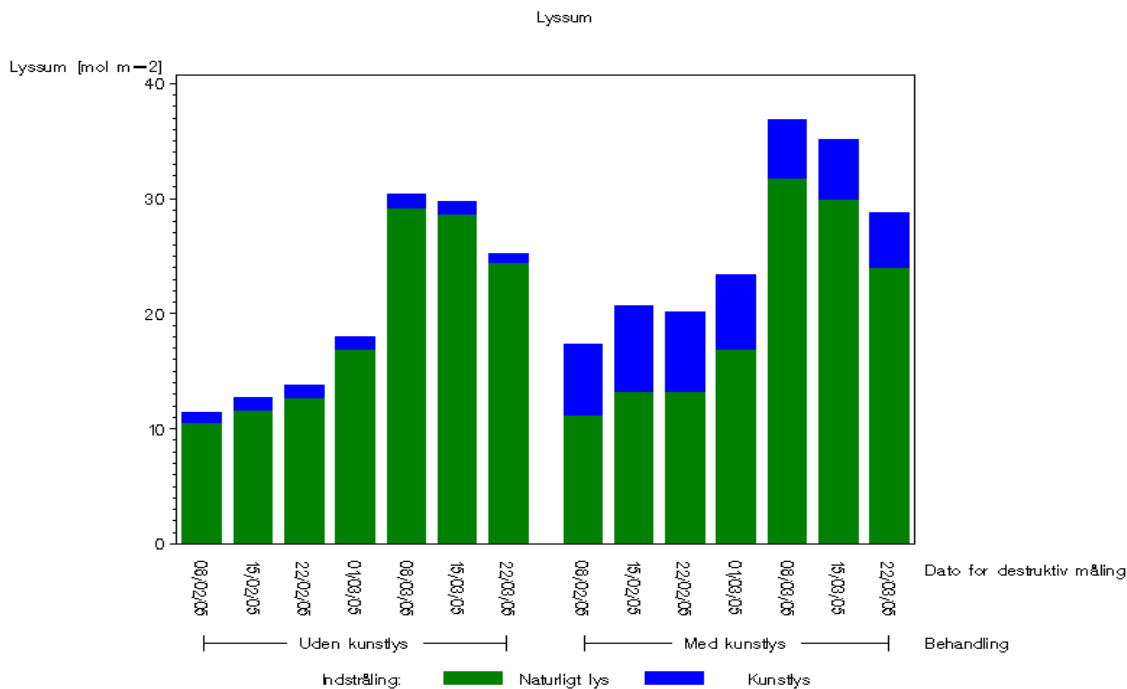
Gennem måling af kvantitativ plantevækst kan tidspunkt for indtrædelse af lystilpasning med god tilnærmelse fastlægges. Det ses mest tydeligt i tilvækst i tørvægt over tid, hvor tilvæksten efter

tilpasning antager samme hastighed i de sidste 14 dage (fig. 4). Tilvæksten hos planter er delvist eksponentiel, hvilket betyder, at planter, som får kunstlys, vil blive større på kortere tid. I ovenstående forsøg er tilpasning til aftagende indstråling undersøgt, men der vil også ske tilpasning, når der sker en stigning i naturligt lys om foråret. Forsøget blev designet som et cross-over forsøg, hvor planterne flyttes fra behandling med kunstlys til behandling uden kunstlys. Flytningen skete 5 gange, men den enkelte plante blev kun flyttet én gang. Dvs. at planterne udsættes for forskellige behandlingstidspunkter, dog minimum 1 uge før flytning og minimum 2 uger efter flytning.

Flytning af planterne mellem de to behandlinger betyder et stort skifte i den lysmængde, de får, og planter, dyrket med kunstlys, vil have en længere daglængde med en indstråling, svarende til lysintensiteten fra kunstlysanlægget. Den eller de faktorer mht. lys, som får planter til at akklimatisere sig, er ikke kendt. Det vides derfor ikke, om det er lav lysintensitet i en længere periode, eller det er høj lysintensitet i en kortere eller længere periode, som påvirker lyskompensationspunktet og mørkerespirationen

Dato	Flytning
1-feb-05	-
8-feb-05	1
15-feb-05	2
22-feb-05	3
1-mar-05	4
8-mar-05	5
15-mar-05	-
22-mar-05	-

Planterne har før forsøgets start været dyrket under kunstlys (ca. $60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) og ved kortdag og blev skåret tilbage i slutningen af december. De nye blade er derfor dannet under kunstlysforhold. Lyssummerne (fig. 10) er beregnet for perioden mellem de destruktive analyser af planterne og er identiske med datoerne i ovenstående tabel.



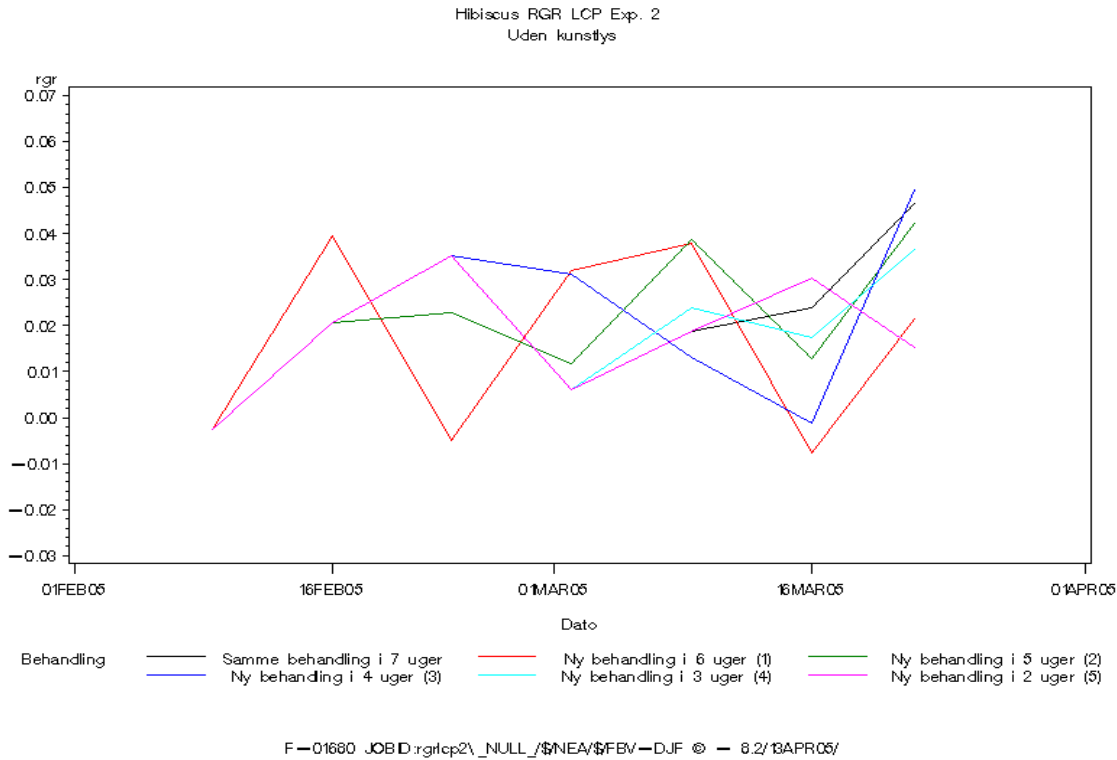
Projekt: Detektering af planters kunstlysudnyttelse / NEA\$FBV-DJF ©2004

Figur 10. Lyssum opdelt efter behandling og i naturligt lys og kunstlys.

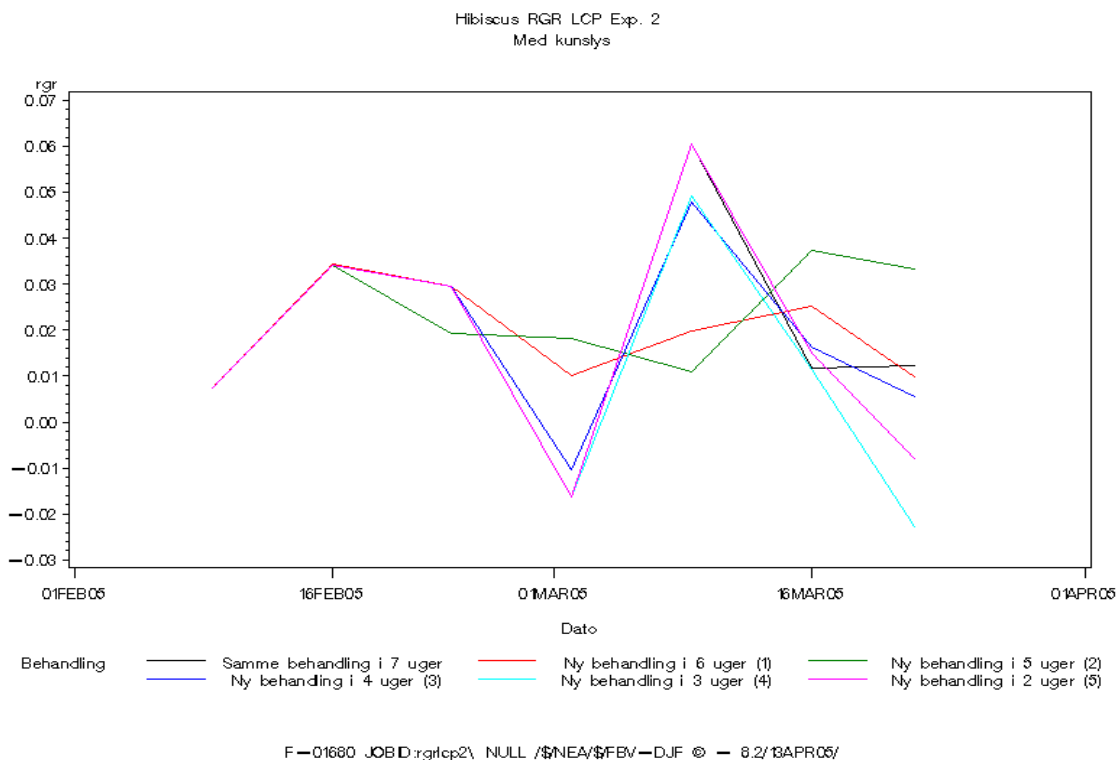
Plantevækst

For beskrivelse af plantevæksten er de kvantitative parametre RGR, LAR, LWR, SWR og LUE beregnet. LUE står for Light Use Efficiency og beregnes ved at dividere tilvæksten i tørvægt med lyssummen.

Den relative vækstrate udviser mindst udsving i behandlingen uden kunstlys (Fig. 11), mens behandling med kunstlys viser stort udsving (Fig. 12). Det skal bemærkes, at RGR antager negative værdier, hvilket skyldes, at variationen i plantematerialet er stor (planterne vokser ikke nedad).

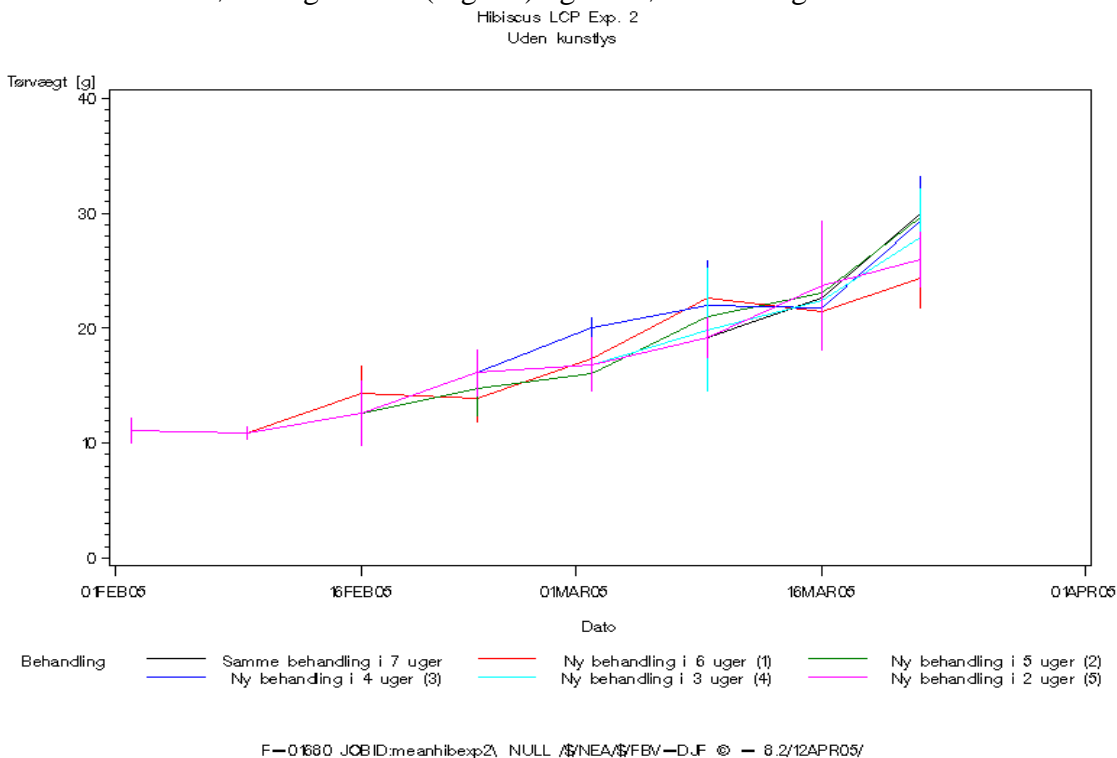


Figur 11. Relative Growth Rate hos *Hibiscus rosa-sinensis* dyrket uden kunstlys eller hvor planter er flyttet fra kunstlys.

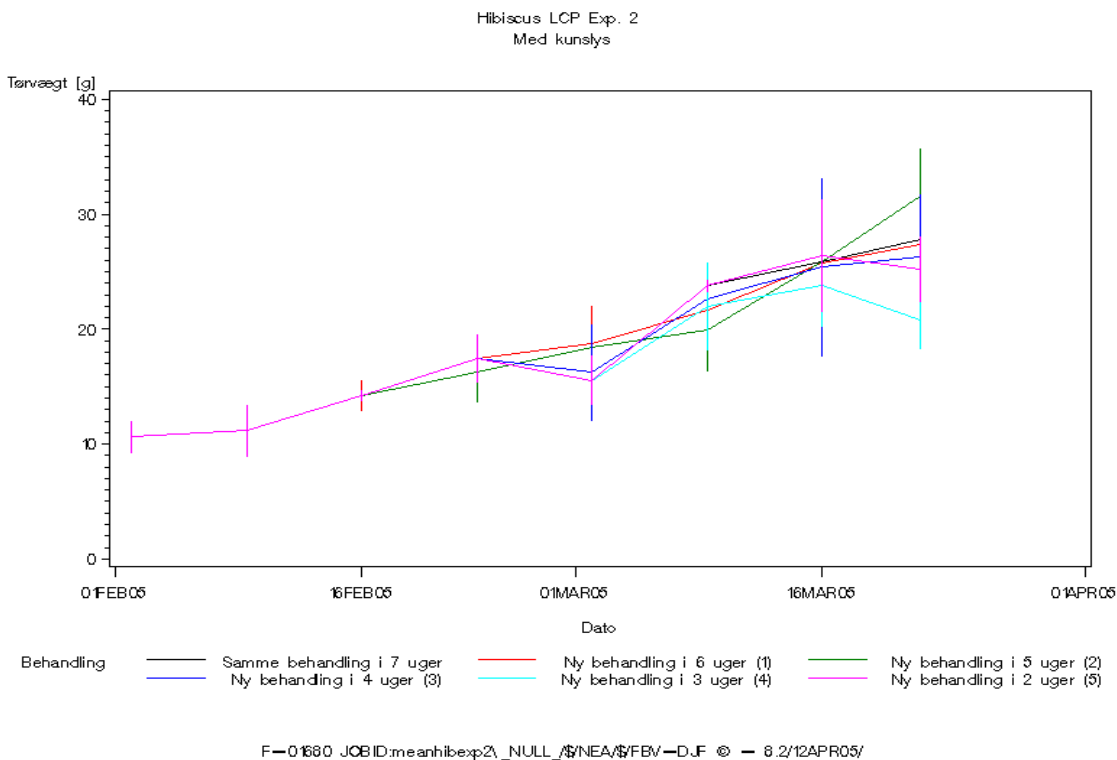


Figur 12. Relative Growth Rate hos *Hibiscus rosa-sinensis* dyrket med kunstlys eller planter, som er flyttet til kunstlys.

Mht. tørvægt påvirkes planterne, når de starter i forsøget, i behandlingen uden kunstlys fordi tilvæksten i den første uge er nul (Fig. 13) og den første måling af RGR bliver 0.



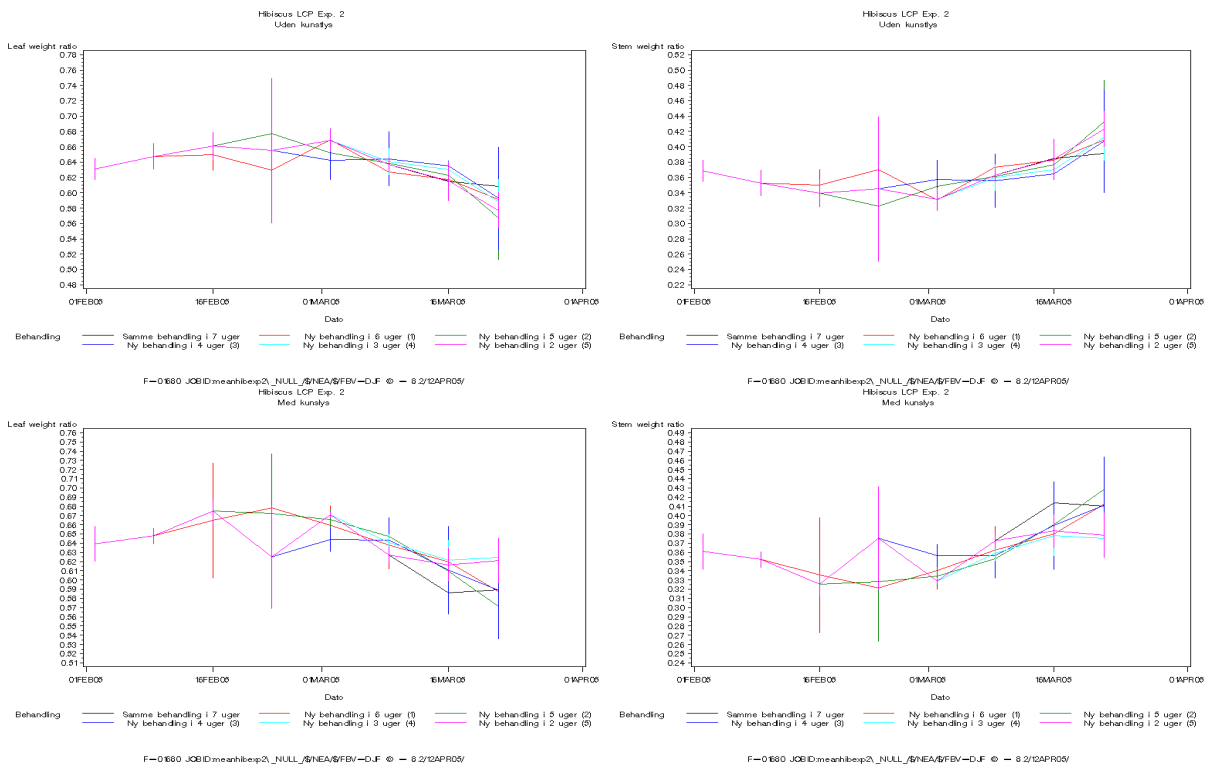
Figur 13. Ændring i tørvægt over tid for behandlingen uden kunstlys hvor flytning sker fra behandlingen med kunstlys.



Figur 14. Ændring i tørvægt over tid for behandlingen med kunstlys, hvor flytning sker fra behandlingen uden kunstlys.

I forsøgets sidst del begynder planterne at blomstre, og der dannes flest blomster i behandlingen med kunstlys. Visne blomster giver derfor et problem, idet de ikke kommer med i tørvægten af planten. Blomster og blomsterknopper er henregnet under stængeltørvægt.

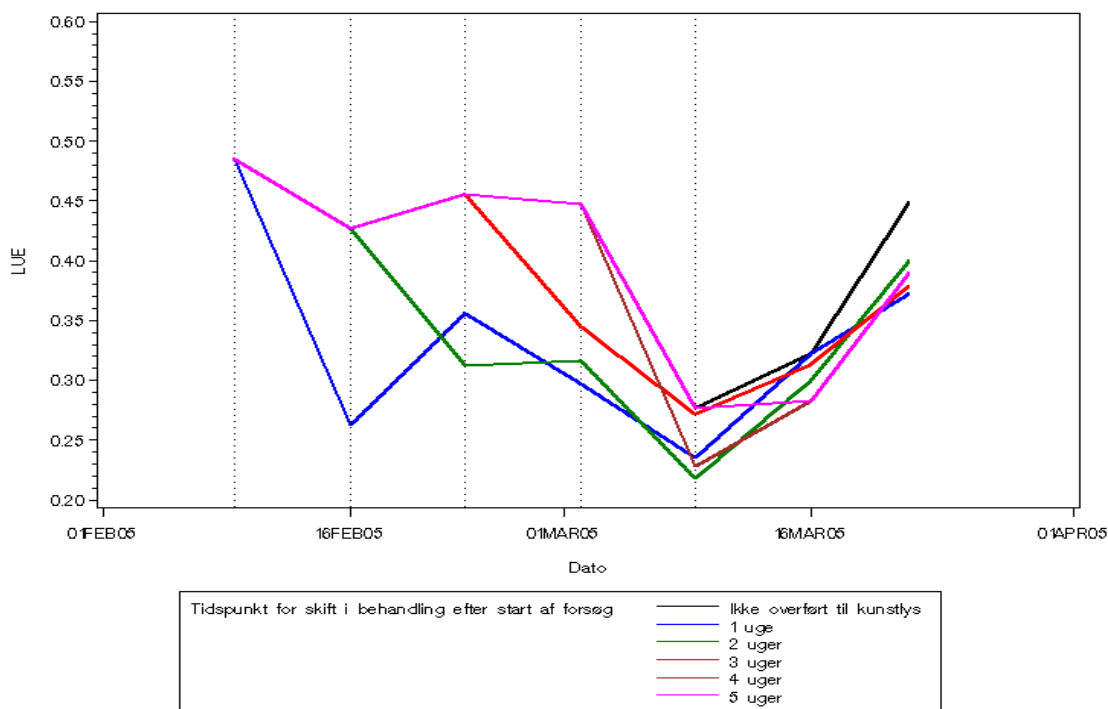
Der sker et fald i LWR og en stigning i SWR i begge behandlinger hen gennem forsøgsperioden, men begge starter med en modsat rettet ændring.



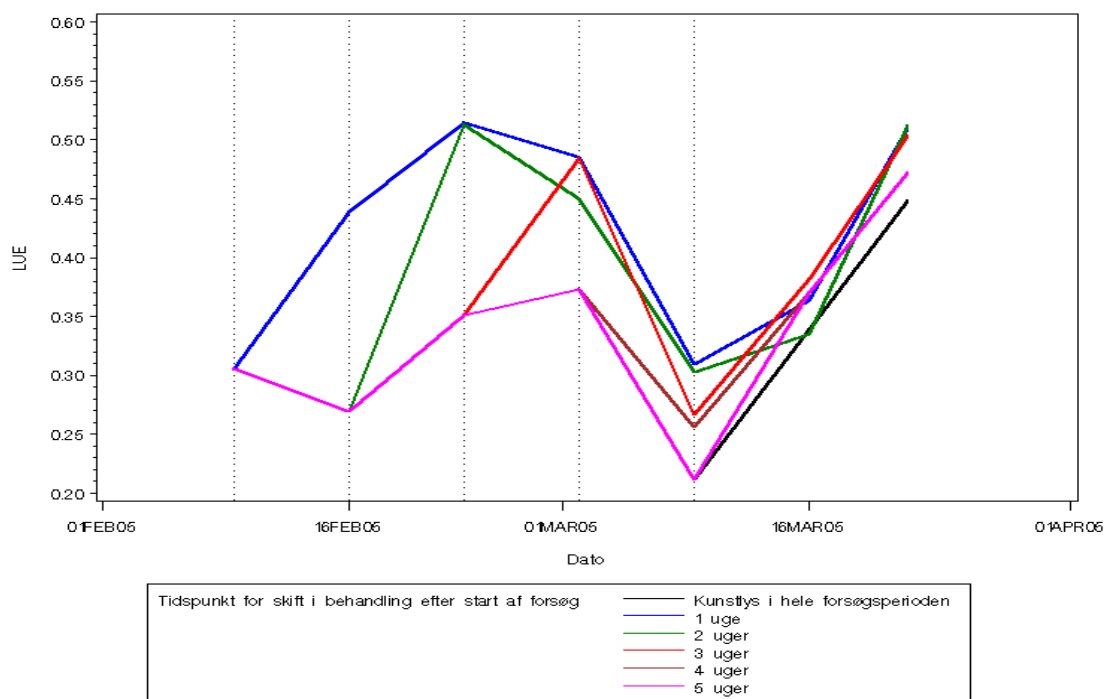
Figur 15. Ændring i Stem Weight Ratio og Leaf Weight Ratio. Øverst uden kunstlys, nederst med kunstlys (akser ikke ens), LWR venstre.

Den kortvarige stigning i LWR skyldes at planterne danner nye blade, efter at de blev skåret tilbage. Det efterfølgende fald i SWR og LWR skal tillægges øget strækningsvækst, da planterne ikke flyttes på afstand i forsøget.

Når planterne blev flyttet fra kunstlys, faldt deres LUE og først mod slutningen af forsøgsperioden steg den igen (Fig. 16). Der skete en kortvarig stigning i LUE, når planterne blev flyttet fra naturlige lysforhold til kunstlys. Stigningen i LUE skete kun i den første uge for atter at aftage, men i begyndelsen på et højere niveau end uden kunstlys og først mod slutningen af forsøgsperioden begyndte LUE at stige. Stigningen i LUE i slutningen af forsøgsperioden skal ses i sammenhæng med, at de naturlige lysforhold ændrer sig markant (Fig. 10). Den kortvarige stigning i LUE, når planterne overflyttede til kunstlys, kan forklare ved, at både daglængde og lysmængde forøges. Det efterfølgende fald hænger sandsynligvis sammen med en øget rodvækst, da transpirationen forøges. Da røddernes tørvægt ikke er medtaget i beregningen af LUE og i andre kvantitative vækstrelationer, kan det selvfølgelig ikke dokumenteres. Det er sandsynligvis ikke lyssummen alene, som påvirker tilpasningen til ændrede lysforhold. I begge behandlinger antager LUE den laveste værdi i begyndelsen af marts, det er samtidig med en markant ændring i lyssummen. Ved høje lysintensiteter kan der opstå fotoinhibering, hvilket kan betyde, at kunstlyset ikke kan udnyttes i en kortere periode.



Figur 16. Ændring i Light Use Efficiency ved flytning fra kunstlys til naturlige lysforhold.



Figur 16. Ændring i Light Use Efficiency ved flytning fra naturlige lysforhold til kunstlys.

Den gennemsnitlige lysintensitet varierer ikke meget i den samme periode, men der forekommer perioder med høj lysintensitet. En anden vigtig information er, at virkningen af kunstlys på væksten på det tidspunkt er af lille betydning. Da stigningen i tørvægt i slutningen af forsøget ligger meget tæt på hinanden i de to behandlinger, er der god grund til at antage, at kunstlyset udnyttes dårligt. Den kraftige stigning i LUE, som sker i begge behandlinger i slutningen af forsøgsperioden, skyldes muligvis vekselvirkning med lufttemperaturen i væksthuset. Ved høj lysintensitet stiger lufttemperaturen i væksthuset og det påvirker plantevæksten positivt. LUE afspejler lystilpasningen og ses lettest, når planterne flyttes fra naturlige lysforhold til kunstlys. Ved 5. flytning er der ingen virkning af skift i lysforhold og den efterfølgende stigningstakt er stort set ens, hvilket er ensbetydende med, at kunstlys ikke har nogen indflydelse på væksten.

Ændringer i lystilpasning kan findes gennem kvantitativ plantevækstanalyse, men fremgår ikke af alle kvantitative beregningsmetoder. Det kan skyldes, at kvantitativ plantevækstanalyse typisk anvendes, hvor lys ikke er en begrænsende faktor. Det var ikke muligt at verificere modellen, foreslået af Challa & Schapendonk (1994), hvor RGR relateres til den fotosynteseaktive lyssum.

Planteproduktion

Ændring i brugen af kunstlys i forårs- og efterårsmånederne, vil i større eller mindre omfang få indflydelse på planteproduktionen. I moderne potteplanteproduktion er timing af produktionen af stor betydning. Eksporten af potteplanter sker til hele Europa og salget stiger i perioderne omkring forskellige mærkedage og højtider. Et kendt eksempel er f.eks. julestjerne, hvor gartnerierne skal have afsat planterne senest i begyndelsen af december.

I projektet er gennemført forsøg med *Hedera helix*, *Campanula portenschlagiana* og *Dendranthema grandiflora* (Krysantemum). I forsøgene blev anvendelse af kunstlys påbegyndt senere i efteråret eller stoppet tidligere i foråret, end hvad der er gængs praksis. For yderligere at begrænse driftstiden på kunstlysanlægget, er der i nogle forsøg blevet brugt lyssumstyring. Her tages der hensyn til, hvor meget naturligt lys planterne modtager, og tidsrummet, hvor der gives kunstlys afkortes, hvis der har været meget naturligt lys.

Hedera helix

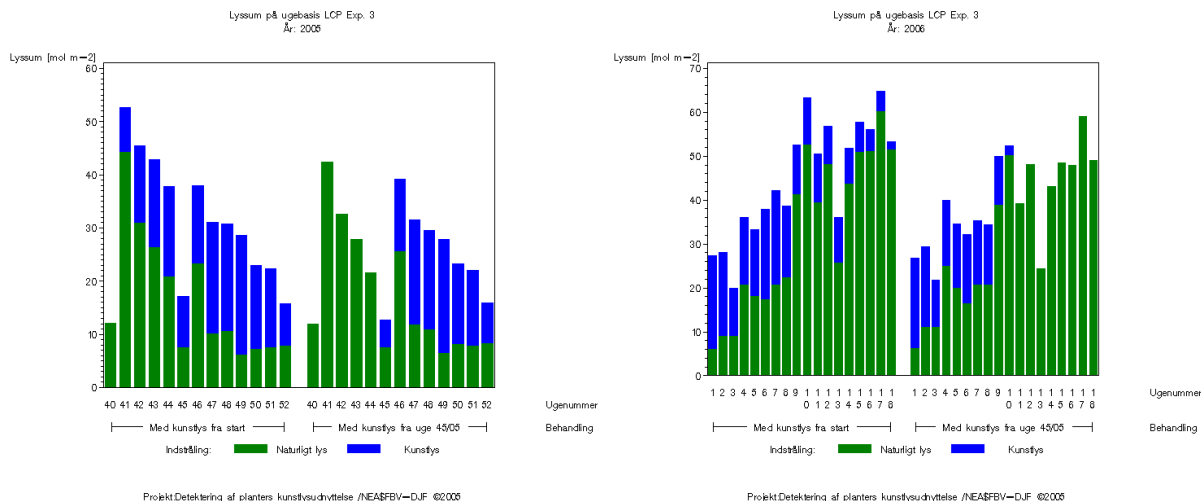
Der blev igennem efteråret 2005 og vinteren 2006 dyrket 10 hold af *Hedera helix Wonder*. Produktionstiden er beregnet ud fra den korteste ranke af de tre længste ranker i potten, hvor salgskriteriet er en rankelængde på 15 cm.

Behandlingerne i efteråret var, at planterne fik kunstlys fra start eller først fra 7. november, hvilket er sent, set i relation til normal praksis. Det første hold blev startet den 10. oktober og det 5. hold den 5. november. Behandlingerne i vinteren var, at planterne fik kunstlys fra start, men i den ene behandling blev brugen af kunstlys stoppet den 6. marts. Det 6. hold af *Hedera helix* blev startet 6. februar og det 10. hold den 6. marts, dvs. samtidig med at kunstlyset blev stoppet i den ene behandling.

I de første to uger af 2006 ligger lyssummerne tæt på lyssummerne i ugerne 47 til 49. I uge 3 er der manglende lysmålinger for 3 dage pga. tekniske problemer med dataopsamlingen. Lyssummerne i uge 4 til 6 har samme størrelse som lyssummerne i uge 44 og 46 i år 2005. I de første to uger af 2006 ligger lyssummerne tæt på lyssummerne i ugerne 47 til 49. I uge 3 er der manglende

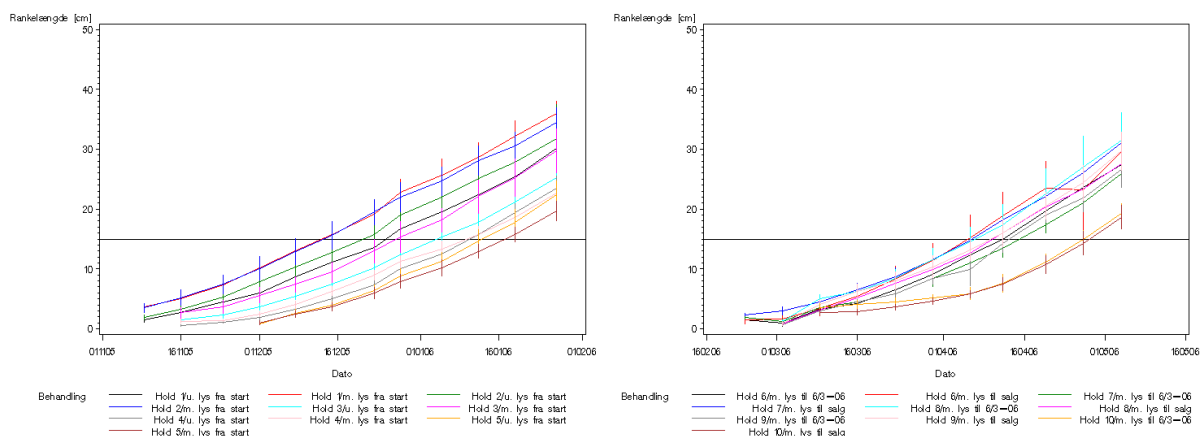
lysmålinger for 3 dage. Lyssummerne i uge 4 til 6 har samme størrelse som lyssummerne i uge 44 og 46 i år 2005.

Der sker en markant stigning i den naturlige indstråling fra uge 9 i år 2006, hvilket giver sig udslag i næsten en fordobling af lyssummen (figur 17).



Figur 17. Lyssummer i 1. forsøg med *Hedera helix*, opdelt efter efterår og vinter.

Ses der bort fra hold 1, øges produktionstiden mellem hold 2 og 3 og falder mellem 4 og 5 for planter, dyrket med kunstlys fra 7. november (tabel 1). Produktionstiden er jævnt stigende, hvor planterne har fået kunstlys fra start. Det skal dog bemærkes, at produktionstiden for hold 4 er næsten identisk for planter, som har fået kunstlys fra start og dem, som ikke har. Lyssummen udviser faldende tendens for hvert hold.



Figur 18. *Hedera helix*, længden af den korteste af de tre længste ranker i potten. Den vandrette linie angiver salgskriteriet.

I år 2006 fortsætter rankevæksten med samme stigning for hold 6 til 9, mens hold 10 har et andet vækstforløb (fig. 18). Det kan skyldes, at hold 6 til 9 reelt set er startet samtidig i gartneriet og har

samme alder, mens hold 10 er et yngre hold. Det er derfor spørgsmålet, om høj indstråling har haft negativ virkning på plantevæksten i hold 10.

Tabel 1. Produktionstid for Hedera helix.	Produktionstid	
	Behandling	
	Kunstlys fra 07-nov-2005	Kunstlys fra start
	Dage	Dage
Hold		
1	82	69
2	72	65
3	80	70
4	78	76
5	73	78

Produktionstiden for hold 6 til 9 er faldende og produktionstiden for hold 8 og 9 (og 10) er ens (tabel 2), hvilket kan tolkes som megen eller ingen virkning af kunstlys. For hold 10 stiger produktionstiden i forhold til hold 9, men er nogenlunde identisk med hold 8, men samtidig skal der huskes på, at planterne i 10. hold ikke får kunstlys i den ene behandling, da det stoppes den 6. marts.

Tabel 2. Produktionstid for Hedera helix.	Produktionstid	
	Behandling	
	Kunstlys til 6-mar-2006	Kunstlys til salg
	Dage	Dage
Hold		
6	68	65
7	63	55
8	50	53
9	48	46
10	53	56

Driftstiden for kunstlysanlægget stiger fra 1. til 6. hold og skyldes, at den naturlige daglængde aftager og at der bliver mindre og mindre naturligt lys. Ved at starte kunstlyset i begyndelsen af november, dvs. ca. en måned senere end for planterne, som fik kunstlys fra start, reduceres driftstiden med ca. 120 timer for de to første hold (tabel 3).

Tabel 3. Driftstid for kunstlysanlægget ved produktion af Hedera helix.	Driftstid	
	Behandling	
	Kunstlys fra 07-nov-2005	Kunstlys fra start
	Timer	Timer
Hold		
1	448.42	570.33
2	438.00	553.92
3	562.83	597.25
4	615.75	683.08
5	634.00	694.83

Driftstiden på kunstlysanlægget er naturligvis længst for hold 6 og aftager derefter pga. tiltagende daglængde og stigende naturligt lys (tabel 4).

Hvis der sammenholdes med produktionstiden, er det muligt at reducere driftstiden med et sted mellem 150 til 200 timer.

Tabel 4. Driftstid for kunstlysanlægget ved produktion af Hedera helix.	Driftstid	
	Behandling	
	Kunstlys til 6-mar-2006	Kunstlys til salg
	Timer	Timer
Hold		
6	220.25	401.67
7	159.00	328.92
8	99.33	287.58
9	46.00	234.25
10	3.42	234.25

Lyssumstyring

Styring af kunstlys i gartnerierne sker efter en simpel regulering baseret på tid og et sætpunkt for, hvor meget naturligt lys, der skal være, før kunstlyset slukkes. Tidsrummet, hvor kunstlys må være

tændt, bestemmer også den daglængde, som planten modtager. Bruges et højt sætpunkt for lysstyring, vil kunstlys udgøre mindre i den samlede indstråling end ved et lavt sætpunkt, når kunstlyset enten tændes eller slukkes. I styringen tages der ikke hensyn til, hvor meget naturligt lys der er på døgnbasis. Lyssumstyring kan bruges til at nedsætte driftstiden, fordi der tages hensyn til, hvor meget naturligt lys der er. Hvis der er meget naturligt lys, vil kunstlyset stoppe, når en forudindstillet lyssum er nået. Det betyder også, at daglængden bliver kortere, hvilket kan give problemer med blomsterdannelse. Lyssumstyring anvendes ikke i gartnerierne, mest fordi det kræver en del beregninger for at bestemme, hvilke lyssummer der skal styres efter, og at der skal indsættes en ny grænseværdi f.eks. én gang om ugen.

Forsøg med lyssumstyring

I forsøget blev brugt følgende forudsætninger for beregning af lyssummen.

Glasgennemgangsfaktoren blev sat til 50 % og lysgennemgangsfaktoren for skyggegardin til 30 %.

Begge faktorer har indflydelse på, hvor meget naturligt lys planterne i væksthuset modtager.

Lysafgivelsen fra kunstlysanlægget var sat til 4 klux og sætpunkt for, hvor meget naturligt lys der skulle være før kunstlyset blev slukket, var ligeledes sat til 4 klux. Som grundlag for det forventede naturlige lys blev brugt SBI's DRY data og daglængden var 18 timer.

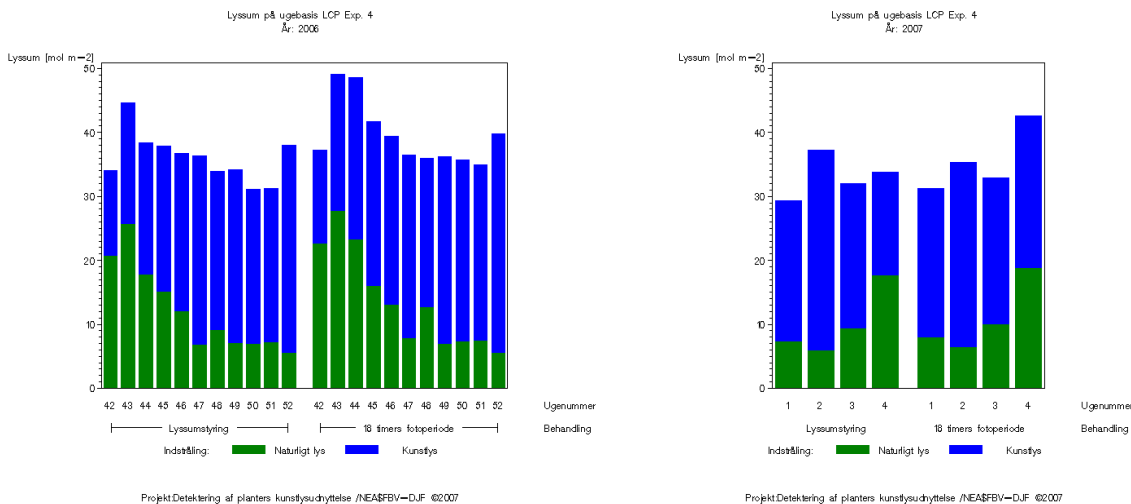
Ugenr	Lyssum	Dato for ændring
42	125	16-okt-2006
43	124	23-okt-2006
44	109	30-okt-2006
45	100	6-nov-2006
46	86	13-nov-2006
47	84	20-nov-2006
48	83	27-nov-2006
49	82	04-dec-2006
50	77	11-dec-2006
51	77	18-dec-2006
52	78	25-dec-2006
1	82	01-jan-2007
2	86	08-jan-2007
3	89	15-jan-2007
4	95	22-jan-2007
5	97	29-jan-2007
6	113	05-feb-2007
7	116	12-feb-2007
8	124	19-feb-2007
9	133	26-feb-2007
10	179	05-mar-2007
11	205	12-mar-2007
12	231	19-mar-2007

Lyssum og driftstider

Den samlede driftstid er 200 timer mindre ved brug af lyssumstyring, for perioden uge 42/2006 til uge 4/2007 (Tabel 5). Der er stor variation i driftstiderne på ugebasis og der er ligeledes stor variation mht. reduktion i driftstiden ved styring efter lyssum.

Tabel 5. Driftstid ved tidsstyring og lyssumstyring af kunstlys.		Driftstid - lyssumstyring	Driftstid - tidsstyring	Forskel
		Decimal time	Decimal time	Decimal time
År	Uge-nr.			
2006	42	54.00	61.25	7.25
	43	69.33	83.42	14.08
	44	76.42	98.00	21.58
	45	82.67	99.67	17.00
	46	89.92	108.08	18.17
	47	108.42	115.33	6.92
	48	92.83	106.67	13.83
	49	104.08	115.00	10.92
	50	91.42	110.67	19.25
	51	93.92	113.08	19.17
	52	127.25	137.17	9.92
2007	1	82.50	93.42	10.92
	2	113.17	116.75	3.58
	3	92.00	97.92	5.92
	4	68.17	89.25	21.08
Samlet driftstid		1346.08	1545.67	199.58

Lyssummen er præget af et regnfuldt efterår, hvor kunstlyset udgør en meget stor del af den samlede lyssum (fig. 19). Det betyder, at den forventede lyssum ikke kan opnås i 30 % af dagene. I 20 % af dagene opnås lyssummen ved fotoperiodens afslutning og i 50 % af dagene før fotoperiodens afslutning ved lyssumstyring. Selv om lyssummen opnås før stoptidspunktet i 50 % af dagene, betyder det ikke altid en stor nedsættelse i driftstiden, da der i mange tilfælde kun sker en reduktion på 10-15 minutter.



Figur 19. Lyssum for uge 42 til 52 i 2006 og 1 til uge 4 i 2007, hvor kunstlyset er tidsstyret eller styret efter lyssum.

Planteproduktion

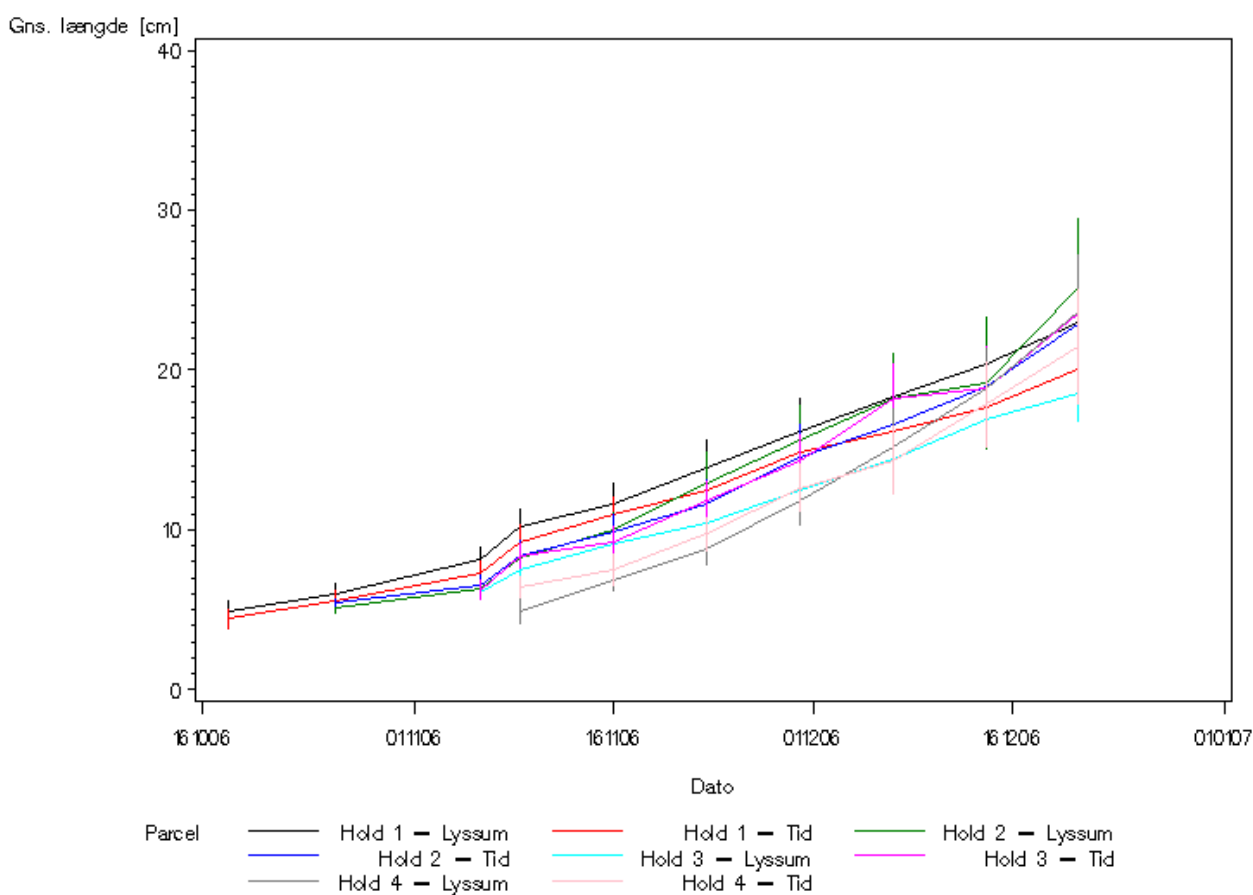
Hvis der sammenlignes med de tidligere forsøg, er produktionstiden markant kortere for *Hedera helix* 'Wonder' (tabel 2). Det skyldes ikke dyrkningsforholdene, men ændring i produktionsgangen i gartneriet, som har leveret planterne. I de tidligere forsøg har planterne været ca. 3 – 4 uger gamle, mens de først er leveret 7-8 uger efter afslutning af formering til dette forsøg.

Tabel 6. Produktionstid for <i>Hedera helix</i> 'Wonder' efterår 2006		Produktionstid	
		Behandling	
		Lyssum	Tids-styring
		Dage	Dage
Hold			
1		53	54
2		44	44
3		44	39
4		36	39

Der er ikke de store forskelle i produktionstiden, mellem de to behandlinger. Det ser ud, som om produktionstiden aftager hen gennem forsøget, men der er ikke korrigeret for planternes eksakte alder og planterne i hold 3 og 4 er startet med mindre end én uges mellemrum (se fig. 20). Hold 3 er startet 11 dage efter hold 2.

Tabel 7. Driftstid for kunstlys, set i relation til den gennemsnitlige produktionstid.	Driftstid	
	Behandling	
	Lyssum	Tidsstyring
	Timer	Timer
Hold		
1	670.25	787.42
2	582.00	675.25
3	585.67	610.25
4	491.75	620.50

Tilvækst Hedera LCP Exp. 4



F-01680 JOBID:hedera_plot_lcp4.sas_NULL_/\$NEA/\$FBV-DJF © - 9.1/29.JAN07/

Figur 20. Den gennemsnitlige rankelængde for Hedera helix.

Dynamisk lyssumstyring

Styring efter lyssum kan forfines yderligere ved at gøre den afhængig af den foregående dags lyssum. Ideen baseres på 'fattigmænds vejrudsigt', hvor det antages, at vejret i morgen er som det i dag. Hvis lyssummen f.eks. har været høj, forventes det, at den også er høj i morgen. I klimacomputeren er indlagt en facilitet, som gør det muligt at sænke sætpunktet for lysintensiteten, hvor kunstlyset tændes og slukkes. Det skal med det samme siges, at funktionen ikke virkede efter hensigten, men data tages med alligevel, fordi der sker en yderligere påtrykning i variationen af lysforholdene.

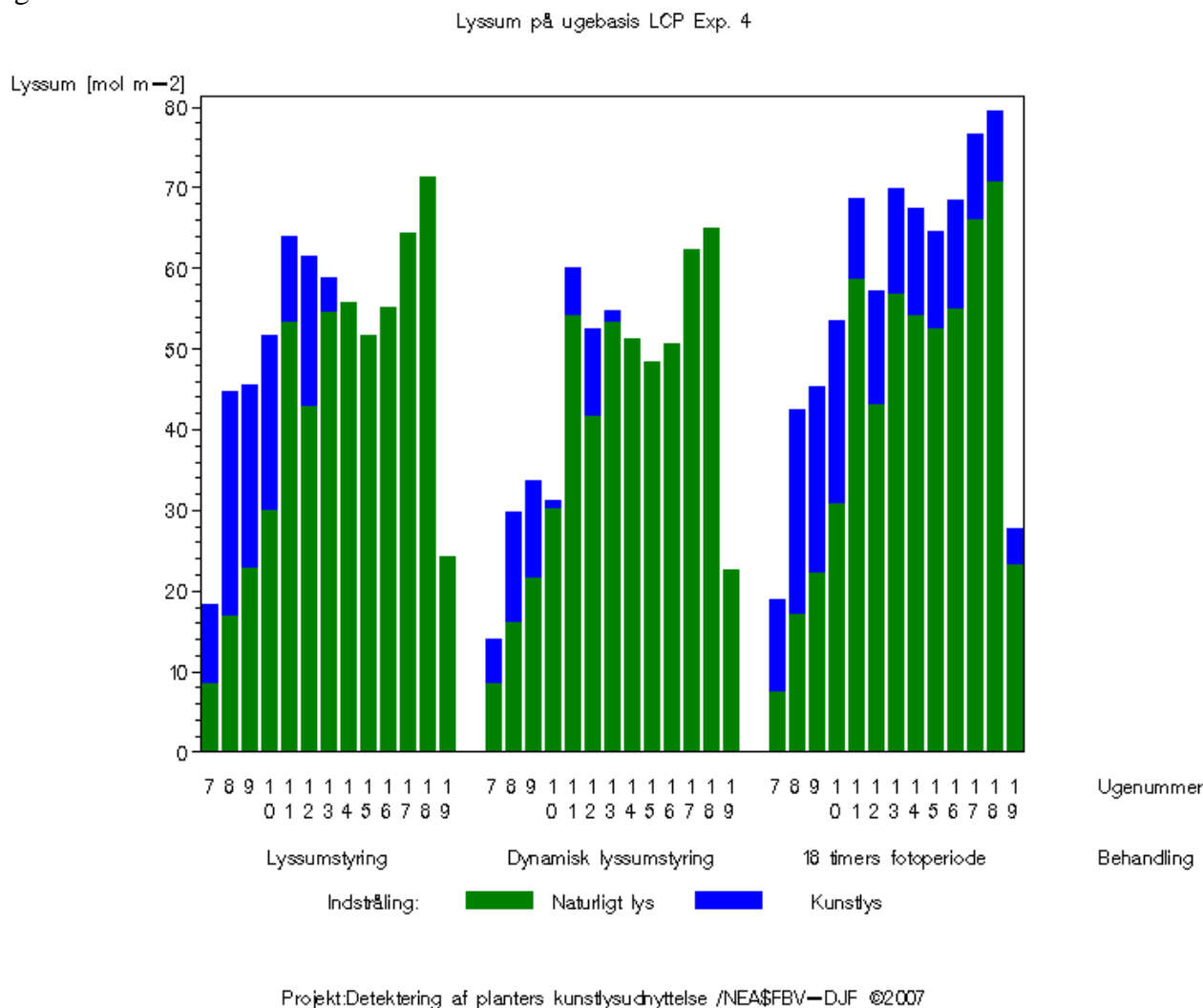
Lyssum og driftstid

Kunstlyset blev stoppet 26. marts 2007, dvs. at kunstlyset blev afbrudt i behandlingerne med lyssumstyring og dynamisk lyssum.

Tabel 8. Driftstider på ugebasis ved forskellige metoder til styring af kunstlys		Driftstid - lyssumstyring	Driftstid - dynamisk lyssumstyring	Driftstid - tidsstyring
		Decimal time	Decimal time	Decimal time
År	Ugenr.			
07	7	42.1	27.8	46.7
	8	94.2	71.7	94.2
	9	79.3	62.7	85.7
	10	74.0	10.5	78.2
	11	36.5	32.6	44.2
	12	64.3	56.1	63.9
	13	13.8	6.2	45.8
	14	0.0	0.0	46.6
	15	0.0	0.0	52.1
	16	0.0	0.0	42.3
	17	0.0	0.0	35.7
	18	0.0	0.0	30.0
	19	0.0	0.0	14.0
Samlet driftstid		404.2	267.5	679.3

Af tabel 8 ses, at lyssumstyring reducerer driftstiden med ca. 275 timer og dynamisk lyssumstyring med 410 timer, i forhold til tidsstyring i perioden fra uge 7 til uge 19, 2007. Ses på perioden fra uge 7 til 13, fås en reduktion på 54,2 med lyssumstyring og 191,5 for dynamisk lyssumstyring i forhold til tidsstyring af kunstlys i samme periode. En sænkning af sætpunktet for lysintensiteten, hvor kunstlyset tændes og slukkes, giver en reduktion i driftstiden på ca. 135 timer

Den naturlige lyssum stiger gennem forsøgsperioden og flader ud omkring uge 11-12 (Fig. 21). Den lave indstråling i uge 19 skyldes, at forsøget stopper på det tidspunkt, og data ikke dækker en hel uge.



Figur 21. Lyssum opdelt i naturligt lys og kunstlys og efter de forskellige behandlinger.

Campanula

I forsøget indgik 4 hold af *Campanula portenschlagiana* "Get Mee" og de enkelte hold blev startet henholdsvis den 16. feb., 23. feb., 2. marts og 12. marts i 2007 og salgskriteriet var 12-15 åbne blomster.

Produktionstiden er ens for alle hold, når der bruges tidsstyring, dvs. at de får kunstlys fra start til slut (Tab. 9). Det samme gælder for lyssumstyring, men produktionstiden er længere end ved

tidsstyring. Dynamisk lyssumstyring har lidt længere produktionstid for hold 3, men ligger tæt op ad almindelig lyssumstyring.

Tabel 9. Produktionstid for Campanula portenschlagiana "Get Mee".	Hold			
	1	2	3	4
	Produktionstid [dage]	Produktionstid [dage]	Produktionstid [dage]	Produktionstid [dage]
	Gns.	Gns.	Gns.	Gns.
Behandling				
Tidsstyret kunstlys	46.5	46.8	46.0	44.1
Dynamisk lyssum	48.4	49.0	52.8	49.1
Lyssum	48.5	48.8	49.3	48.9

Hvis der ses på det samlede antal blomster og knopper, fremtræder virkningen af de enkelte behandlinger og forskellene mellem holdene tydeligt (Tab. 10). Med tidsstyret kunstlys er antallet af blomster og knopper størst i de tre første hold. For hold 4 er antallet næsten identisk. Der er en god sammenhæng mellem antallet af blomster og knopper og den lyssum, som planterne modtager (Tab. 11).

Tabel 10. Antallet af blomster og knopper hos Campanula portenschlagiana "Get Mee" på salgstidspunktet.	Hold			
	1	2	3	4
	Samlet antal blomster og knopper	Samlet antal blomster og knopper	Samlet antal blomster og knopper	Samlet antal blomster og knopper
	Gns.	Gns.	Gns.	Gns.
Behandling				
Tidsstyret kunstlys	483.75	783.25	429.50	451.88
Dynamisk lyssum	400.38	225.25	380.13	490.38
Lyssum	396.38	378.75	385.13	434.00

Lyssummen baseret på gennemsnits produktionstiden, som det enkelte hold modtager, er størst med tidsstyring og varierer mest med dynamisk lyssumstyring. Ved brug af lyssumstyring bliver lyssummen næsten ens i de 4 hold.

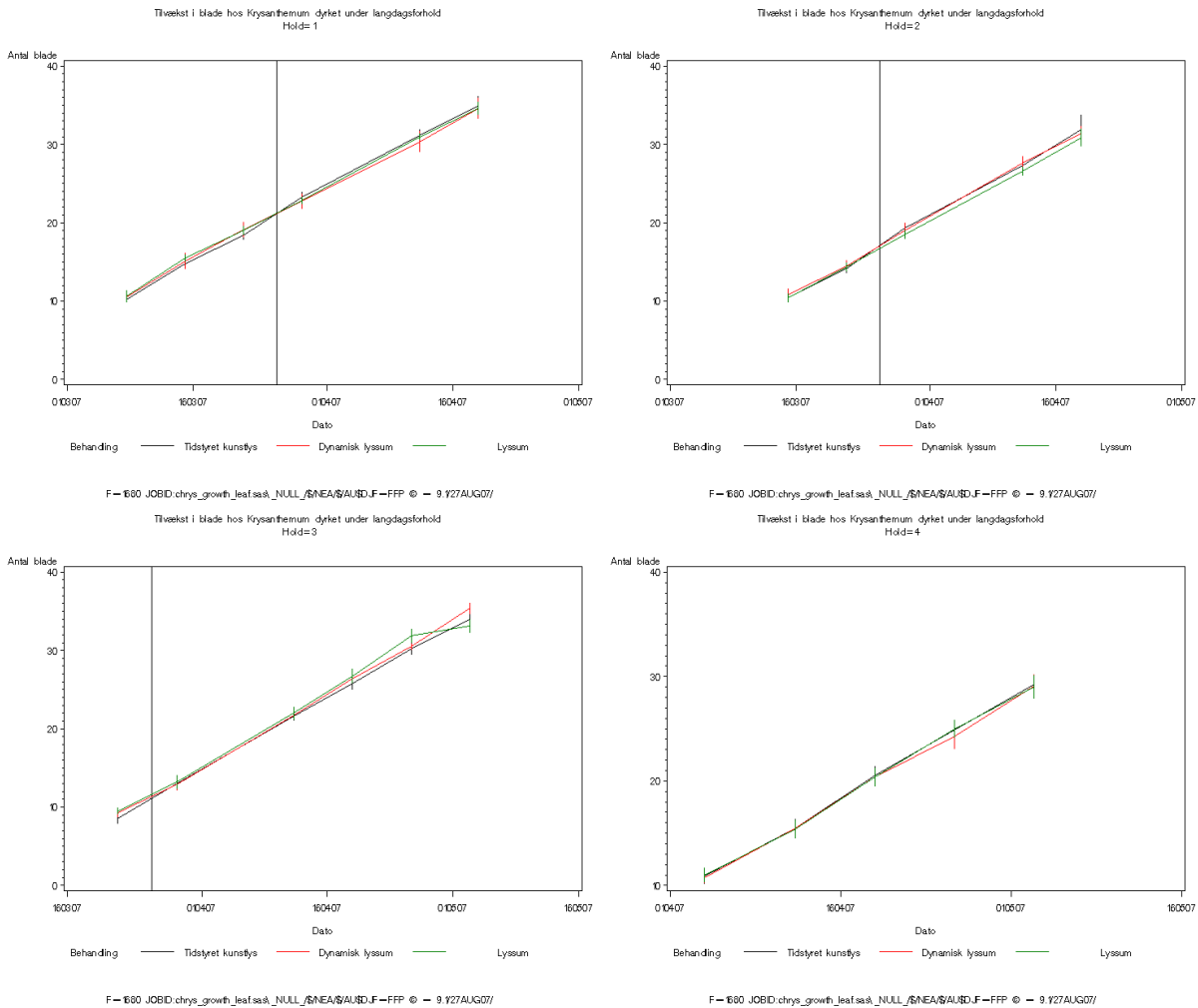
Tabel 11. Lyssummen, som de enkelte hold modtager i produktionstiden.	Hold			
	1	2	3	4
	Lyssum	Lyssum	Lyssum	Lyssum
Behandling				
Tidsstyret kunstlys	389	408	429	462
Dynamisk lyssum	296	320	371	371
Lyssum	357	361	364	357

Driftstiden for kunstlys er størst for hold 1 og aftager i de følgende hold, driftstiden er altid størst ved tidsstyring af kunstlyset og mindst for dynamisk lyssum (Tab. 12).

Tabel 12. Driftstid af kunstlys for de enkelte hold af <i>Campanula portenschlagiana</i> "Get Mee" i relation til produktionstid.	Hold			
	1	2	3	4
	Driftstid	Driftstid	Driftstid	Driftstid
Behandling				
Tidsstyret kunstlys	456	420	374	331
Dynamisk lyssum	246	178	114	95
Lyssum	369	282	201	115

Krysantemum

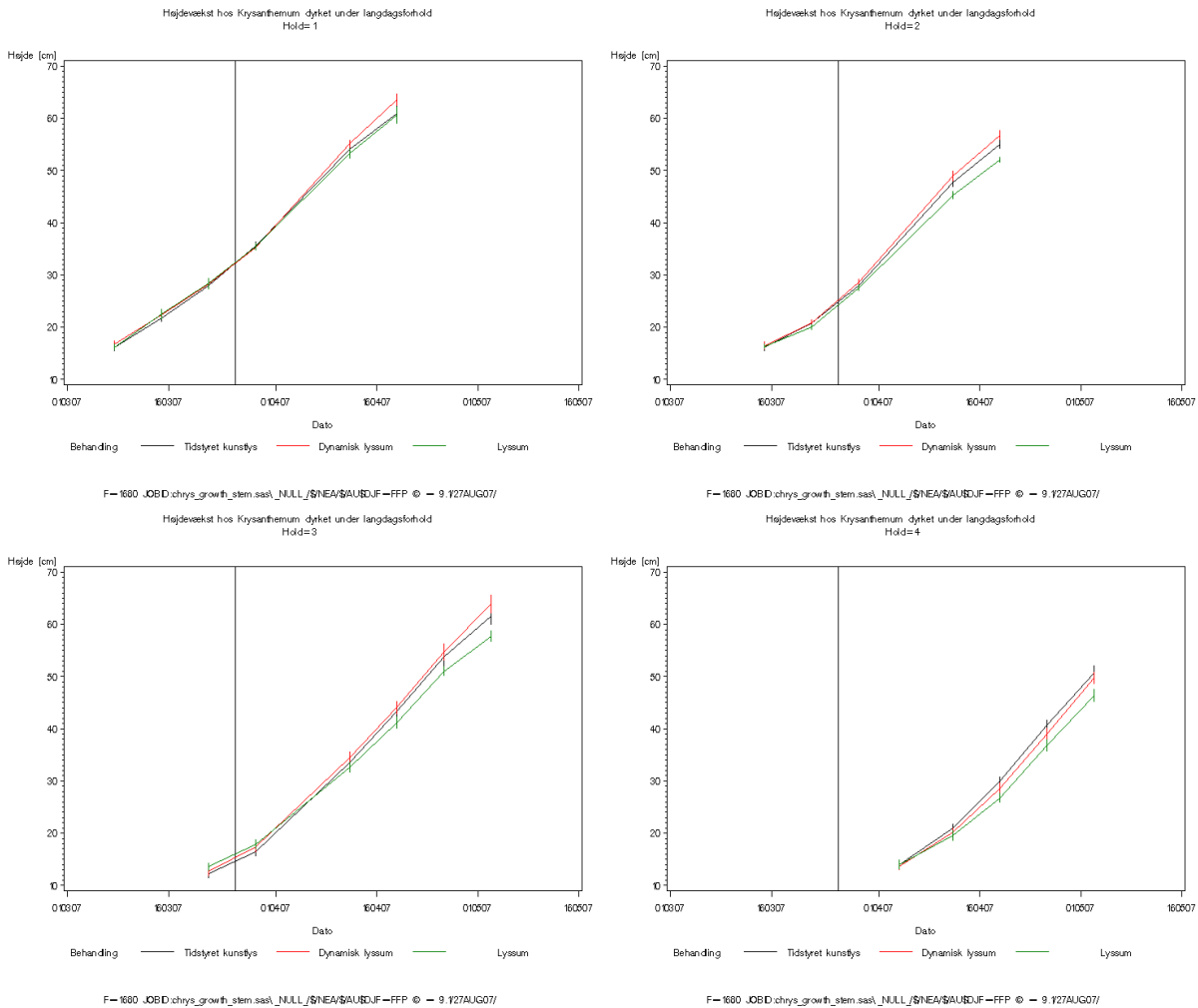
Krysantemum (*Dendranthema grandiflora*) blev dyrket under samme forhold som *Campanula* og højde og bladtilvækst blev målt med ca. en uges mellemrum. Krysantemum er en kortdagsplante dvs. at den skal have en lang nat på 13-14 timer for at blomstre. I en 24 timers døgncyklus bliver dagen på 10-11 timer, hvorfor denne type af blomsterinduktion bliver kaldt for kortdagsreaktion. Hvis daglængden er længere end 14 timer, forbliver Krysantemum vegetativ og danner kun blade. Dannelse og udfoldning af blade er afhængig af temperatur og i langt mindre grad af lysmængde. Dannelse af blade kræver en omsætning af stof i planten for at danne nye celler og organer. Stofomsætningen er temperaturafhængig og de stoffer, som omsættes, er sukkerstoffer dannet i fotosyntesen. Hvis lys er en begrænsende faktor, vil bladudviklingen blive langsommere.



Figur 22. Tilvæksten i blade hos 4 hold af Krysanthemum. Den lodrette streg på figurene angiver det tidspunkt, hvor kunstlyset blev stoppet i dynamisk lyssumstyring og lyssumstyring.

Der er ikke forskel i antallet af blade i de tre behandlinger, men forøgelsen i antallet af blade over tid er forskellig (fig. 22). Hældningskoefficienten for hold 1 er 0,57, men den er 0,64 for hold 4. Hold 2 og 3 ligger på henholdsvis 0,60 og 0,61. Det, som er væsentligt i denne sammenhæng, er, at der ikke er forskel i hældningskoefficienten mellem behandlingerne og deraf kan sluttes, at lys ikke har været en begrænsende faktor.

Tilvæksten i højden udviser ikke store forskelle, dog sker der en lille vækstændring, efter at kunstlys ikke bruges i to af behandlingerne (fig. 23). Ændringer i højdetilvækst i de enkelte behandlinger ser ud til at indtræde nogenlunde samtidig i de 4 hold.



Figur 23. Højde tilvækst hos 4 hold af Krysanthemum. Den lodrette streg på figurerne angiver det tidspunkt, hvor kunstlyset blev stoppet i dynamisk lyssumstyring og lyssumstyring.

Der er ingen klar tendens, men de tre første hold skiller sig ud ved, at planter, som står i cellen med dynamisk lyssumstyring, bliver lidt højere end planter i cellen med lyssumstyring. Det er vanskeligt at afgøre, om det er en overslæbsvirkning mellem cellerne, fordi planterne modtog lidt lys fra cellen, hvor lysbehandlingen fortsatte.

Data fra gartnerier

Der er indhentet data fra to gartnerier og der er udtrukket klimadata fra forskellige væksthuse i gartnerierne. I projektet er der fokuseret på, at gartneriernes data skulle kunne analyseres med henblik på anvendelse af kunstlys og lysforholdene i væksthuse. Det har så været op til gartnerierne at sammenstille lysdata med produktionsdata. Under produktionen flyttes planterne mellem flere forskellige væksthuse, men ofte er kunstlysinstallationen af samme størrelse, men væksthustypen kan være forskellig.

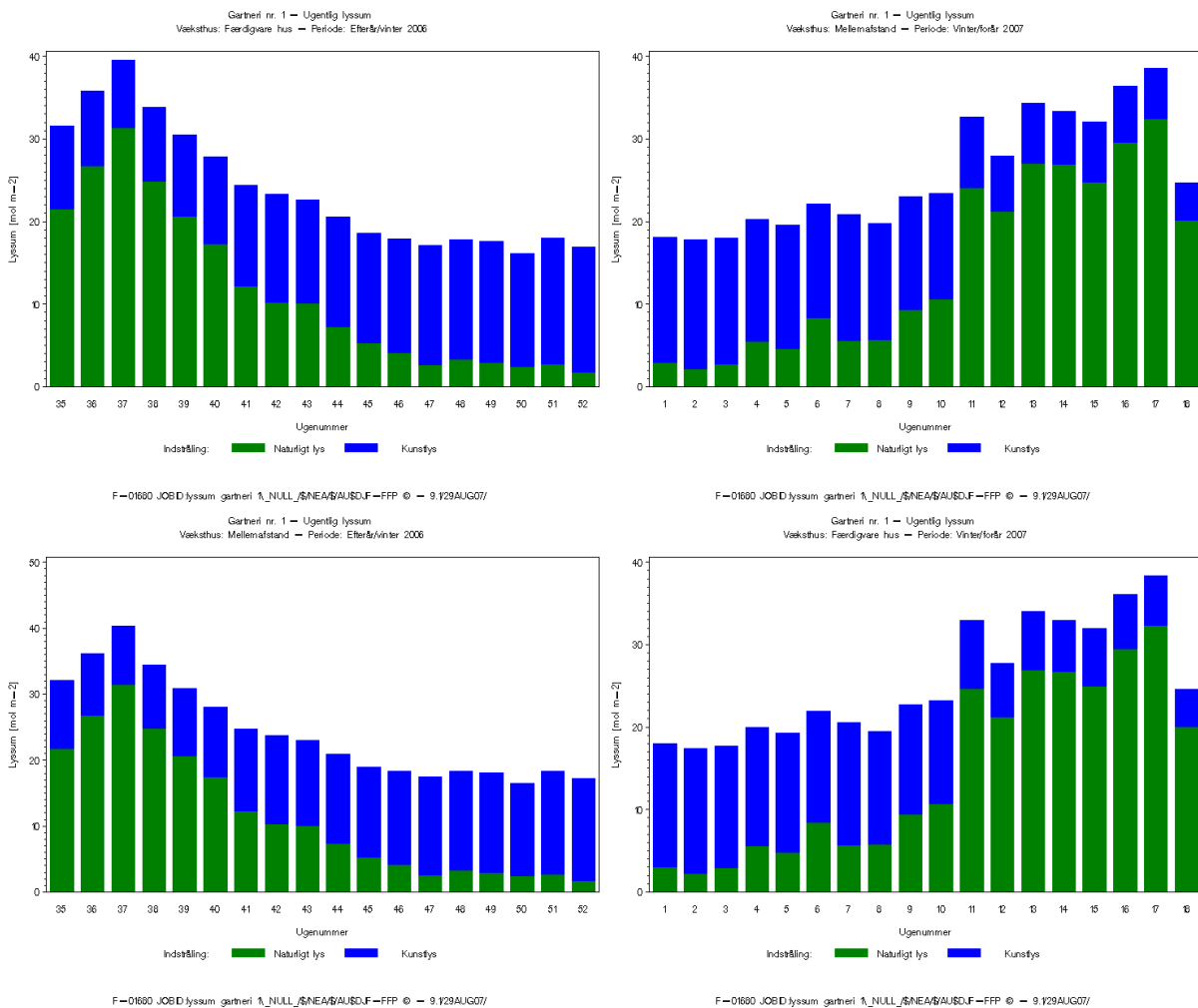
Salgskriterium og salgstidspunkt er ikke altid identisk for en given potted plante og der anvendes også forskellige kriterier afhængigt af, hvilket marked planterne sælges på. Går salget godt, sælges planter på et tidligere tidspunkt i forhold til det definerede salgskriterium; er afsætningen dårlig,

sælges, planter som er længere fremme i udvikling. Hvis forholdet mellem de lysforhold, som planterne udsættes for igennem produktionen, skal kunne relateres til vækst og udvikling, kræver, det at der opstilles målbare kriterier.

Gartneri nr. 1

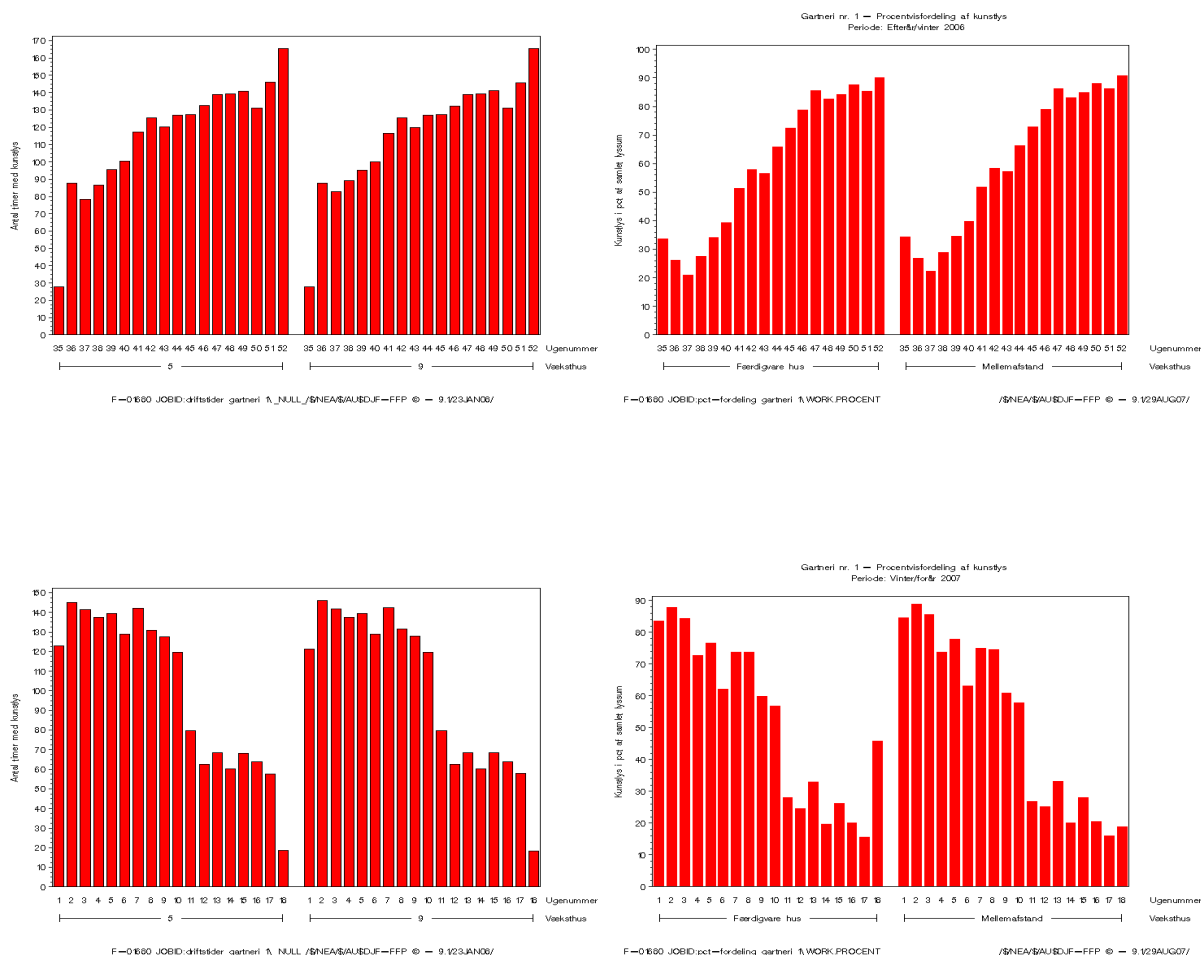
I gartneriet findes i et væksthuse en lysmåler monteret i plantehøjde. Måleren har været brugt til at kalibrere indstrålingsforholdene i væksthuse. Lystransmissionen er beregnet til 63 % og med et skyggegardin trukket for til 17 %. Det har ikke været muligt at fastlægge lystransmissionen med begge skyggegardiner trukket for, pga. få observationer. Globalindstrålingen fra føleren på vejrstationen er brugt til at beregne lysforholdene i væksthuse og samtidig er der foretaget en omregning fra Wm^{-2} til $\mu mol m^{-2} s^{-1}$. Lysudsendelsen fra kunstlysanlægget er baseret på gartneriets egne målinger og er opgivet til 102 og 105 $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ for de to væksthuse. I det ene væksthuse er der tottrins armaturer, hvilket der ikke er taget højde for i beregningerne.

De to øverste grafer (fig. 24) viser lyssummen i færdigvarehuset (sidste led i produktionen), opdelt i kunstlys og naturligt lys. De to nederste grafer viser lyssummen i væksthuse, hvor planterne står på mellemafstand (det led i produktionen, som giver planten sin form).



Figur 24. Lyssum for 2 væksthuse opdelt i lyssum af kunstlys og naturligt lys.

Der sker en markant ændring i forholdet mellem kunstlys og naturligt lys i uge 11 i 2007, mens der er en mere glidende ændring i forholdet mellem naturligt lys og kunstlys i efteråret 2006. Nedenstående figurer (fig. 25) viser driftstiden (venstre) og kunstlysets andel (højre) af den samlede lyssum, hvor den øverste figur viser stigningen i efteråret og den nederste figur faldet i foråret i de 2 væksthuse.

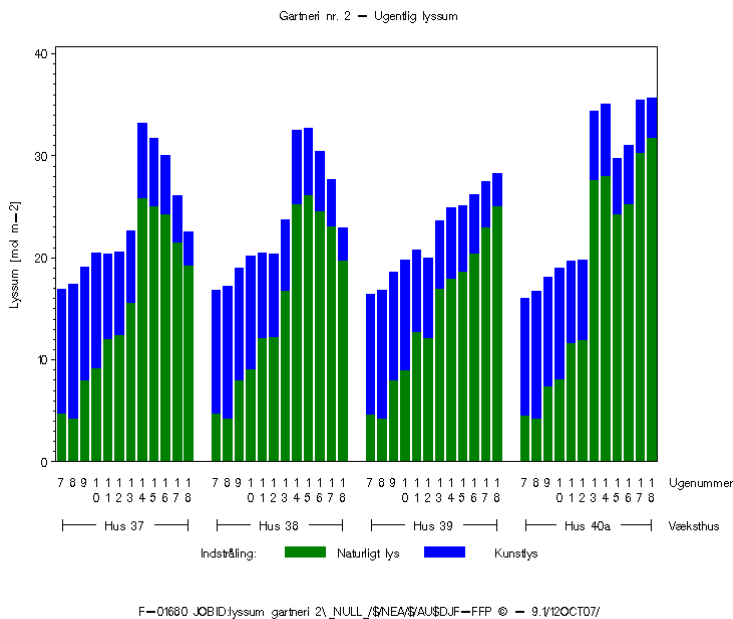


Figur 25. Driftstider (venstre) og kunstlyсандel af den samlede lyssum (højre) efterår og vinter.

Der er en jævn stigning i driftstiden og i kunstlyсандelen af den samlede lyssum om efteråret. Der er nogle mere markante ændringer i de to ovennævnte forhold om vinteren, i de 10 første uger af året er niveauet stabilt, men fra uge 11 og frem sker der en markant ændring.

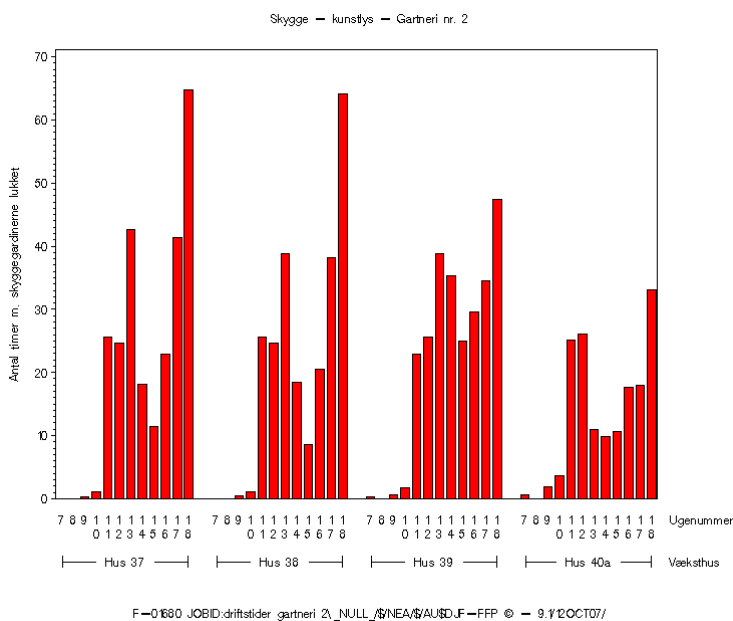
Gartneri nr. 2

Ved beregning af lyssum er der brugt nogle forudsætninger, som ikke kan verificeres, da der ikke findes målinger i plantehøjde i gartneriet. Ved beregningerne er der brugt en lysgennemgang for væksthusekonstruktionen på 65 %, som er valgt ud fra væksthusekonstruktionstype. Reduktion i lysintensitet med skyggegardinerne lukket er sat til 20 %, hvilket er fastsat ud fra det anvendte gardinmateriale. Der foreligger lysmålinger af kunstlysanlæggets lysudsendelse og den er målt til et gennemsnit på $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Lyssummerne er beregnet for samme periode, som der er udført forsøg med *Campanula*.



Figur 26. Lyssum fordelt på naturligt lyssum og lyssum fra kunstlysanlæg.

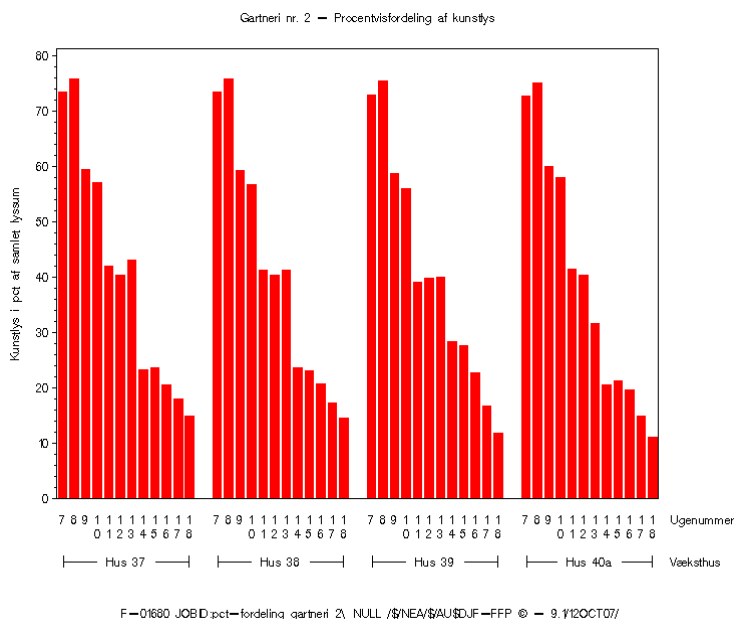
Der er ikke helt samme naturlige lyssum i alle fire væksthuse, men i de indsamlede data er der kun få manglende observationer og derfor skyldes forskellene ikke dette forhold (fig. 26).



Figur 27. Antal timer med skyggegardinerne lukket.

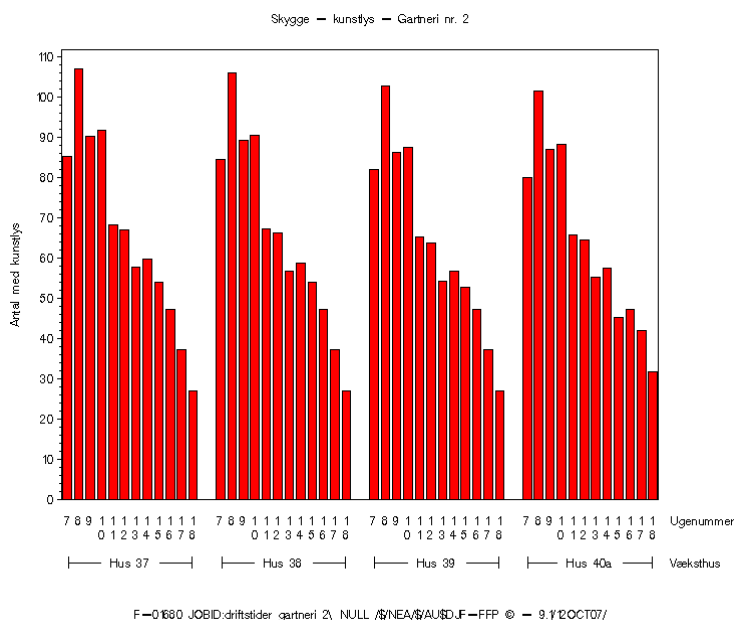
Forskellen mellem lyssummerne skal findes i antallet af timer som skyggegardinerne har været brugt (fig. 27). Samtidig kan det ses, at der er et stort potentiale for at få en større lyssum ved at ændre sætpunktet for skygning. En ændring af sætpunktet for skygning vil ændre andelen af naturligt lys i den samlede lyssum. En ændring i sætpunktet for skygning påvirker ikke driftstiden på kunstlysanlægget, hvis der ikke bruges lyssumstyring.

Det interessante er, at selv om der er forskelle mellem de enkelte væksthuse, bliver den procentvise andel af kunstlys i den samlede lyssum stort set den samme (fig. 28).



Figur 28. Lyssum af kunstlys i procent af den samlede lyssum.

Indstillingen af klimacomputeren er ens i de 4 væksthuse og giver derfor meget identiske driftstider (fig. 29).



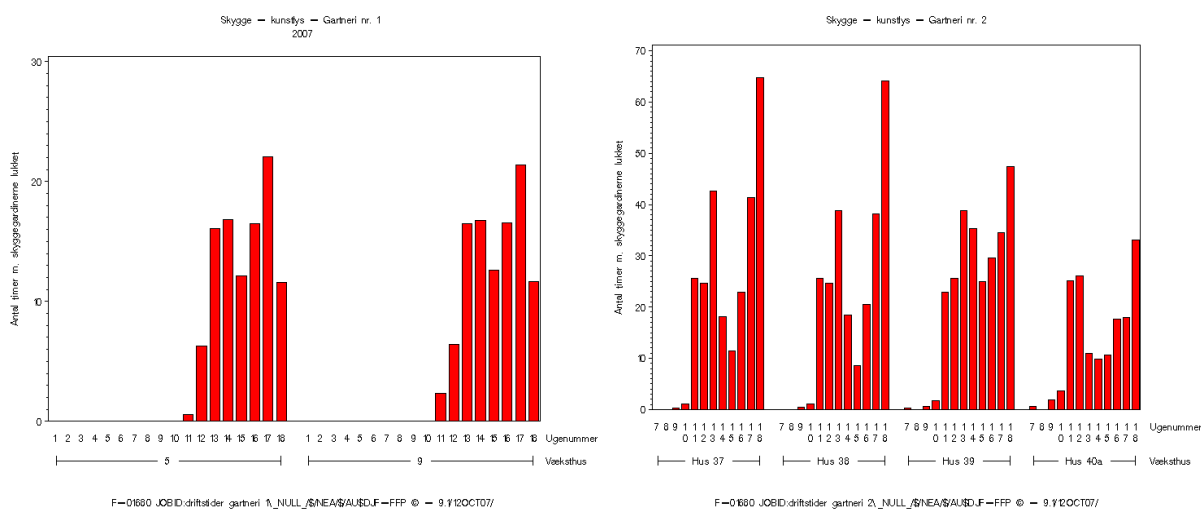
Figur 29. Antal driftstimer på ugebasis for kunstlysanlægget.

Sammenligning mellem gartnerierne

De to gartnerier er ikke direkte sammenlignelige, men der er et enkelt punkt hvor det er muligt at foretage en sammenligning. Der er kun set på data for foråret 2007, da det her er muligt at foretage en sammenligning på ugebasis.

Anvendelse af skyggegardinet har afgørende betydning for lyssummen, men fra at skyggegardinerne ikke har været brugt og til at de tages i brug, betyder, at der sker en markant ændring i de naturlige lysforhold.

For begge gartnerier gælder, at brugen af skygge starter uge 10-11, men antallet af timer der skygges er meget forskellig (fig. 30).



Figur 30. Antal timer (decimaltimer) med skyggegardinerne lukket pga. af høj indstråling (gartneri 1 til venstre). Obs: akserne er ikke ens.

Det må antages at en del af forskellene skyldes forskellige niveauer for skygning, men forsinkelser i åbning af skyggegardinerne og især akkumulerende forsinkelser kan give meget store forskelle i antallet af timer, hvor skyggegardinerne er unødigt lukket.

Kunstlysandel i den samlede lyssum

I forsøgene med produktion af potteplanter er det ikke muligt at komme frem til en klar og entydig bestemmelse af, hvornår kunstlys skal anvendes. Planter har stor plasticitet i deres tilpasning og derfor er det mere nærliggende at fastlægge brugen af kunstlys indirekte. Det er tydeligt i de indsamlede data i projektet, at der sker en markant ændring i de naturlige lysforhold i marts måned. Der er ikke så markant en ændring i efteråret, men der sker en ændring i de naturlige lysforhold i oktober måned. De ovenstående forhold gør sig gældende for data indsamlet i gartnerierne og i forsøgene i projektet. I de to nedenstående tabeller (tabel 13 & 14) er data indsamlet i forsøgene, opstillet for den samlede lyssum og kunstlysandelen.

Tabel 13. Lyssum for den samlede lyssum af kunstlys og naturligt lys og kunstlysets andel i den samlede lyssum i efterårsmånederne 2005 og 2006.

År	2005		2006	
	Samlet lyssum (mol m ⁻²)	Kunstlysandel (%)	Samlet lyssum (mol m ⁻²)	Kunstlysandel (%)
41	52,6	15,9	-	-
42	45,5	32,2	37,2	39,3
43	42,8	38,4	49,1	43,7
44	37,8	44,9	48,6	52,1
45	17,2	56,1	41,7	61,7
46	38,0	38,6	39,4	67,1
47	31,0	67,3	36,5	78,8
48	31,0	65,6	36,0	65,0
49	28,6	78,5	36,2	81,1
50	23,0	68,8	35,7	79,8
51	22,3	66,5	35,0	78,9
52	15,8	50,6	39,7	86,3

I efteråret sker en jævn stigning i kunstlysandelen, men den samlede lyssum udviser et fald (tabel 13). Den aftagende lyssum skyldes lavere og lavere solhøjde og kortere og kortere dage. Selv om driftstiden på kunstlysanlægget forøges, er det ikke muligt med en fuldstændig kompensation. Der er variation i lyssummen, som skyldes vejrforhold, da skydækket har betydning for lysintensiteten.

Tabel 14. Lyssum for den samlede lyssum af kunstlys og naturligt lys og kunstlysets andel i den samlede lyssum i vintermånederne 2006 og 2007.

År	2006		2007	
	Samlet lyssum (mol m ⁻²)	Kunstlysandel (%)	Samlet lyssum (mol m ⁻²)	Kunstlysandel (%)
1	27,4	78,2	-	-
2	28,0	67,7	-	-
3	20,0	54,7	-	-
4	36,1	42,8	-	-
5	33,2	45,6	-	-
6	38,0	54,4	-	-
7	42,2	51,0	-	-
8	38,6	42,4	42,5	59,7
9	52,6	21,6	45,3	50,8
10	63,4	17,1	53,6	42,6
11	50,5	22,2	68,6	14,5
12	56,9	15,6	57,1	24,6
13	36,1	28,9	69,9	18,7
14	51,8	15,8	67,5	19,8
15	57,8	11,8	64,7	18,8
16	56,1	9,0	68,5	19,8
17	64,8	7,2	76,6	13,9
18	53,2	3,4	79,5	11,1

I vintermånederne sker der en mere markant ændring i de naturlige lysforhold i begyndelsen af marts. Ændring i lysforholdene skyldes ikke alene, at daglængden for alvor begynder at tiltage, men også det forhold at nedbørsmængden i marts er blandt de mindste. De naturlige lysforhold forbedres også, ved at vanddampmængden i luften samtidig er lille.

Konklusion

Det er muligt og uden væsentligt produktionstab at reducere brugen af kunstlys i det tidlige efterår og i slutningen af vinteren. Ved at starte brugen af kunstlys senere og slutte tidligere kan der ske en reduktion på ca. 400 timer på årsbasis. Ved at udnytte de faciliteter, som findes i klimacomputeren til styring af kunstlys, kan der yderligere ske en reduktion af driftstiden.

Ud fra resultaterne af de gennemførte forsøg er det ikke muligt at give en evident regel for, hvornår de naturlige lysforhold betinger brugen af kunstlys ved planteproduktion i væksthuse. I stedet kan den sunde fornuft tages i anvendelse, og ved at analysere sig frem til forholdene omkring naturligt lys og kunstlys, at træffe beslutning om anvendelse eller ej. Ved at følge udviklingen, f.eks. på ugebasis er det muligt at fastsætte en grænse, f.eks. på 20 til 25 %, som værende det minimum, som kunstlysandelen skal udgøre af den samlede lyssum. Gartnerierne kan for at forbedre beslutningsgrundlaget opstille veldefinerede kriterier for vækst og udvikling af planterne, og sammenholde dem med lysforholdene.

Litteratur

Andersson, N.E. & Skov, O. 1991. The influence of permeability and shade factor of the shading screen material on air and canopy temperature. *Gartenbauwissenschaft* 56:180-184.

Benn, W. 1986. Zur Bedeutung des luftaustausches für die pflanzenschutzmittelapplikation im kaltnebelverfahren in gewächshäusern. *Agratechnik* 36:228-230.

Challa, H. & Schapendonk, A.H.C.M. 1984. Quantification of effects of light reduction in greenhouses on yield. *Acta Horti* 148:501-510.

Fernandez, J.E. & Bailey, B.J. 1992. Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agric. Forest Meteorol.* 58:229-245.

Gustafsson, G. & Weich, R. 1991. Fukt- och koldioxidbalanser för växthuskulturer. Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Rapport 72, ISSN 0348-0259 pp. 64.

Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Unwin Hyman ISBN 0-04-445372-8 pp.112.

Linker R. & Seginer, I. Greenhouse crop water stress detection via dynamic excitation. Paper no. 00-SW-011, *AgEng* 2000, pp. 9.

Matthews, R.B., Marshall, B., Saffel, R.A. & Harris, D. 1987. Computer control of carbon dioxide concentration in experimental glasshouse and its use to estimate net canopy photosynthesis. *Agric. For. Meteorol.* 40:279-292.

Mortensen, L.M. & Olsen, R. 1987. Light acclimatization of some foliage plants. *Gartenbauwissenschaft* 52:157-161.

Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, F. & Boulard, T. 1996. Measurement and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side openings. *J. agric Engng Res.* 63:219-228.

Beregningsmetode til vurdering af kunstlysets betydning i den samlede lyssum

(Projektidentifikation: 336-084, 464-03, 615-0008)

Niels Erik Andersson, Aarhus Universitet, Institut f. Havebrugsproduktion

Indledning

I gartnerier med klimacomputer er det muligt at indsamle informationer om klima og indstrålingsforhold, men fabrikkerne af klimacomputere leverer ikke et analyseværktøj. Det betyder, at gartneren kun umiddelbart har adgang til de kurver eller udskrifter af klimadata, som er standard for systemet, og som i ubehandlet form ikke kan anvendes til at træffe en afgørelse med, f.eks. beslutningen om, hvornår brugen af kunstlys skal starte om efteråret og stoppes i foråret.

Lyssum

For at få et indtryk af, hvor meget lys planterne modtager i løbet af produktionen, kan der udregnes en lyssum. Lyssummen kan også vise, hvor stor variationen er over året og hvilken andel kunstlyset udgør af den samlede lyssum. Ved at beregne en lyssum fås samtidig et beslutningsgrundlag for, hvornår på året det kan betale sig at bruge kunstlys.

Klimacomputerne kan regne en lyssum ud, men den bliver ikke i alle tilfælde rigtig, fordi der ikke tages hensyn til at beregne på den del af lyset, som er den fotosynteseaktive del. Hvis lyssummen skal beregnes, må data udtrækkes fra klimacomputeren og efterbehandles.

Dataredundans

Udtrækning af data fra klimacomputeren til videre behandling giver ikke store problemer, hvorimod den efterfølgende databehandling kan give problemer, hvis datamængden er stor. I de fleste tilfælde lagres data enten hvert minut eller hver femte minut. Det giver enten 60 observationer eller 12 observationer pr. time eller 1440 eller 288 observationer pr. døgn. Store datamængder vil være mere tidskrævende at analysere og arbejdet vil derfor ikke blive udført. Ved en måneds data er det ikke længere muligt at overskue data og muligheden for at få nyttige oplysninger er ikke længere til stede. Anvendelse af dataredundans er derfor nødvendigt for at relevante informationer kan frembringes hurtigt, men samtidig kan det give problemer med pålideligheden af informationerne. Ved kun at have én observation pr. time vil der i overgangsperioderne mellem dag og nat og nat og dag blive usikkerhed på driftstiden af kunstlysanlægget og på, hvor længe isoleringsgardinerne har været trukket for og fra. Indikationen for, om kunstlys er tændt, er enten 0 eller 1 og positionen af isoleringsgardinet antager heltallige værdier mellem 0 og 100, hvor 100 er helt trukket for. For at finde den fejl, der begås ved at foretage dataredundans, er lyssumsberegninger, foretaget hvert femte minut, blevet sammenlignet med beregninger, baseret på timeværdier. Beregningen er foretaget på data for en 4 måneders periode, baseret på data hentet i et gartneri. Antallet af observationer reduceres fra 288 til 24 pr. døgn. Fejlene er beregnet på dags-, uge- og månedsbasis. Ved at sætte beregninger, foretaget på 5 minutters observationer, til 100 %, kan den procentvise afvigelse med timeværdier findes. En positiv afvigelse, betyder at der sker en overestimation, og en negativ værdi, at der sker en underestimation.

Tabel 1. Afvigelse mellem lyssum beregnet på 5 minutters værdier og på timeværdier opdelt efter beregning på døgn-, uge- eller månedsbasis.			
Lyssum	Gns.	Min.	Max.
Døgn			
Samlet lyssum i plantehøjde	0,9	-22,1	10,7
Lyssum - naturligt lys	-2,0	-48,9	13,6
Lyssum – kunstlys	5,1	-4,3	30,8
Uge			
Samlet lyssum i plantehøjde	0,8	-2,1	3,6
Lyssum - naturligt lys	-2,0	-8,0	3,3
Lyssum – kunstlys	5,7	-4,0	21,7
Måned			
Samlet lyssum i plantehøjde	0,6	-1,7	2,3
Lyssum - naturligt lys	-1,7	-4,5	1,0
Lyssum – kunstlys	4,3	1,7	6,8

Af tabel 1 ses, at lyssummen i plantehøjde, beregnet på timeværdier, afviger under 1 % fra lyssummen, beregnet på fem minutters værdier. Den største procentvise afvigelse opstår ved beregning af lyssummen for kunstlys og det skyldes, at driftstiden bestemmes meget dårligt ved brug af timeværdier (tabel 1). Ved variation i den naturlige indstråling vil kunstlys tænde og slukke flere gange og der sker en overestimation af lyssummen fra kunstlys. Når det får en forholdsvis lille indflydelse på lyssummen i plantehøjde, skyldes det at kunstlys i nogle perioder udgør en meget lille del af den samlede indstråling. Der er også en stor afvigelse på den naturlige lyssum, men den mindskes markant med længden af den periode, hvor den beregnes over.

Det er muligt at få et godt estimat af den samlede lyssum, som planterne modtager, med beregninger foretaget på timeværdier.

Enheder og omregninger

I belysning bruges enheden Lux som udtryk for lysintensiteten. Lux er en måling, som tager hensyn til det menneskelige øjes lysfølsomhed i relation til spektralsammensætningen af lys. Planter udnytter lys i samme bølglængdeområde som mennesker (300 – 700 nm), men absorptionen er tilnærmelsesvis lineær i hele bølglængdeområdet. Kunstlyskilder har ikke samme spektralsammensætning som sollys, og ved måling i lux kan lampetypens effekt på fotosyntesen ikke altid vurderes korrekt. I plantefysiologien bruges antal fotoner i bølglængdeområdet 300 – 700 nm til at udtrykke mængden af fotosynteseaktivt lys, hvor enheden er mikromol pr. kvadratmeter og sekund ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). For at få fælles udtryk for den samlede fotosynteseaktive lysintensitet, som planter modtager fra naturligt lys og kunstlys, er det nødvendigt at foretage en omregning og den sker normalt på baggrund af erfaringsværdier. Som udgangspunkt for naturligt lys bruges globalstrålingen (300 – 3000 nm, Wm^{-2}), som måles på gartneriets vejrstation. Omregningsfaktoren fra Wm^{-2} til $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ er ca. 2, og varierer mellem 1,9 og 2,1. Omregning af kunstlys baseres på højtryksnatriumlampen, da det er den lampetype, som anvendes til plantebelysning i gartnerierne. Det erfaringsmæssigt bedste udtryk for fotosynteseaktivt lys fås ved at bruge den installerede elektriske effekt pr. arealenhed og omregningsfaktoren ligger mellem 1,4 til 1,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pr. installeret W pr. kvadratmeter væksthud. Hvis højtryksnatriumlampen har en

wattage på 400 W, bruges omregningsfaktoren 1,4, mens den er 1,6 for wattager på 600 W og derover.

Lysforhold i væksthuse

Klimacomputeren henter sine informationer fra sensorer i de enkelte væksthuse og på vejrstationen. Lysforholdene i et væksthuse afhænger af flere forhold. Den mængde lys som kommer ind i væksthuset afhænger af væksthusekonstruktionen og moderne væksthuse har typisk en lystransmission, som er større end 65 %, mens ældre væksthuse ligger på ca. 50 % eller der under. I potteplantegartnerier bruges skyggegardiner og gardinmaterialet har en lystransmission på mellem 15 og 50 %. Når skyggegardinerne er trukket for, er der kun ca. 20 % tilbage af lyset i forhold til udenfor. Kunstlysanlægget har forskellig størrelse med hensyn til lysafgivelse og er i mange tilfælde afpasset efter den plantearart, som dyrkes i gartneriet, men typisk installeres ca. 40 Wm^{-2} i elektrisk effekt.

De nødvendige data

De informationer, som kan fås fra klimacomputeren, er:

Indstråling udendørs (Wm^{-2})
Kunstlystilstand (tændt (1) eller slukket (0)) eller opsummeret driftstid for kunstlysanlægget
Position af gardiner (0-100 % eller 0/1)

Det er muligt at indlægge konstanter for det enkelte væksthuse:

Glasgennemgangsfaktor
Skyggevirksomhed af gardin
Lysintensitet fra kunstlysanlægget

Hvis de sidstnævnte konstanter indsættes i klimacomputeren, f.eks. hvis de er nødvendige for styringen, skal der tages forbehold for dette i de efterfølgende beregninger. I nogle klimacomputersystemer er det muligt både at opsamle de korrigerede og ukorrigerede værdier for indstrålingen udendørs. Anbefalingen er at bruge ukorrigerede værdier og foretage den nødvendige korrektion i den efterfølgende beregning af lyssummen.

Beregning af lyssum

Det er yderst sjældent, at lysintensiteten måles i plantehøjde og dermed giver et udtryk for, hvor meget lys planten modtager. For at kunne beregne lyssummen i plantehøjde er det nødvendigt at tage hensyn til de faktorer og reguleringen, som har indflydelse på lysintensiteten i plantehøjde. Ved brug af timeværdier ved beregning er det nødvendigt at foretage nogle korrektioner af tilstandsværdierne, dvs. gardinposition og evt. kunstlystilstand. Hvis f.eks. gardinpositionen ikke er 0 eller 100 %, bør det vurderes, om skyggegardinet er ved at blive trukket fra eller for. Om morgenen korrigeres værdien til 100 % (eller 1), fordi gardinet har været lukket i den foregående time. Det modsatte forhold gør sig gældende om aftenen, hvor værdien sættes til 0, da gardinet har været åbent i den foregående time.

For mørklægningsgardiner gælder den specielle regel, at når de er trukket for, er lysintensiteten i plantehøjde 0.

I nogle klimacomputersystemer udlæses flere tilstandsværdier for kunstlys end blot 0 og 1 og de andre værdier angives typisk i forbindelse med forsinkelse af tænding og slukning.

Tilstandsværdierne skal korrigeres til 0 eller 1 ud fra, om kunstlys reelt er tændt eller slukket. I de tilfælde hvor klimacomputeren selv opsummerer driftstiden på kunstlyset, er det den absolut bedste at bruge i beregningerne.

Beregningen sker i følgende 7 trin:

- 1) Først omregnes lysintensiteten udendørs til $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ og lysintensiteten under glasset beregnes [formel 1]
- 2) Herefter beregnes lysintensiteten under gardinet [formel 2]
- 3) Herefter omregnes kunstlyset til $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ og lysintensiteten fra kunstlysanlægget beregnes [formel 3]
- 4) Indstrålingen i plantehøjde fås fra 2 eller 3 og 4 [formel 4]
- 5) Lyssummen (mol m^{-2}) pr. time fås ved at gange formel 4 med 3600^2 og dividere med $1.000.000^3$ [formel 5]
- 6) Den samlede lyssum for en given periode fås ved at lægge timeværdierne sammen for perioden.
- 7) Den procentvise andel af kunstlys i den samlede lyssum findes ved at dividere lyssummen af kunstlys med den samlede lyssum og gange med 100 [formel 6].

Formel 1 – Lystransmission i konstruktion og lysintensitet i væksthuset:

$$I_c = \tau_c \cdot I_o \cdot 2 \quad [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

Formel 2 – Lystransmission gennem skyggegardin:

$$I_s = \tau_s \cdot I_c \cdot \Phi_s \quad [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

Formel 3 – Lysintensitet fra kunstlys

$$I_a = P_l \cdot \Phi_l \cdot 1,5 \quad [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$$

Formel 4 – Indstråling i plantehøjde under hensyntagen til skyggegardinets position:

Med skyggegardinet trukket fra: $I_p = I_c + I_a \quad [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$

Med skyggegardinet trukket fra: $I_p = I_s + I_a \quad [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$

Formel 5 – Lyssum pr. time:

$$S_p = \frac{3600 \cdot I_p}{1.000.000} \quad [\text{mol m}^{-2}]$$

Hvis driftstiden på kunstlysanlægget bruges, ændres formlerne 3 og 5 og formel 4 udelades.

² 1 time er 3600 sekunder

³ Fra μmol til mol

Formel 3a – Lyssum fra kunstlysanlægget:

$$S_a = \frac{3600 \cdot T \cdot I_a}{1.000.000} \quad [\text{mol m}^{-2}]$$

Formel 5a – Lyssum pr. time:

Skyggegardinet trukket fra:

$$S_p = \frac{3600 \cdot I_c}{1.000.000} + S_a \quad [\text{mol m}^{-2}]$$

Eller skyggegardinet trukket for Formel 5b:

$$S_p = \frac{3600 \cdot I_s}{1.000.000} + S_a \quad [\text{mol m}^{-2}]$$

Formel 6 - Andelen af kunstlys i den samlede lyssum:

$$R = 100 \cdot \frac{\sum_1^n S_a}{\sum_1^n S_p}$$

Notation

I_o Indstråling udendørs i Wm^{-2}

I_c Indstråling i væksthuset i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

I_s Indstråling under skyggegardinet i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

I_p Indstråling i plantehøjde i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

I_a Indstråling fra kunstlysanlægget i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

τ_c Transmissionskoefficient af væksthusekonstruktion

τ_s Transmissionskoefficient af skyggegardin

Φ_s Tilstandsfunktion for skyggegardin, 1 når skyggegardinet er trukket for og 0 når det er trukket fra ($I_s=I_c$)

Φ_l Tilstandsfunktion for kunstlys, 1 når kunstlyset er tændt og 0 når det er slukket.

P_l Installeret elektrisk effekt af kunstlys pr. kvadratmeter

S_p Lyssum i plantehøjde i mol m^{-2}

S_a Lyssum af kunstlys i mol m^{-2}

T Driftstid af kunstlys i timer

R Procentdel af kunstlys i den samlede lyssum

Beregningseksempel

Data er indsamlet på en DGT-Volmatic klimacomputer og indsamlet på timebasis. De indsamlede data er:

1. Indstråling udendørs i Wm^{-2}
2. Gardinposition
3. Driftstid for kunstlysanlægget

Beregningsformler til EXCEL

I nedenstående figur er vist et regneark, hvor data fra klimacomputeren er indlæst fra række 10 og i 5 kolonner (Fig. 1). Forudsætningerne, som er karakteristiske for væksthuset, er angivet i kolonne A2 til B4. Følgende beregningsformler er brugt til beregning af lyssum ud fra lys udendørs, gardinposition og driftstid af kunstlysanlæg:

Beregning af driftstid ud fra kode 678 i LCC1200 serien (Kolonne F): $=10*E10-10*E9$

Beregning af fotosynteseaktivt lys i væksthud på baggrund af lyset udendørs i kode 56 (Kolonne G:) $=B\$3*C10*2$

Beregning af fotosynteseaktivt lys under skyggegardinet (Kolonne H): $=B\$4*G10$

Beregning af den aktuelle fotosynteseaktive lysintensitet i plantehøjde sker under hensyntagen til positionen af skyggegardinet fundet i kode 590 (Kolonne I): $=HVIS(D10>50;H10;G10)$

Beregning af lyssummen fra kunstlys sker under hensyntagen til driftstiden (Kolonne J): $=3600*F10*1,5*B\$2/1000000$

Beregning af den samlede lyssum sker ved at beregne den naturlige lyssum og lægge lyssummen fra kunstlysanlægget til (Kolonne K): $=(3600*I10/1000000)+J10$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Forudsætninger						Formel 1	Formel 2	Formel 4	Formel 3a	Formel 5a/b
2	Vækstlys	40	Watt/m2				lc	ls	lc/ls	Sa	Sp
3	Lystransmission væksthuse	0,6				Driftstid i timer	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}1$	$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}1$	Hvis gardinet er lukket mere end 50% reduceres lysintensiteten	mol/m2	mol/m2
4	Lystransmission skyggegardin	0,2									
5		DGT data									
6			Lys udendørs	Gardin position	Driftstid						
7	Dato	tid	56	590	678						
8											
9						$=10^*e10-10^*e9$	$=\$b\$3*c10^*2$	$=\$b\$4*g10$	$=\text{hvis}(d10>50;h10;g10)$	$=3600*f10*1,5*\$b\$2/1000000$	$=(3600*i10/1000000)+j10$
10	30-11-2007	09:00	20	100	0,1	1	24	4,8	4,8	0,216	0,23328
11	30-11-2007	10:00	24	0	0,1	0	28,8	5,76	28,8	0	0,10368
12	30-11-2007	11:00	94	0	0,1	0	112,8	22,56	112,8	0	0,40608
13	30-11-2007	12:00	110	0	0,1	0	132	26,4	132	0	0,4752
14	30-11-2007	13:00	71	0	0,1	0	85,2	17,04	85,2	0	0,30672
15	30-11-2007	14:00	4	0	0,1	0	4,8	0,96	4,8	0	0,01728
16	30-11-2007	15:00	6	0	0,2	1	7,2	1,44	7,2	0,216	0,24192
17	30-11-2007	16:00	0	100	0,3	1	0	0	0	0,216	0,216
18	30-11-2007	17:00	0	100	0,4	1	0	0	0	0,216	0,216
19	30-11-2007	18:00	0	100	0,5	1	0	0	0	0,216	0,216
20	30-11-2007	19:00	0	100	0,6	1	0	0	0	0,216	0,216
21	30-11-2007	20:00	0	100	0,7	1	0	0	0	0,216	0,216
22	30-11-2007	21:00	0	100	0,8	1	0	0	0	0,216	0,216
23	30-11-2007	22:00	0	100	0,8	0	0	0	0	0	0
24	30-11-2007	23:00	0	100	0,8	0	0	0	0	0	0

Figur 1. Regneark med data fra klimacomputer og lyssumsberegninger.

Periodens samlede lyssum og kunstlysandelen i den samlede lyssum beregnes ved at summere de enkelte timeværdier i kolonne J og K og derefter tage det procentvise forhold mellem kolonne J og K.

203	08-12-2007	10:00	30	0	8,7	0	30	12	30	0	0,216
204	08-12-2007	11:00	36	0	8,7	0	43,2	8,64	43,2	0	0,15552
205	08-12-2007	12:00	116	0	8,7	0	139,2	27,84	139,2	0	0,50112
206	08-12-2007	13:00	95	0	8,7	0	114	22,8	114	0	0,4104
207	08-12-2007	14:00	49	0	8,7	0	58,8	11,76	58,8	0	0,21168
208	08-12-2007	15:00	13	0	8,8	1	15,6	3,12	15,6	0,216	0,27216
209	08-12-2007	16:00	0	0	8,8	0	0	0	0	0	0
210	08-12-2007	17:00	0	100	8,9	1	0	0	0	0,216	0,216
211									Lyssum	19,224	26,859168
212											
213									Kunstlysandel	71,573326	
214											

Figur 2. Lyssum for kunstlys og den samlede lyssum og kunstlysandelen som procent af den samlede lyssum.