

Undersøgelser af vækstfaktorer ved produktion af potteplanter (*Hedera*) i væksthushus

IV. Sammenligning af indstråling i og uden for et væksthushus*)

*Investigations on growth factors in the production of pot plants (*Hedera*)
under glasshouse conditions*

*IV. The comparison of solar radiation inside
and outside a glasshouse*

Frank Hejndorf og Kristian Kristensen

Resumé

Gennem en sommer- og en vinterperiode målt kortbølget global indstråling samtidig uden for og inden i et væksthushus, i hvilket *Hedera canariensis* Willd. blev dyrket i pletter anbragt på borde. Mellem 40% og 60% af indstrålingen udenfor nåede planterne i væksthushuset. Den procentdel, som planterne modtog, var i gennemsnit større om vinteren end om sommeren og i gennemsnit større i gråvejrs end i solskin.

Om sommeren samt i solskin om vinteren blev der målt en mindre indstråling ved planterne end over varmerørene. Derimod var indstrålingen de 2 steder stort set ens i gråvejrs om vinteren. På grund af planternes oprette vækst modtager fritstående planter imidlertid en større indstråling end angivet ved måling med en horisontalstillet indikator. Dette er illustreret ved beregning på grundlag af en kegleformet model af en *Hedera*-plante: Ved en solhøjde på 12° modtager denne model en indstråling, som kan være op til ca. 7 gange større, end en beregning baseret på plantens grundflade.

Nøgleord: Indstrålingsmåling, årstider, planteoverflade, væksthushus.

Summary

During one period in summer and one in winter, the short wave global radiation was measured concurrently outside and inside a glasshouse, in which *Hedera canariensis* Willd. was grown in pots placed on tables. Between 40 and 60 per cent of the outside radiation reached the plants in the glasshouse. The percentage global radiation reaching the plants was, on an average, larger in the winter than in the summer period and, on an average, larger in cloudy weather than in sunshine.

In the summer and in sunshine in the winter, less radiation was measured at the plant level than that measured by a solarimeter placed about 1,2 m above the top of the plants (Fig. 1, plates 1 and 2). On the other hand, in cloudy weather in the winter the radiation at the two places was, by and large, the same. Due to the upright growth of the plants, individual plants receive radiation greater than that measured

*) Publikation nr. 14 fra projektet: Vækstfaktorer til styring af optimal potteplanteproduktion (VSOP).

at certain heights by means of a horizontally positioned indicator. This is illustrated by computations on the basis of a cone shaped model of a *Hedera* plant. At a 12° altitude of the sun, the model is shown by computation to be exposed to a radiation which may be up to about 7 times greater than that received on the area of the base of the plant.

Key words: Measurement of global radiation, seasons, plant canopy, glasshouse.

Indledning

Den mængde lys, der når planterne, hvad enten de dyrkes på friland eller i væksthuse, er bestemmende for fordampning samt for stofproduktions størrelse og kvalitet, heri indbefattet planternes modstandskraft over for ydre skadelige påvirkninger og sygdomsangreb (*Butler and Downs, 1960*).

Ved dyrkning af planter i væksthuse må der regnes med et betydeligt lystab gennem glas og på grund af skyggeeffekter. Lystabet gennem rent væksthuseglas andrager omkring 10% (*Lawrence, 1963*), og det øges med stigende indfaldsvinkel. Ved en indfaldsvinkel på 60° er tabet således omkring 15% (*Boon, 1976*). Er glasset snavset, stiger tabet yderligere. Hertil kommer tabet på grund af skyggeeffekt og refleksion af sprogter, skotrender, rørinstallationer m.m. Dette tab er stort og varierende fra det ene væksthuse til det andet afhængig af konstruktion og beliggenhed, men varierer også inden for det enkelte væksthuse (*Edwards and Moultsley, 1958; Hack, 1960*). Den førstnævnte forfatter fandt, at grøftedage (diffust lys) gav en mere jævn fordeling af lyset i væksthuset end solskinsdage, således at skygge og refleksion syntes at være de væsentlige årsager til variationerne. Ved lysmålinger i modelhuse var lysgennemgangen relativt højere i grøftedage end i solskin (*Landgren, 1969*). *Hejndorf* (1966) undersøgte lystabet ved gennem et væksthuse tilplantet med opbundne agurker. Tabet ved planternes top var 55%. Sættes tabet gennem mere eller mindre snavset glas til 25–30%, var skyggeeffekten i dette tilfælde således skyld i et tab på 25–30%.

Ved undersøgelser af mulighederne for styring af vækstfaktorer til opnåelse af optimal planteproduktion i væksthuse, var det derfor rimeligt også at inddrage de aktuelle lysforhold som en del

af de to ernæringsforsøg med *Hedera canariensis* Willd. (*Willumsen og Pedersen, 1977*).

Materialer og metoder

Lysmålingerne er registreret med solarimetre af fabrikatet Kipp & Zonen, der måler kortbølget global indstråling med bølgelængder mellem 300 og 3.000 nm. Det indfaldende sollys omsættes til varme, og temperaturstigningen, der måles med termoelementer, opfattes som et udtryk for den indfaldne lysmængde. Termoelementer består af konstantan og manganin. Målebrætter, der er omkring 1 cm², er anbragt i en tallerken og beskyttet under et lufttæt, dobbelt, halvkugleformet kvartsdække. Der dannes en elektrisk spænding på 7–8 millivolt ved en indre ledningsmodstand på 8–10 ohm ved en indstråling på 697 W m⁻² (~ 1,0 cal cm⁻² min⁻¹). Nærmere oplysninger om dette målesystem er beskrevet af *Bener* (1951).

Der blev anvendt 3 justerede instrumenter af denne type i forsøget. Det anvendte væksthuse var



Foto 1. Væksthuse set fra den nordøstlige side. Numrene over firkanterne refererer til de 3 solarimeters placering.

Plate 1. The glasshouse seen from the northeast. The numbers refer to the position of the 3 solarimeters.



Foto 2. Den anden side af væksthuset set fra den nordvestlige side. Numrene over firkanterne refererer til de 3 solarimetres placering.

Plate 2. The other side of the glasshouse seen from the northwest. The numbers refer to the position of the 3 solarimeters.

inddelt i 3 celler, som hver var 10,0 m lange, 6,5 m brede, 3,8 m høje på midten og 2,0 m høje ved tremplerne. Væksthuset var orienteret med si-

derne mod øst og vest. Dets placering i forhold til omgivelserne samt husets opbygning og udseende er vist på foto 1 og 2. Se desuden figur 1 og 2, der viser væksthuset fra oven, fra siden og fra gavlen samt placeringen af solarimetrene.

Det ene solarimeter var anbragt på væksthushets rygning. De 2 øvrige solarimetre var placeret i den midterste celle. Det ene af disse sad i en højde af 2,20 m fra jorden (lige over varmerør og spær), 2,7 m fra cellens nordende og 2,7 m fra østsiden. Det andet var placeret i en højde fra jorden på 1,5 m (lige over planterne), 8,0 m fra cellens nordende og 1,7 m fra østsiden (fig. 2).

Data fra de 3 solarimetre blev opsamlet automatisk ved hjælp af en datalogger. Der blev indsamlet oplysninger fra hvert instrument hvert 10. minut døgnet rundt på en sådan måde, at en direkte EDB-behandling kunne foretages. 37 døgn af 46 mulige mellem 26. maj og 13. juli 1973 blev registreret uden systematiske fejl, og defineres som *sommerperiode*, og tilsvarende blev der registreret 68 døgn af 104 mulige mellem 24. november 1973 og 7. marts 1974 som defineres som

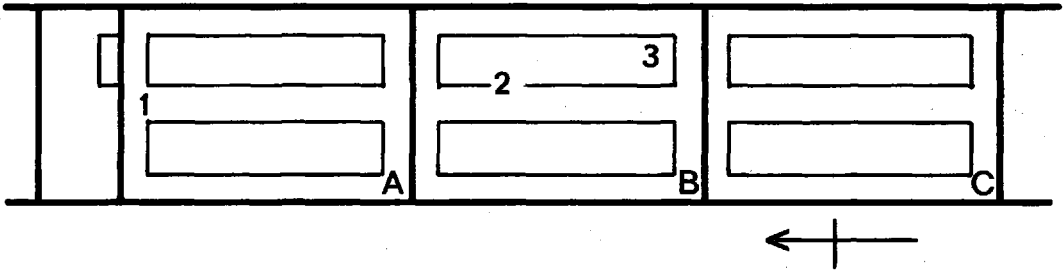


Fig. 1. Væksthuset set fra oven med dyrkningsbordenes placering. Sektionerne A og B har været anvendt til forsøgene. Numrene 1, 2 og 3 refererer til solarimetrenes placering.

Fig. 1. Plan view of the glasshouse showing the tables. Sections A and B only were used for the experiments. The positions of the solarimeters are indicated by 1, 2 and 3.

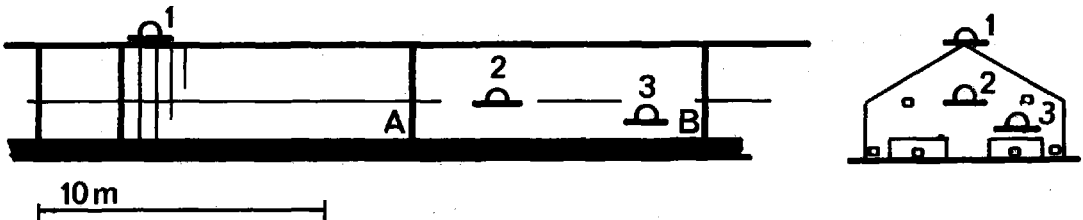


Fig. 2. Væksthuset set fra siden og fra gavlen med solarimetrenes placering.

Fig. 2. The glasshouse showing side view and end view and placing of the solarimeters.

vinterperiode. I disse i alt 105 døgn var det teoretisk muligt at indsamle 15.120 registreringer fra hvert instrument.

Ved en undersøgelse af indstrålingsforhold kan man imidlertid kun bruge registreringerne fra dagtimerne. Med den anvendte datalogger kunne man med rimelig sikkerhed kun måle spændinger, som var større end 0,08 mv. Der anvendtes derfor kun registreringer, hvor alle 3 solarimetre gav en spænding på mindst 0,08 mv (svarende til ca. 7 W m^{-2}). Registreringer, som var tydeligt fejlagtige, blev heller ikke medtaget.

Sommerperioden repræsenteredes af i alt 3.348 registreringer svarende til gennemsnitlig ca. 15 timers registrering pr. dag. Vinterperioden repræsenteredes af 1.622 registreringer svarende til gennemsnitlig ca. 4 timers registrering pr. dag. Det meget lave tal for vinterperioden skyldes, at indstrålingen på mørke dage undertiden ikke nåede op over den fastsatte grænse på ca. 7 W m^{-2} . Den 22. december måltedes således 6 W m^{-2} inde i huset (kl. 11.50).

For at undersøge forskelle mellem indstrålingsforhold i gråvejrs og i solskin, måtte registreringerne deles i solskins- og gråvejrperioder. Da anlægget ikke var udstyret med en solskinsregistrator, valgtes det at definere solskin og gråvejrs ud fra indstrålingen på taget. Vejret blev defineret som solskin, hvis indstrålingen på taget – omregnet til en flade vinkelret på solen – var større end 697 W m^{-2} ($\sim 1,0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$). Hvis den omregnede indstråling var mindre end denne værdi, blev vejret defineret som gråvejrs. Omregningen fra en vandret flade til en flade vinkelret på solen blev foretaget efter følgende formel:

$$I_{vi} = \frac{I_{va}}{\sin h}$$

- hvor I_{vi} = Indstråling vinkelret på solen
 I_{va} = Indstråling på en vandret flade
 h = Solhøjden (beregnet efter en algoritme)

De viste resultater er beregnet som gennemsnit af de observationer, der tilhører samme klokke-tid (minuttal 00, 10, 20, 30, 40 og 50).

Resultater

I solskin måltedes i samme klokke-tid ca. 3 gange større indstråling uden for væksthuset i sommerperioden end i vinterperioden (fig. 3). Men på grund af den længere daglængde modtog en solskinsdag i gennemsnit 4–5 gange større indstråling i sommerperioden end i vinterperioden. Tilsvarende gjaldt målinger i gråvejrs (fig. 4).

Den del af indstrålingen uden for væksthuset, som nåede planterne i væksthuset, var under alle forhold lille. I solskin var indstrålingstabet undertiden så stort som 70% (fig. 6 og 8), mens det i gråvejrs kun sjældent var større end 60% (fig. 5 og 7).

Om sommeren samt i gråvejrs om vinteren var indstrålingstabet størst sidst på eftermiddagen og mindst tidligt om morgenen (fig. 5, 6 og 7). Dette asymmetriske forhold skyldes muligvis, at solarimetrene ikke var placeret midt i væksthuset (fig. 2). Desuden vil indfaldsvinklen for de stråler, som

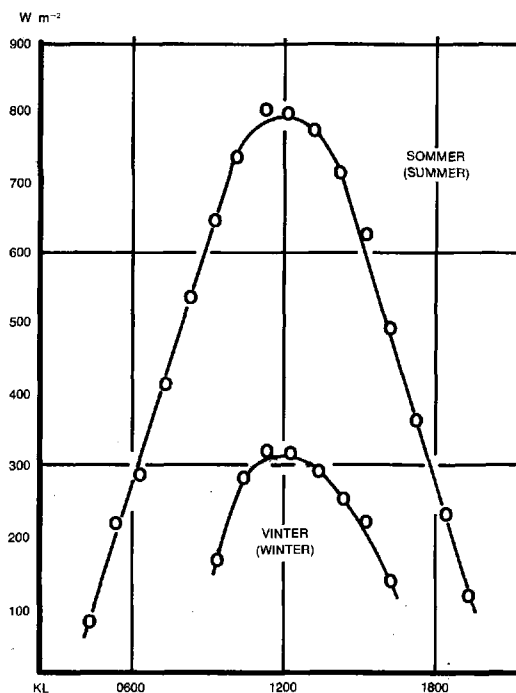


Fig. 3. Indstråling sommer og vinter målt i solskin på rygningen af væksthustag.

Fig. 3. Radiation in summer and winter measured in sunshine on top of the glasshouse.

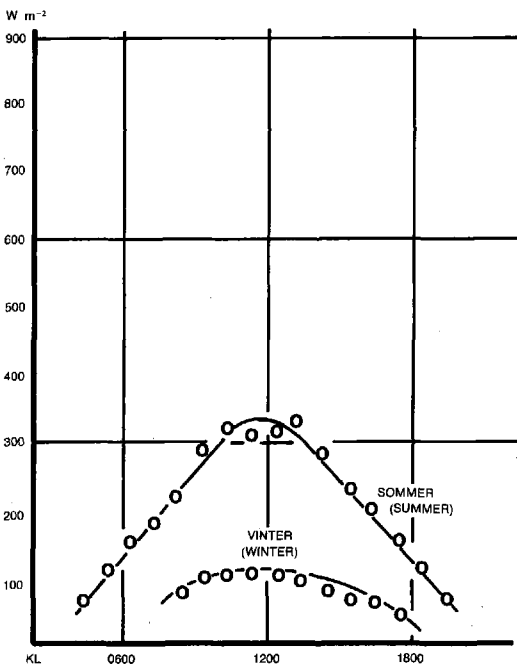


Fig. 4. Indstråling sommer og vinter målt i gråvejr på rygningen af væksthustag.

Fig. 4. Radiation in summer and winter measured in overcast weather on top of the glasshouse.

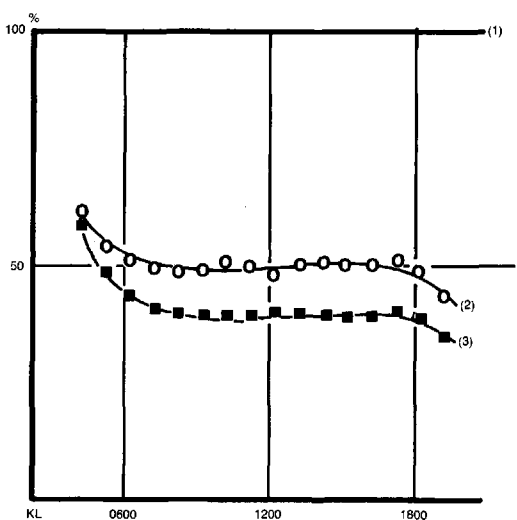


Fig. 5. Indstråling om sommeren i gråvejr, omkring 0,7 meter over planterne (2), samt i plantehøjde (3). Disse målinger er udtrykt som procent af globalindstrålingen modtaget ved væksthustets top (1).

Fig. 5. Radiation in overcast weather in summertime about 0.7 metres above the top of the plants (2), and level with the plant canopy (3). These measurements are expressed as a percentage of global radiation measured outside on top of the glasshouse (1).

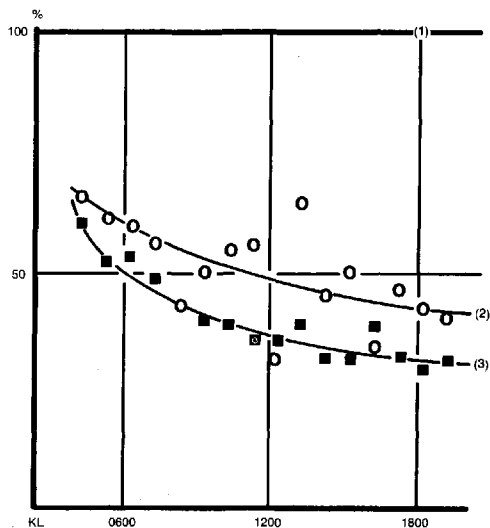


Fig. 6. Indstråling om sommeren i solskin; omkring 0,7 meter over planterne (2), samt i plantehøjde (3). Disse målinger er udtrykt som procent af globalindstrålingen modtaget ved væksthustets top (1).

Fig. 6. Radiation during sunshine in summertime about 0.7 metres above the top of the plants (2) and level with the plant canopy (3). These measurements are expressed as a percentage of global radiation measured outside on top of the glasshouse (1).

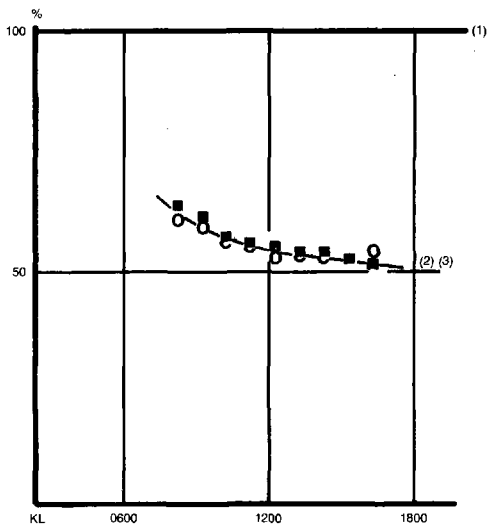


Fig. 7. Indstråling om vinteren i gråvejr; omkring 0,7 meter over planterne (2), samt i plantehøjde (3). Disse målinger er udtrykt som procent af globalindstrålingen modtaget ved væksthustets top (1).

Fig. 7. Radiation during overcast weather in wintertime about 0.7 metres above the top of the plants (2) and level with the plant canopy (3). These measurements are expressed as a percentage of global radiation measured outside on top of the glasshouse (1).

rammer solarimetrene, være forskellige på tilsvarende tidspunkter om formiddagen og eftermiddagen. I solskin om vinteren var indstrålingstabet størst midt på dagen (fig. 8). Dette skyldes sikkert, at solen da står så lavt, at skillevæggen ind til den syd for liggende celle skygger for solarimetrene. Tidligere, henholdsvis senere på dagen, vil solarimetrene modtage sollys gennem væksthushets sider.

I solskin, såvel sommer som vinter samt i gråvej om sommeren, var indstrålingstabet ved planterne oftest 10–20% større end indstrålingstabet over varmerør og spær (fig. 5, 6 og 8). Derimod var indstrålingstabet næsten ens de pågældende steder i gråvej om vinteren (fig. 7).

I gråvej, hvor indstrålingen er diffus, var de relative indstrålingsværdier inde i huset mere konstante end i solskin (fig. 5, 6, 7 og 8), hvilket sandsynligvis skyldes slagskygge fra varmerør, sprosser og spær i solskin.

Diskussion

Indstrålingstabet i væksthuset er stort; ifølge de foretagne målinger omkring 50%. Indstrålingstab gennem selve glasset udgør mellem 6 og 11% (Morris, 1972). Det resterende og væsentligste indstrålingstab må skyldes refleksioner fra væksthushets glasflader, samt skyggeeffekter fra spær og andre faste elementer i væksthuset. Det store indstrålingstab bevirker, at planterne på dage med lille indstråling let udsættes for lysmangel med nedsat fotosyntese og modstandskraft over for svampe- og bakteriesygdomme til følge (Butler and Downs, 1960).

Man kan imidlertid stille sig tvivlende over for den her beskrevne målemetodes egnethed til i alle tilfælde at udtrykke, hvor store indstrålingsmængder væksthushetsplanterne modtager, især i direkte sol. Dette forhold er undersøgt af *Itso and de Witt* (1970), der fandt forskelle mellem den globale indstråling målt på vandret flade og den indstråling, planterne modtog. Der er således forskel på opretvoksende planter på god afstand af hinanden og en græsmark, hvor vegetationen er jævnt fordelt og dækker hele jordoverfladen. Undersøgelse af en 40 cm høj plante (*Hedera canariensis* Willd.), der i en uge havde stået i fuld belys-

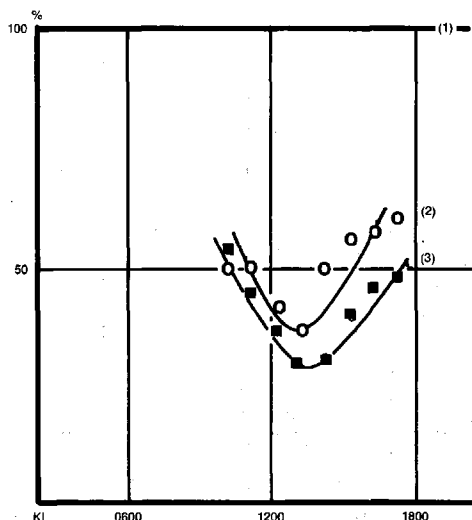


Fig. 8. Indstråling om vinteren i solskin; omkring 0,7 meter over planterne (2), samt i plantehøjde (3). Disse målinger er udtrykt som procent af globalindstrålingen modtaget ved væksthushets top (1).

Fig. 8. Radiation during sunshine in wintertime about 0.7 metres above the top of the plants (2) and level with the plant canopy (3). These measurements are expressed as a percentage of global radiation measured outside on top of the glasshouse (1).

ning fra alle sider viste, at 30% af bladarealet var orienteret vandret; 40% af bladarealet stod i en vinkel mellem 30 og 60° i forhold til vandret, og resten 30% var i det store og hele lodret stillet. Løvet var så tæt på planten, at den med grov tilnærmelse kunne betragtes som en 40 cm høj kegle med en grunddiameter på 17 cm (fig. 9). Kegleens grundareal bliver da 227 cm², kegleoverfladen bliver 1092 cm², og topvinklen bliver 24°. En fritstående model vil – såfremt hele indstrålingen kommer direkte fra solen – modtage en indstrålingsmængde, som svarer til indstrålingen på en vandret flade af samme størrelse, som den skygge modellen kaster. Denne skygge vil geometrisk bestå af en halvcirkel og en trekant (fig. 10). Halvkuglens areal – som er uafhængig af solhøjden – bliver $0,0227 \cdot 2 = 0,0454$ m². Trekantens areal er derimod afhængig af solhøjden og bliver $\frac{1}{2} \times 0,17 \times \frac{0,40}{\sin h}$, hvor h er solhøjden. Skyggens areal bliver altså $0,113 + \frac{1}{2} \times 0,17 \frac{0,40}{\sin h}$. Såfremt indstrålingen er diffus, vil keglefladen modtage den samme indstrålingsmængde på alle sider.

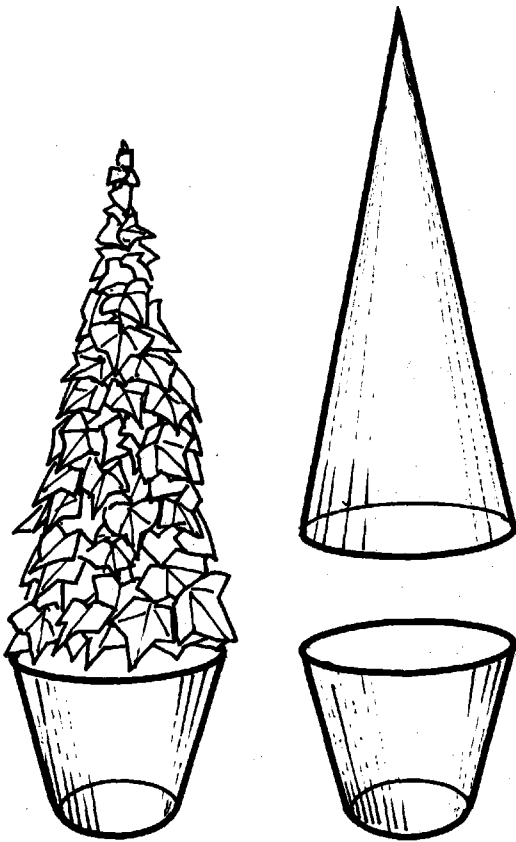


Fig. 9. Model af *Hedera*-potteplante. Højden af keglen er 40 cm, mens diameteren af keglens bundflade er 17 cm.

Fig. 9. Model of a *Hedera* pot plant. The height of the cone is 40 cm and the diameter at the base of the cone is 17 cm.

Dette skyldes, at den del af himmelhvælvingen, som kan bestråle et punkt på keglefladen, er ens for alle punkter. Da keglefladen ikke bestråles fra hele himmelhvælvingen, bliver indstrålingen på 1 m² kegleflade mindre end indstrålingen på 1 m² vandret flade. Beregning af keglefladens indstrålingsintensitet kompliceres desuden af, at den gennemsnitlige indfaldsvinkel ikke er ens for keglefladen og en vandret flade. Under forudsætning af, at keglen står frit på en mørk flade, vil indstrålingen på 1 m² kegleflade blive (Neerup, 1977):

$$I \left(1 - \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2} - v} \text{Arccos}(\sin u \times \text{tg } v) \times \sin 2u \, du \right)$$

hvor $v = \text{Arctg} \frac{r}{h}$ (= keglens halve topvinkel

målt i radian)

r = keglens grundradius

h = keglens højde

I = indstrålingen på 1 m² vandret flade

Med den givne model bliver $v = 0,2094$. Indstrålingen på hele keglefladen bliver da (integralet udregnet approksimativt):

$$0,1092 \times I \times \left(1 - \frac{1}{\pi} \times 1,37 \right) = 0,0616 \times I$$

Den indstråling, som modellen modtager, kan nu beregnes, når man kender solhøjden, indstrålingsintensiteten på en vandret flade samt fordelingen af direkte og diffus indstråling.

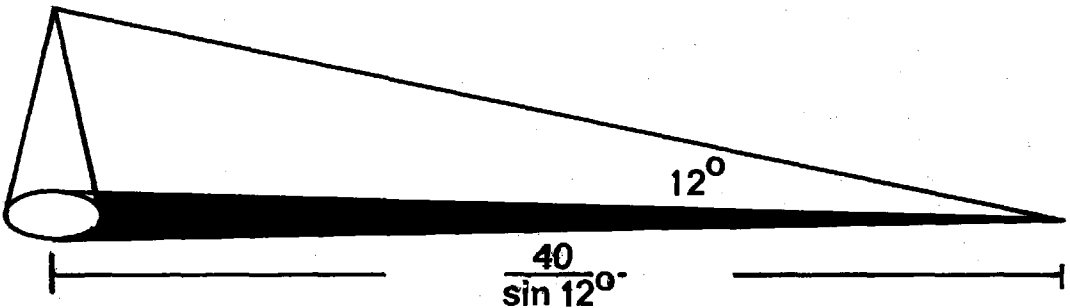


Fig. 10. En fritstående model af en *Hedera*-potteplante. Den vil modtage en indstrålingsmængde, der svarer til indstrålingen på den vandrette flade af samme størrelse som den skygge modellen kaster, når det er klart solskin, og når sollyset kan ramme planten uhindret. Med en solhøjde på 12°, vil keglen modtage ca. 7 gange mere lys end keglens grundflade.

Fig. 10. Model of an individual *Hedera* pot plant. The amount of radiation the model receives is in direct proportion to the area of the shadow cast in bright sunshine. With the sun at an angle of 12° the cone will receive 7 times more light than is indicated by the solarimeter.

I klart solskin udgør den diffuse indstråling ca. 11–12% om sommeren og ca. 17–18% om vinteren (Anon., 1973–1976). I gråvejrs udgør den diffuse indstråling tilnærmelsesvis 100%.

Hvis solhøjden er 12°; indstrålingen på en vandret flade 100 W/m² og den diffuse indstråling udgør 15% heraf, vil modellen i solskin modtage en indstråling på $((0,0113 + \frac{1}{2} \times 0,17 \times \frac{0,40}{\sin 12^\circ}) \times 100 \times 0,85 + 0,0616 \times 100 \times 0,15) \sim 15,8$ W eller ca. 7 gange så meget som keglens grundflade ville have modtaget (0,0227 × 100 ~ 2,3 W). Hele indstrålingen opfanges af keglefladen, og denne vil da i gennemsnit modtage 15,8/0,1092 ~ 150 W/m², eller ca. 50% større indstråling pr. arealenhed på modellen end på en vandret flade. Det må dog understreges, at dette er en gennemsnitsværdi, og der er stor forskel på intensiteten på en flade, der vender direkte mod solen (410 W/m²) og en flade, som ikke kan rammes af solen (10 W/m²).

I gråvejrs vil modellen ved en indstråling på 100 W/m² (som ovenfor) modtage 0,0616 × 100 ~ 6,2 W), eller ca. 2,5 gange så meget som keglens grundflade ville have modtaget. Pr. arealenhed modtager keglefladen i gråvejrs 6,2/0,1092 ~ 60 W/m², hvilket er ca. 40% mindre end på en vandret flade. I ovenstående beregninger er der forudsat, dels en tilstrækkelig god tilnærmelse til planten og dels, at planten står frit på en stor, ikke reflekterende flade. Planter i væksthuse står imidlertid så tæt, at de i nogen grad vil skygge for hinanden, hvorfor man i praksis ikke vil opnå de her beregnede indstrålingsmængder. Hvis planterne står helt tæt, vil den enkelte plante modtage en indstrålingsmængde, som kun er lidt større end den indstrålingsmængde, der ville falde på en vandret flade af samme størrelse som plantens grundflade.

Konklusion

Indstrålingstab i væksthuse kan være stort.

Om vinteren kan en lille indstråling delvis kompenseres ved at give planterne større afstand, idet planter på stor afstand modtager fra ca. 2,5 til ca. 7 gange større indstråling (afhængig af vejrs og solhøjde) end tætstillede planter. Den større ind-

stråling pr. plante – opnået ved at give større afstand – bevirker naturligvis, at der ikke kan være så mange planter i væksthuse, samt at den totale planteproduktion sandsynligvis bliver mindre. Til gengæld vil de enkelte planter kunne blive af bedre kvalitet, bl.a. fordi de får større modstandskraft over for mange infektionssygdomme.

Erkendtlighed

Projektet har været udført med støtte fra Statens almindelige Videnskabsfond, journal nr. 5/67 samt Statens Jordbrugs- og Veterinærvidenskabelige Forskningsråd, journal nr. 513–5035.

Statens Væksthusforsøg, Virum, har været forsøgsvært og stået for den praktiske gennemførelse af projektet.

Litteratur

- Anon. (1973–76): Klima- og vandbalance, Højbakkegård. Hydroteknisk Laboratorium og Klimastation, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, Højbakkegård, DK–2630 Tåstrup.
- Bener, P. (1951): Untersuchungen über die Wirkungsweise des Solarigraphen, Moll-Gorczyński. Ser. B. 2: 188–249.
- Black, J. N. (1960): Contribution to the radiation climatology of Northern Europe. Ibid. Ser. B. 10: 182–192.
- Boon, C. R. (1976): A Greenhouse Light Meter Jour. Agric. Eng. Res. Vol. 21: 103–108.
- Butler, W. L. and Roberts J. Downs (1960): Light and plant Development, Scientific American.
- Edwards, R. I. and L. J. Moultsley (1958): Preliminary measurements of the distribution of light in a glasshouse. J. Agric. Engin. Res. 3: 69–75.
- Hack, H. R. B. (1960): Solar radiations and the design of research glasshouses. J. Agric. Engin. Res. 5: 336–340.
- Hejndorf, Frank (1966): Udnytter vi lyset rigtigt? Gartner Tidende 82(16): 217–218.
- Itso, S. B. and C. T. de Witt (1970): Light Relations in Plant canopies. Applied Optics, 9: 177–184.
- Neerup, P. O. (1977): Personlig meddelelse.
- Landgren, Bengt (1969): Ljusbemålinger i Modelvæksthus. Duplikat. Institutionen för Lantbrukets Byggnadsteknik, Lantbrukshögskolan, Lund.
- Lawrence, William J. C. (1963): »Science and the Glasshouse«, Oliver and Boyd, London: 107–141.
- Morris, L. G. (1972): Solar radiation in greenhouses. Israel J. Agric. Res. 22(2): 85–97.
- Willumsen, J. og A. Magle Pedersen (1977): Undersøgelser af vækstfaktorer ved produktion af potteplanter (Hedera) i væksthuse. I. metoder og udbytter. Tidsskr. f. Planteavl. 81, 397–408.