

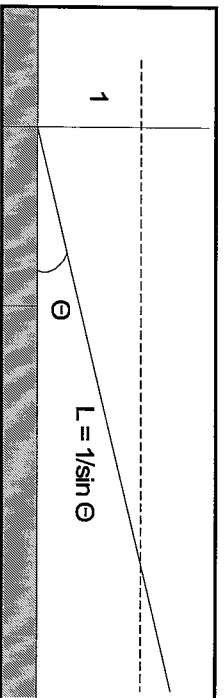
ATMOSFÆRISK FYSIK

Linkes turbiditetsfaktor

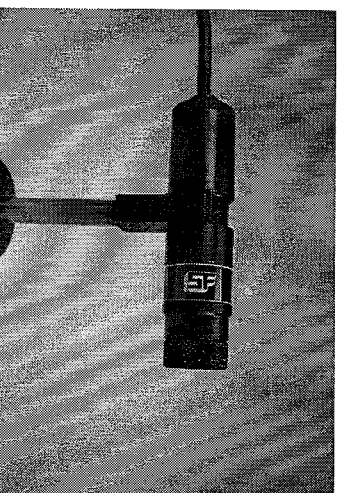
FORMÅL

Øvelsens formål er at bestemme *Linkes turbiditetsfaktor* ud fra målinger af solens direkte irradians som funktion af solens elevationsvinkel og dermed af luftmassen.

FORSØGSPSTILLING



Figur 1: Solens elevationsvinkel måles i forhold til vandret. Bredbåndssonden er vist til højre (uden collimator).



Bredbåndssonden med collimatorforsats og glasfilter (der begrænser følsomhedsområdet til 300-3000 nm) rettes direkte mod solen, og der optages data på en klar solskinsdag på forskellige tidspunkter i løbet af dagen for dermed at finde solens direkte irradians svarende til en række elevationsvinkler. Anvendt på denne måde kaldes sonden for et *pyrheliometer*.

TEORI

Solens elevationsvinkel θ kan beregnes, når man har kendskab til breddegradstallen B , deklinationen D og timevinklen W . De to første værdier kan findes f.eks. fra *Skrive- og Rejsekalender*, og timevinklen er nul middag sandsoltid og stiger med 15° for hver time (positiv over middag):

$$(1) \quad \sin \theta = \cos B \cdot \cos D \cdot \cos W + \sin B \cdot \sin D$$

Med kendskab til elevationsvinklen, kan man finde luftmassen m som den direkte solindstråling passerer, idet $m=1$, når solen er i zenit. Følgende ligning er udviklet af Kasten og Young:

$$(2) \quad m = \frac{1,002432 \cos^2 Z + 0,148386 \cos Z + 0,0096467}{\cos^3 Z + 0,149864 \cos^2 Z + 0,0102963 \cos Z + 0,000303978}$$

Bemærk, at $Z = \pi/2 - \theta$ er solens zenitvinkel. Man får yderligere brug for et udtryk for den Rayleighske optiske dybde $D_r(m)$, der er givet ved:

$$(3) \quad 1/D_R(m) = 6,6296 + 1,7513 \cdot m - 0,1202 \cdot m^2 + 0,0065 \cdot m^3 - 0,00013 \cdot m^4$$

Tabel I viser Rayleigh optiske dybde for et antal luftmasser for at gøre dataanalysen lidt lettere:

<i>m</i>	1	2	3	4	5	6
<i>D_R(m)</i>	0,12096	0,10308	0,09119	0,08268	0,07626	0,07120

Tabel I: Rayleighske optiske dybde for et antal luftmasser.

I strålingsmodeller, der beskriver den kombinerede direkte og diffuse indstråling på vilkårlige flader på jordens overflade, indføres begrebet linkes turbiditetsfaktor for at beskrive atmosfærens tilstand. For solens direkte indstråling gælder, idet solarkonstanten i W/m² sættes til 1367:

$$(4) \quad I_D(m) = 1367 \cdot \epsilon \cdot \exp(-0,8662 \cdot T_{LK} \cdot m \cdot D_R(m))$$

Denne ligning kaldes Lambert-Beers' absorptionslov. Størrelsen ϵ tager hensyn til den årlige variation i jord-sol afstanden og kan for dagnummer *dag* skrives findes ved hjælp af:

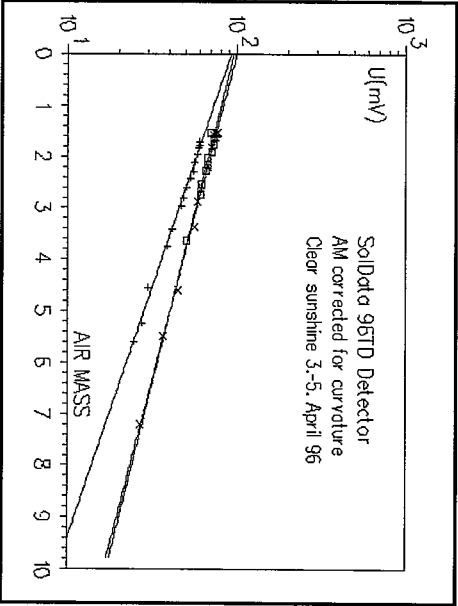
$$(5) \quad \epsilon = 1 + 0,033 \cdot \cos [2 \pi \cdot (dag - 3)/365]$$

Parameteren *dag* også findes i Skrive- og Rejsekalenderen.

TYPISKE DATA

Måler man den direkte solindstråling i løbet af en dag, kan man nå frem til sammenhørende værdier af instrumentvisning *U* i millivolt og luftmasse *m*. Ved automatiserede dataoptagelse kan ovenstående ligninger indgå, så man er fri for manuelt at beregne luftmassen svarende til hver måling.

Ved omhyggelig aflæsning af de optagne data kan man nå frem til de i tabel II viste værdier vs. luftmasse.



Figur 2: Der vises semilogaritmiske "Langley afbildninger" for to dage i april 1996 i Silkeborg.

DATA	<i>m</i> = 2	<i>m</i> = 5
3/4 1996	69,72	42,32
5/4 1996	59,03	27,91

Tabel II: Pyrheliometer data for luftmasser på 2 og 5 optaget på to forårsdage i Silkeborg (*B* = 56,1° *N*). Dataværdierne er i millivolt.

ANALYSE

Vi ønsker nu at nå frem til Linkes turbiditetsfaktor gældende for de to dage i april på grundlag af de givne data. Til formålet kan vi anvende Lambert-Beers loven for de to luftmasser:

$$(6) \quad I_D(m_1) = I_0 \cdot e \cdot \exp(-0,8662 \cdot T_{LK} \cdot m_1 \cdot D_R(m_1))$$

$$(7) \quad I_D(m_2) = I_0 \cdot e \cdot \exp(-0,8662 \cdot T_{LK} \cdot m_2 \cdot D_R(m_2))$$

Hvis man ønsker det, kan man finde værdier for den solare irradians $I(m)$ målt i W/m^2 ved at betragte Langley-grafernes skæringspunkt med andenaksen (svarende til luftmassen $m = 0$). Da ved man, at solens direkte irradians (solarkonstanten) er lig med $1367 W/m^2$. En korrektion for jord-sol afstanden på dagnummer 95 giver $1366 W/m^2$. Fra graferne aflæses $U_0 = 94,6 mV$. Dermed bliver instrumentets kalibreringskonstant:

$$k = 14,44 W/m^2 \text{ per millivolt}$$

Det er strengt taget ikke nødvendigt at regne signalværdierne om til W/m^2 , idet vi kan nøjes med at se på forholdet mellem ligning (6) og ligning (7):

$$(8) \quad \frac{I_D(m_1)}{I_D(m_2)} = \frac{\exp(-0,8662 \cdot T_{LK} \cdot m_1 \cdot D_R(m_1))}{\exp(-0,8662 \cdot T_{LK} \cdot m_2 \cdot D_R(m_2))} = [\exp(-0,8662 \cdot [m_1 \cdot D_R(m_1) - m_2 \cdot D_R(m_2)])]^{T_{LK}}$$

som kan reduceres til:

$$(9) \quad \ln \left(\frac{I_D(m_1)}{I_D(m_2)} \right) = T_{LK} \cdot (-0,8662 \cdot [m_1 \cdot D_R(m_1) - m_2 \cdot D_R(m_2)])$$

og videre til:

$$(10) \quad T_{LK} = \ln \left(\frac{U(m_1)}{U(m_2)} \right) \cdot (-0,8662 \cdot [m_1 \cdot D_R(m_1) - m_2 \cdot D_R(m_2)])^{-1}$$

Bemærk, at vi kan anvende instrumentets visninger $U(m_1)$ og $U(m_2)$ i stedet for irradianserne, idet vi hermed antager, at instrumentets respons er lineær. Ved indsættelse i ligning (10) for de aktuelle tilfælde findes:

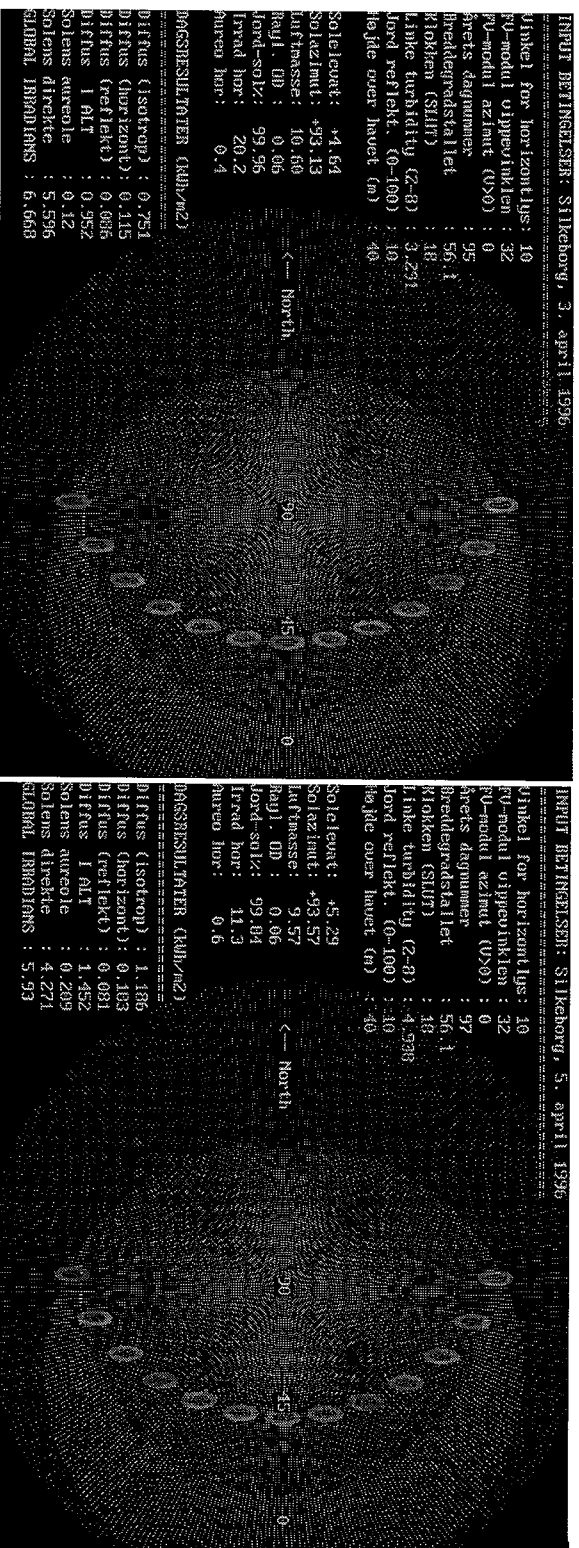
den 3/4 1996	$T_{LK} = 3,291$
den 5/4 1996	$T_{LK} = 4,938$

Tabel III: Linkes turbiditetsfaktor fundet for udvalgte dage i Silkeborg ($B=56,1^\circ N$).

PRAKTISKE ANVENDELSER

Med kendskab til T_{LK} kan man så beregne solens direkte irradians for et vilkårligt tidspunkt dagen igennem (under forudsætning af klart vejr med uændret turbiditet). Har man adgang

til en strålingsmodel, kan man finde størrelsen af den diffuse himmelstråling (isotrop bidrag plus horisontstråling) samt for skrå flader bidraget fra diffus refleksion fra området foran fladen. Nedenstående figurer viser resultaterne af sådanne beregninger gennemført for disse to dage.



Figur 3: Strålingsmodel-beregninger for 3/4 og 5/5, idet de fundne værdier for Linkes turbiditetsfaktor benyttes. (ENS projekt 51181/97-00661)

Beregningernes forudsætninger ses øverst til venstre i hvert skærmbillede, mellemregninger midterst og integrerede dagsresultater nederst.

DATO	ISOTROP	HORIZONT	REFLEKT	DIFFUS I ALT	SOLENS AUREOLE	DIREKTE I ALT	GLOBAL- STRÅLING
3/4 96	0,751	0,115	0,086	0,952	0,120	5,596	6,668
5/4 96	1,186	0,183	0,081	1,452	0,289	4,271	5,930

Tabel IV: På den 3/4 (en klar dag med $T_{Lx} = 3,291$) var der gennemgående mindre diffus indstråling og mere direkte indstråling i forhold til indstrålingen et par dage senere 5/4, hvor T_{Lx} var steget til 4,938.

LITTERATURHENVISNINGER

- J. Duffie, W. Beckman; *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2. Ed, Wiley, New York, 1991.
- K. Scharmer, J. Greif; *The European Solar Energy Atlas*, vol 1, Les Presses de l'École des Mines, Paris, 2000.
- F. Bason; *Fotovoltaiske anlæg under vanskelige klimatiske forhold*, ENS projekt 51181/97-0066, Energistyrelsen, København, 2001.
- Lillian Noval, *Almanak, Skrive- og Rejsekalender*, Københavns Universitet, udkommer hvert år.

bason\p:\Documents\IFA-Aarhus\øvelse-linke-xerox.wpd