

Rapport

R138:1981

En relation mellan diffus
solstrålning och globalstrålning
för Stockholm

Weine Josefsson



Byggeforskningsrådet

R138:1981

EN RELATION MELLAN DIFFUS SOLSTRÅLNING
OCH GLOBALSTRÅLNING FÖR STOCKHOLM

Weine Josefsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
760158-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sveriges meteorologiska och hydrologiska
institut, SMHI, Norrköping.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R138:1981

ISBN 91-540-3614-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1981 132282

INNEHÅLL

INLEDNING	5
DEFINITIONER OCH BETECKNINGAR	6
BESKRIVNING AV DATA	8
BERÄKNINGSMETOD	9
RESULTAT OCH KOMMENTARER	10
Dygnsvärden	10
Månadsvärden	16
Jämförelser med andra undersökningar	18
REFERENSER	20

FÖRORD

Undertecknad vill framföra ett stort tack till Marie-Louise Westerberg utan vars idoga programmeringsarbete denna rapport inte hade blivit till. Ett varmt tack också till Kerstin Stjärnberg som har överfört texten till en, för en större publik, läsbar form.

Weine Josefsson

INLEDNING

Globalstrålning är tillsammans med solskenstid den enda strålningsmätning som finns tillgänglig för ett större antal orter och för längre tidsperioder.

För många praktiska tillämpningar är det emellertid önskvärt att känna till både den diffusa och den direkta komponenten. I Sverige finns endast en längre mätserie av den diffusa solstrålningen. Den påbörjades 1957 i Stockholm. Även i andra länder förekommer det få mätningar, som pågått någon längre tid, av diffus eller direkt solstrålning.

Detta har lett till utvecklandet av uppskattningsmodeller för att erhålla diffus eller direkt solstrålning när endast globalstrålningen är känd.

Liu och Jordan (ref 1) presenterade 1960 en enkel relation mellan globalstrålning och diffus solstrålning, vilken gäller för alla typer av molnighet. Deras undersökning har senare följts upp i flera länder med något avvikande resultat (ref 2-7).

I denna rapport presenteras motsvarande relation för Stockholm och dessutom diskuteras dess tillämpbarhet.



Pyranometer och skärm av den typ som använts i Stockholm
Denna pyranometer är försedd med fläkt för att eliminera
frost m.m..

DEFINITIONER OCH BETECKNINGAR

SOLARKONSTANTEN	I_0	är medelvärde av solstrålningen utanför atmosfären på jorden medelavstånd från solen. För denna undersökning har 1370 Wm^{-2} använts.
EXTRATERRESTRISK STRÅLNING	GEX	är den solstrålning som skulle falla mot en horisontell yta om inte atmosfären fanns.
DIREKT SOLSTRÅLNING	I	är den solstrålning, som kommer från den rymdvinkel, som upptas av solskivan, mot en yta vinkelrätt mot strålningen.
DIFFUS SOLSTRÅLNING	D	är den nedåtriktade diffusa solstrålningen, mot en horisontell yta, från en rymdvinkel av 2π med undantag av den rymdvinkel som upptas av solskivan.
GLOBALSTRÅLNING	G	är den nedåtriktade direkta och diffusa solstrålningen mot en horisontell yta från en rymdvinkel av 2π .
PYRHELIOMETER		är ett instrument för mätning av direkt solstrålning.
PYRANOMETER		är ett instrument för mätning av global eller diffus solstrålning. Den diffusa komponenten bestäms genom att den direkta solstrålningen elimineras av en skiva eller en skärm.

Dygnsvärden av extraterrestrisk strålning

$$GEX = 2 I (\sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot t_o + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin t_o)$$

$$I = (43200/n) (1 + 0.033 \cos(2n \text{ DAGNR} / 365.24)) I_o$$

$$t_o = \arccos(-\tan\varphi \tan\delta)$$

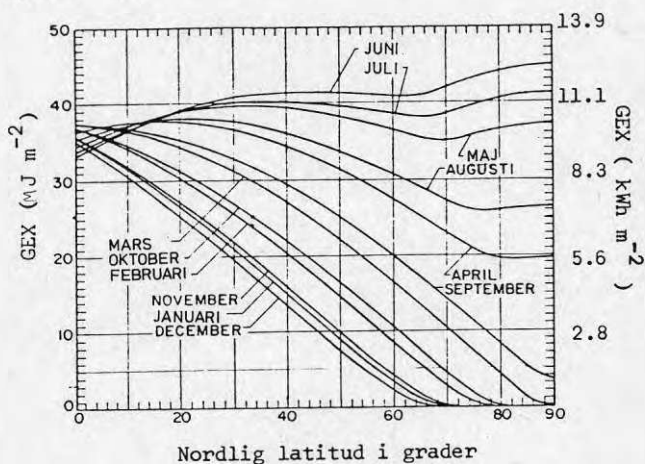
φ = ortens latitud

t_o = timvinkel för solens uppgång

δ = solens deklination

DAGNR = dagnummer (1 jan = 1)

Enhet = Whm^{-2}



FIGUR 1. Dygnsvärden av den extraterrestriska strålningen (GEX) mot en horisontell yta för mitten av varje månad.

Vid jämförelse mellan olika strålningsdata är det viktigt att veta vilken strålningsskala de refererar till. Världsmeteorologiska organisationen WMO har rekommenderat att data från och med 1 januari 1981 skall hänföras till World Radiometric Reference (WRR).

Approximativ korrektionsfaktor för att erhålla värden relaterade till WRR.

.98	för Smithsonian skalan 1913
1.01	för IPS 1956 - Stockholm
1.02	för IPS 1956
1.03	för Ångströms skala 1905

BESKRIVNING AV DATA

Strålningsdata från Stockholm (59.33 N 18.03 E) omfattar perioden 1961-1975. De är uppmätta med två pyranometrar, varav den ena är skuggad med en skärm. Genom manuell utvärdering av registreringen erhålls timvärden, vilka efter summering ger dygnsvärden av globalstrålning respektive diffus solstrålning. Den senare är korrigerad för skärmens inverkan med en enkel men inte helt tillfredsställande metod. Därför har en efterjustering av de diffusa värdena ägt rum.

Strålningsdata för Norrköping (58.58 N 16.15 E) omfattar delar av åren 1978-1980. Globalstrålning och direkt solstrålning har mätts med en pyranometer och en pyrheliometer. Momentana minuttvärden i digital form har insamlats. De har senare datorbearbetats för att ge integrerade tim- och dygnsvärden. I samband med bearbetningen har den diffusa komponenten beräknats.

Alla strålningsvärden som använts hänför sig till IPS 1956 - Stockholm, som är 1.1% lägre än WRR.

Materialet, i synnerhet det från Stockholm, är behäftat med olika typer av fel, som är både svåra att uppskatta och eliminera.

Norrköpingsdata, som grundar sig på bättre insamlings- och mätteknik, har trots den begränsade mätperioden kunnat användas för en kvalitetskontroll av den relation som baseras på stockholmsmaterialet.

BERÄKNINGSMETOD

För att kunna jämföra global- och diffusstrålningsmätningar för olika meteorologiska förhållanden, olika tider under året och även mellan olika platser valde Liu och Jordan (ref 1) att avsätta kvoten mellan diffus och globalstrålning (D/G) som funktion av kvoten mellan global och extraterrestrisk strålning (G/GEX). Denna metod har använts för att finna en relation för dygnsvärden.

En förenkling har gjorts genom att klassindela materialet efter kvoten G/GEX i intervall om 0.05 och där efter har medelvärdet, frekvensen och standardavvikelsen beräknats för varje klass. Dessutom har materialet uppdelats efter årstid, bland annat beroende på att en del felkällor är årstidsberoende med de största felen under vinterhalvåret. Den främsta orsaken till uppdelningen är dock att undersöka om den sökta relationen är årstidsberoende.

TABELL 1. Indelning av och beteckningar för årstider

VINTER = W = DEC, JAN, FEB
VÅR = V = MAR, APR, MAJ
SOMMAR = S = JUN, JUL, AUG
HÖST = A = SEP, OKT, NOV

RESULTAT OCH KOMMENTARER

Dygnsvärden

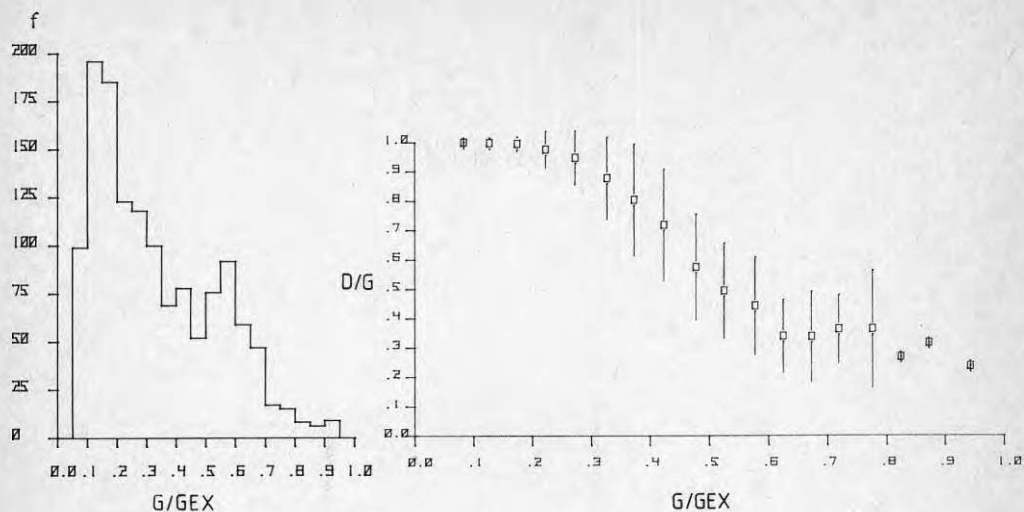
I figurerna nedan presenteras förhållandet mellan diffus och global strålning för olika årstider baserat på dygnsvärden. Standardavvikelsen och antalet dygn, som ingår i varje gruppmedelvärde, anges också.

Frekvensfördelningen av kvoten G/GEX ger även en bild av strålningsklimatet på platsen. Generellt kan man säga att dygn med G/GEX < 0.2 är helt eller så gott som helt mulna och dygn med G/GEX > 0.6 är helt eller så gott som helt klara.

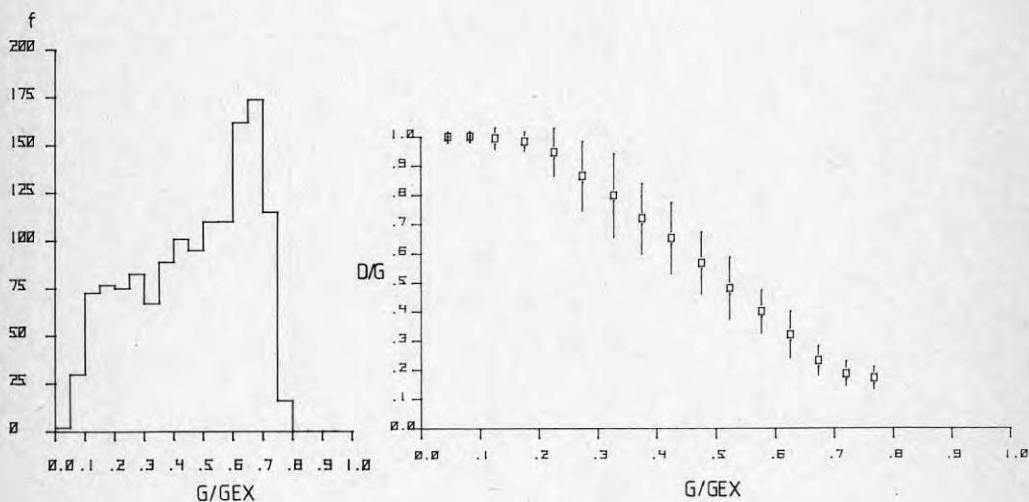
Vintervärdena med G/GEX > 0.8 är troligen felaktiga och de med G/GEX > 0.7 är tvivelaktiga. Mycket tyder på att dygnskvoter större än 0.75 är sällsynta under svenska förhållanden oavsett årstid. Detta styrks av norrköpingsmätningarna och av teoretiska beräkningar (ref. 8). De observerade höga kvoterna beror sannolikt på mätfel, framför allt orsakade av rimfrost.

Standardavvikelsen från gruppmedelvärdet för enskilda dygn anges om medelvärdet är baserat på minst tio dygn. Förutom att mätningen i sig ger en spridning, så är det de växlande meteorologiska förhållandena som står för variationen. Främst är det molnigheten, den regionala reflektansen (albedot), aerosolerna och vattenångan i atmosfären som påverkar strålningen.

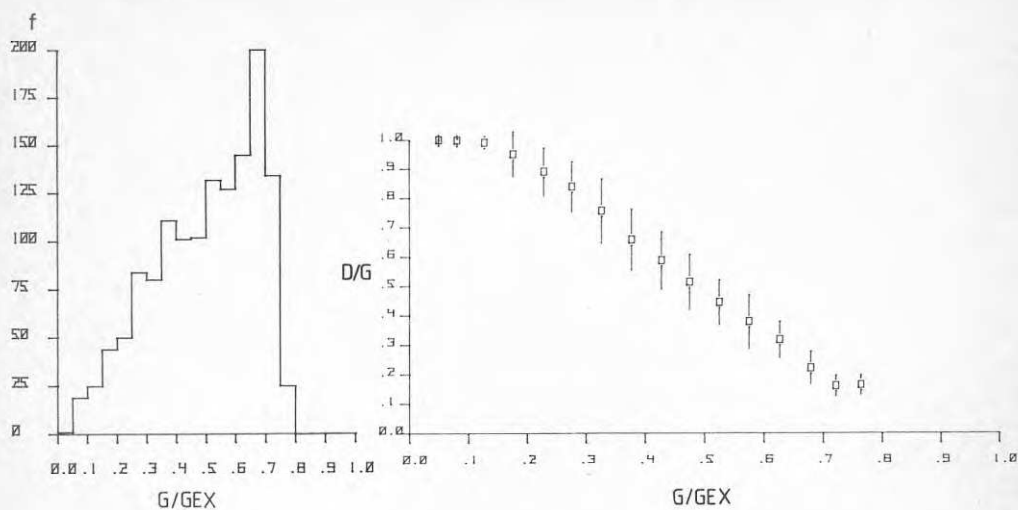
Antag att kvoten D/G är normalfördelad inom varje klass då befinner sig cirka 95% av de enskilda dygnen inom två standardavvikelser från medelvärdet. För exempelvis sommarvärdena skall då gälla att 95% av dygnsvärdena ligger inom $\pm(0.12-0.22)$ från medelvärdet för intervallet $0.15 < G/GEX < 0.70$.



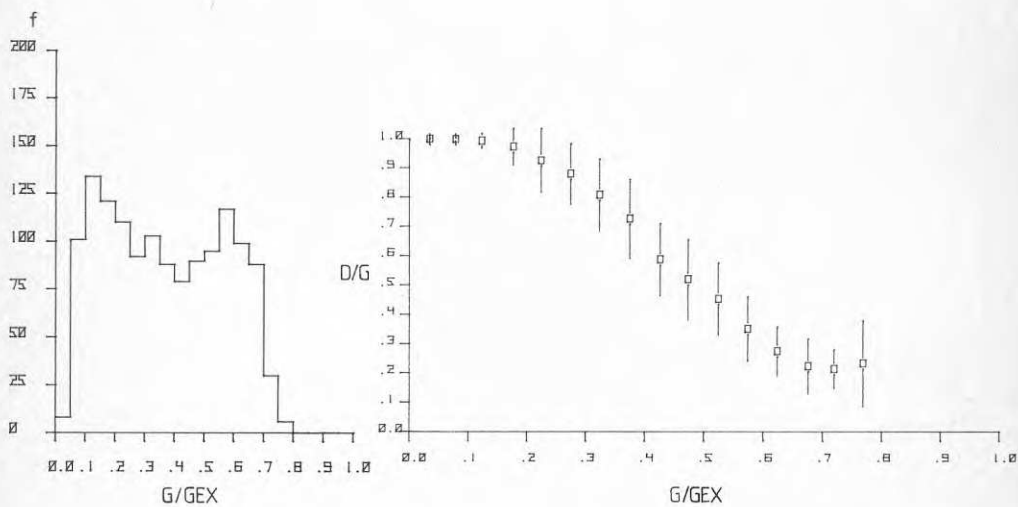
FIGUR 2a. Stockholm vinter. Frekvensen avser antalet dygn inom varje grupp. Förhållandet mellan globalstrålning och diffus solstrålning ges som medelvärde och standardavvikelsen för varje grupp. Observera de olika skalorna på abskissan och ordinatan.



FIGUR 2b. Stockholm vår, för övrigt se figur 2a. Observera den mindre spridningen jämfört med vintern.



FIGUR 2c. Stockholm sommar, för övrigt se figur 2a.
Observera skillnaden i frekvensfördelning
mellan vinter och sommar.



FIGUR 2d. Stockholm höst, för övrigt se figur 2a.

Vanligen mäts enbart globalstrålning och de direkta och diffusa komponenterna är okända. Med hjälp av ekvationerna i tabell 2 och den extraterrestriska strålningen enligt ekvationerna på sidan 7 eller enklare ur figur 1 kan globalstrålningen uppdelas i sina komponenter. Observera att detta endast gäller för en horisontell yta och för ett strålningsklimat som överensstämmer med Stockholms. Bland annat jämförelsen med Norrköping tyder på att den funna relationen kan tillämpas på svenska förhållanden med reservation för Norrland under vinterhalvåret.

Om metoden används för beräkning för en enstaka dag bör man ha den ovannämnda spridningen i åtanke. Däremot bör en beräkning över en längre tidsperiod ge tillförlitliga värden.

TABELL 2. Förslag till linjära regressionslikvationer av typer $(D/G) = A (G/GEX) + B$ för dygnsvärden

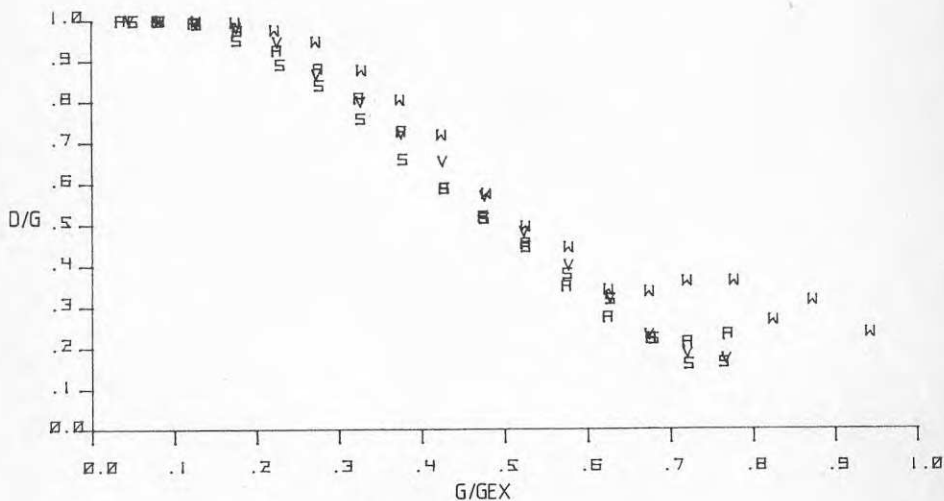
VINTER	A =	B =
$0 \leq G/GEX < 0.25$	0	1.00
$0.25 \leq \quad < 0.45$	-1.51	1.37
$0.45 \leq \quad < 0.70$	-1.53	1.31
$0.70 \leq$	0	0.2

VÅR	A =	B =
$0 \leq G/GEX < 0.20$	0	1.00
$0.20 \leq \quad < 0.70$	-1.58	1.31
$0.70 \leq$	0	0.185

SOMMAR	A =	B =
$0 \leq G/GEX < 0.15$	0	1.00
$0.15 \leq \quad < 0.70$	-1.47	1.22
$0.70 \leq$	0	0.162

HÖST	A =	B =
$0 \leq G/GEX < 0.15$	0	1.00
$0.15 \leq \quad < 0.40$	-1.23	1.20
$0.40 \leq \quad < 0.65$	-1.61	1.28
$0.65 \leq$	0	0.224

För dygnsvärden medför ökad molnighet, utom i undantagsfall, att globalstrålningen avtar relativt den extra-terrestriska strålningen och att diffusa solstrålningen ökar relativt globalstrålningen. Detta förhållande förklarar till största delen utseendet på den av Liu och Jordan funna relationen.

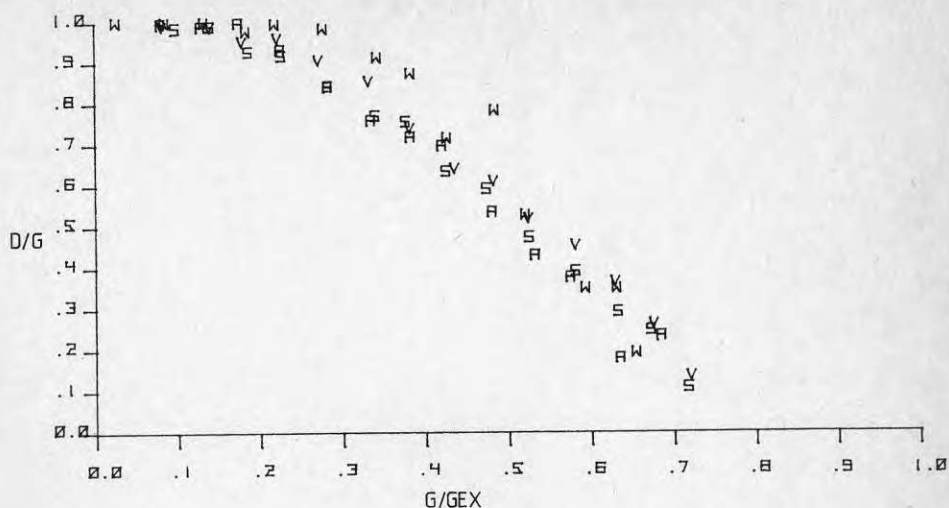


FIGUR 3. Förhållandet mellan kvoten G/GEX och kvoten D/G för Stockholm. Gruppmedelvärden av dygnsvärden uppdelade i årstider (beteckningar se tabell 1).

Reflektansen hos den regionala omgivningen påverkar strålningsfältet. Detta märks särskilt väl när marken är snötäckt och himlen mulen. Eftersom både snö och molnytan har hög reflektans så blir den diffusa solstrålningen förstärkt genom multipel reflektion. På så sätt blir den relativt större jämfört med globalstrålningen än om det hade varit barmark. Detta framgår om man jämför vintervärden med övriga värden. Under molniga förhållanden ($G/GEX < 0.5$) är kvoten D/G större vid snötäckt mark än vid barmark för samma G/GEX (figur 3-4).

Hay (ref 9) har visat att om Liu och Jordans relation korrigeras för inflytandet av reflektansen så erhålls en mindre spridning.

Aerosoler och vattenånga i atmosfären orsakar spridning och absorption av solstrålningen. Ökade halter medför att den diffusa solstrålningen ökar och att den direkta solstrålningen minskar.



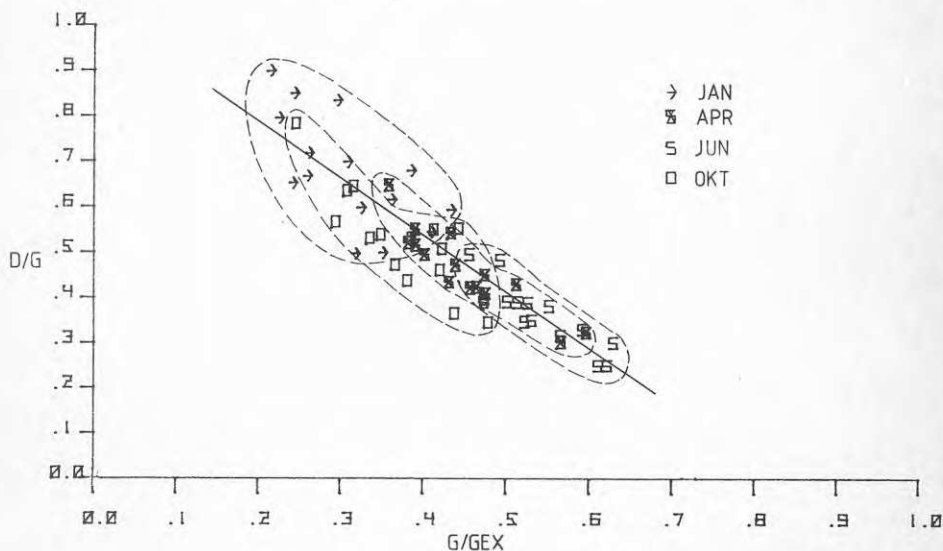
FIGUR 4. Förhållandet mellan kvoten G/GEX och kvoten D/G för Norrköping. Gruppmedelvärden av dygnsvärden är uppdelade i årstider (beteckningar se tabell 1).

Norrköpingsmaterialet bekräftar i stort den funna relationen för Stockholm, men på ett par punkter skiljer de sig åt. I intervallet G/GEX 0.2 - 0.6 är kvoten D/G aningen högre i Norrköping än i Stockholm. Skillnaden är dock liten och mätperioden i Norrköping är för kort för skillnaden skall vara signifikant.

En avvikelse som är mer iögonfallande är avsaknaden av höga värden på kvoten G/GEX i Norrköping. Detta är förmodligen en realitet som med största sannolikhet beror på mätfel orsakade av rimfrostbeläggning på instrumenten i Stockholm, vilket tidigare har påpekats. I Norrköping däremot har pyranometrarna ventilerats med hjälp av fläktar och på så sätt hållits fria från rimfrost och dagg. Störst är skillnaden i vintervärdena. Den maximalt uppmätta kvoten G/GEX i Norrköping under vintern är 0.67. I stockholmsmaterialet förekommer kvoter större än 1.0.

Månadsvärden

I många fall kan det vara tillräckligt med månadsvärden. Vintermånaderna har stor andel diffus solstrålning relativt globalstrålningen och liten andel globalstrålning relativt den extraterrestriska strålningen. För sommarmånaderna är förhållandet omvänt och följden blir att olika månader placerar sig tämligen åtskilt, vilket framgår i figur 5.



FIGUR 5. Förhållandet mellan månadsvärden av G/GEX och D/G för ett urval av månader i Stockholm. Regressionslinjen för året, baserad på månadsvärden, är inlagd.

För Stockholm har värdena på kvoten G/GEX hamnat i intervallet 0.18 - 0.63 och kvoten D/G i intervallet 0.25 - 0.95.

De linjära regressionsekvationerna som presenteras i tabell 3 gäller således för detta område. Korrelationerna för februari och september visar att de erhållna linjära regressionerna inte kan beskriva förhållandena tillräckligt väl. I dessa fall kan regressionen för året användas. Bättre är naturligtvis att utgå från de enskilda dygnen, om de är tillgängliga, och utnyttja regressionerna i tabell 2.

TABELL 3. Linjära regressionsekvationer av typen
 $(D/G) = A (G/GEK) + B$ för månadsvärden och
 motsvarande korrelation (R)

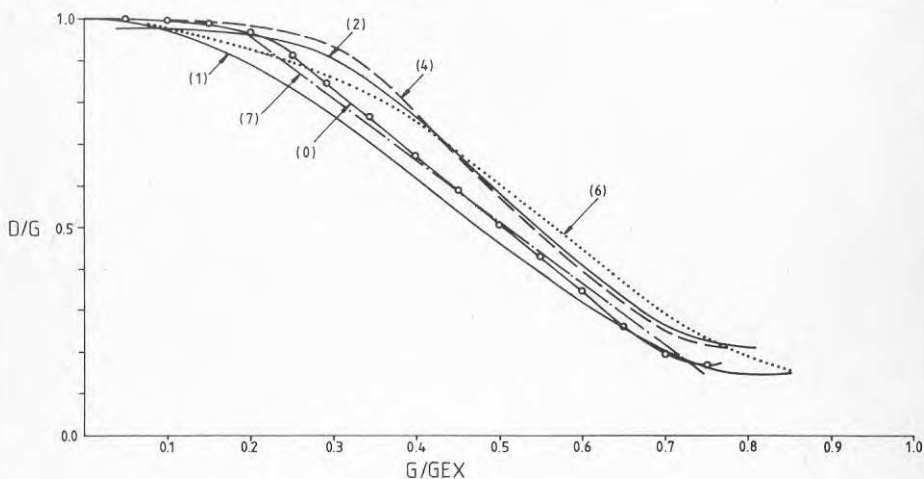
Månad	A =	B =	R =
JAN	-1.230	1.057	-0.67
FEB	-0.692	0.837	-0.71
MAR	-1.302	1.067	-0.88
APR	-1.187	1.000	-0.91
MAJ	-1.068	0.956	-0.78
JUN	-1.097	0.956	-0.87
JUL	-1.337	1.073	-0.92
AUG	-1.033	0.932	-0.84
SEP	-0.249	0.574	-0.23
OKT	-1.380	1.045	-0.82
NOV	-1.056	0.956	-0.78
DEC	-1.593	1.237	-0.76
ÅRET	-1.250	1.039	-0.88

Jämförelse med andra undersökningar

I figur 6 har ett antal kurvor skisserats. De är inte helt jämförbara då de refererar till olika strålnings-skalor och även till olika solarkonstanter. Detta på-verkar endast läget utmed x-axeln och är av storleks-ordningen någon procent.

Differenserna mellan de i figuren angivna orterna beror inte enbart på reella skillnader i strålningskli-matet och beräkningsmetoder utan även på mätmetoden.

Detta gäller speciellt Liu och Jordans undersökning av Blue Hill-data. I detta fall togs inte hänsyn till att skärmen, som eliminerade den direkta strålningen, skymde en del av himlen och således även tog bort en del av den diffusa strålningen. Därför fick kvoten D/G ett för lågt värde, vilket delvis förklarar läget av deras kurva relativt de övriga, som är korrigerade för skärmens inverkan.



FIGUR 6. Relationen mellan kvoten globalstrålning och extraterrestrisk strålning (G/GEX) och kvoten diffus solstrålning och global strålning (D/G) för några olika undersökningar. Siffran inom parentes anger motsvarande referens.

(0) Stockholm (1) Blue-Hill (2) Tre orter i Canada
(4) Fem orter i USA (6) New Delhi (7) Lissabon

Effekten av olika aerosol- och vattenånehalt i atmo-sfären på de olika platserna framgår för de halv- till helklara dagarna ($G/GEX > 0.5$), då effekten inte döljs på grund av moln. Observera att i detta område av figu-ren ligger kurvan för New Delhi över kurvorna för de amerikanska orterna, som i sin tur ligger över stock-holmskurvan.

Förhållandet tenderar att bli omvänt för $G/GEX > 0.75$ för New Delhi. Orsaken är troligen att denna del endast innehåller värden från vintern, då det rådet vintermonsun med relativt kalla, torra och stofffattiga vindar.

REFERENSER

1. Liu, B. Y. H. and Jordan, R. C., The interrelationship and characteristic distribution of direct and total solar radiation. *Solar Energy* 4 (3), July, (1960).
2. Ruth, D. W. and Chant, R. E., The relationship of diffuse radiation to total radiation in Canada, Technical Note, *Solar Energy*, Vol. 18, pp. 153-154, (1976).
3. Tuller, S. E., The relationship between diffuse, total and extraterrestrial solar radiation, Technical Note, *Solar Energy*, Vol. 18, pp. 259-263, (1976).
4. Collares-Pereira, M. and Rabl, A., The average distribution of solar radiation - correlation between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, Vol. 22, pp. 155-164, (1979).
5. Bruno, R., A correction procedure for separating direct and diffuse insolation on a horizontal surface, Technical Note, *Solar Energy*, Vol. 20, pp. 97-100, (1978).
6. Choudhury, N. K. D., Solar radiation at New Delhi, *Solar Energy* 7, 44, (1963).
7. Biga, A. J. and Rosa, R., Contribution to the study of the solar radiation climate of Lisbon, *Solar Energy*, Vol. 23, pp. 61-67, (1979).
8. Schulze, R., *Strahlenklima der Erde*, Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt (1970).
9. Hay, J. E., A revised method for determining the direct and diffuse components of the total short-wave radiation, *Atmosphere*, Vol. 14, Number 4, (1976).

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
760158-1 från Statens råd för byggnadsforskning
till Sveriges meteorologiska och hydrologiska
institut, SMHI, Norrköping.**

R138: 1981

ISBN 91-540-3614-3

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700438

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 20 kr exkl moms