



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R19: 1974**

**Solinstrålning och  
solavskärmning**

**Gösta Brown**

**Engelbrekt Isfält**



**Byggforskningen**

*Sen*

# Solinstrålning och solavskärmning

## Gösta Brown & Engelbrekt Isfält

Utvecklingen inom byggnadstekniken har försvårat och fördyrat de åtgärder som krävs för att åstadkomma ett lämpligt inomhusklimat. Detta beror på att de tunga väggar som i äldre hus verkade dämpande på temperatursvängningarna nu ersatts av lättare konstruktioner. Bjälklagen isoleras ofta av undertak och heltäckande mattor, så att deras dämpande inverkan på temperatursvängningarna nästan helt försvinner. Lägre våningshöjder verkar också i ogynnsam riktning beroende på att de väggytor som omsluter rummet blir mindre. Fasaderna upptas till stor del av fönster och blir därför av liten betydelse för värmeackumuleringen. Denna utveckling har lett till problem med att momentant bortföra stora värmeöverskott. Detta måste ske genom ventilation i många fall kompletterad med artificiell kylning av luften.

Värmeöverskott från solinstrålningen genom fönstren blir ofta en avgörande post för dimensioneringen. Framför allt är detta fallet på våra breddgrader där solen står relativt lågt på himlen och därigenom träffar vertikala fönster med en liten infallsvinkel.

Rapporten redovisar när det gäller solinstrålning främst förhållandena vid klart väder. De beräkningsmetoder som avser fönstrens och solskyddens termiska egenskaper äger generell giltighet och är direkt användbara vid studier av solenergin utnyttjande.

En stor del av materialet har av praktiska skäl samlats i bilagor, en för arbetsdiagram, en för tabeller och en för beskrivning av indata till olika datorprogram.

Solstrålningens intensitet utanför jordens atmosfär uppgår till ca 1400 W/m<sup>2</sup> (solarkonstanten). I atmosfären reduceras intensiteten vid klart väder främst beroende på atmosfärens halt av vat-

tenånga och luftföroreningar. Högre fuktighet och fler partiklar ger också en större spridning av solinstrålningen varvid himmelsstrålningens andel av den totala strålningen ökar. Rekommenderade värden på intensiteten hos direkt solstrålning vid klar himmel grundas på finska mätningar. Dessa jämförs främst med resultat från svenska mätningar, även egna, men också med värden som ges av utomnordiska forskare. Strålningsvärden uppmätta i Helsingfors 1927–1933 (Lunelund 1936) och i Melbourne 1959–1961 (Spencer 1965) visar en mycket god överensstämmelse (TAB. 1).

Atmosfärens halt av vattenånga är av samma storleksordning under sommaren i Helsingfors och Stockholm som genomsnittligt under året i Melbourne. Även värdena från Stockholm visar god överensstämmelse med värdena i TAB. 1. Graden av luftföroreningar är inte på någon av orterna av en sådan storlek att väsentliga avvikelser har noterats.

För beräkning av solinstrålningen mot en yta krävs kännedom om solens läge i förhållande till ytan. Av betydelse är också skuggor från intilliggande föremål. I rapporten redovisas beräkningsunderlag utnyttjat i datorprogram och i grafiska metoder för bestämning av solens läge (sollägesdiagram), instrålningens intensitet mot vertikala och lutande ytor samt skuggors form. Verkan av fasta skärmar på fasaden och skuggning vid indragna fönster redovisas. Även himmelsstrålning och markreflekterad strålning beaktas i detta sammanhang.

Med tanke på ett eventuellt utnyttjande av solenergi ges en sammanställning av instrålningen från sol och himmel under genomsnittliga förhållanden.

Optiska egenskaper hos glas behandlas med utgångspunkt från grundlägg-

TAB. 1. Den direkta solstrålningens intensitet vinkelrätt mot strålningsriktningen enligt mätningar i Melbourne ( $I_{sp}$ ) och i Helsingfors ( $I_{sl}$ ). Värdena gäller vid luftfuktigheten 5,7 g/kg torr luft. Enhet W/m<sup>2</sup>.

Solhöjd	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$I_{sp}$	315	523	662	753	813	854	889	914	936	952
$I_{sl}$	357	527	648	730	784	827	860	878	898	927
$\frac{I_{sp}-I_{sl}}{I_{sp}} \cdot 100$	-13,3	-0,8	2,1	3,1	3,6	3,2	3,3	3,9	4,1	2,6

# Bygghforskningen Sammanfattningar

## R19:1974

Nyckelord:

solinstrålning, solavskärmning, beräkningsunderlag, datorprogram

Rapport R 19:1974 hänför sig till forskningsanslag D 705 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

UDK 551.521  
69.028.3  
681.3.06:551.521  
SfB (31)  
ISBN 91-540-2357-2

Sammanfattning av:

Brown, G & Isfält, E, 1974, *Solinstrålning och solavskärmning*, (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R 19:1974, 458 s. + 19 transp. diagram, ill. 80 kr exkl moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning. Figurtexterna är översatta till engelska.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403, 111 84 Stockholm  
Telefon: 08-24 28 60  
Grupp: installation

gande fysikaliska lagar (Fresnels formler, brytningslagen, Beers lag). Homogent glas kan härigenom karakteriseras av en enda parameter, t.ex. direkttransmissionen vid vinkelrätt infall, om brytningsindex antas vara lika för i praktiken förekommande glassorter. Ur diagram kan glasets absorption och reflexion sedan erhållas.

Glasets strålningsskyddande egenskaper kan förändras genom inblandning av färgämnen i glassmassan eller genom påförande av beläggning av olika slag. Tunna metallskikt utfällda på glasytan och metalliserad plastfilm klistrad på glasets förekommer. Beläggningar bestående av kombinationer av dielektriska skikt med olika brytningsindex gör det teoretiskt möjligt att erhålla varje önskad egenskap hos glasets. Genom interferens kan strålning med vissa våglängder utsläckas och andra förstärkas. Specialglas och beläggningar har studerats på grundval av litteratur- och tillverkaruppgifter.

Persienners optiska egenskaper har beräknats med härför utarbetat datorprogram. Beräkningarna förutsätter diffust reflekterande lameller. Hänsyn tas till ett oändligt antal reflexioner.

Gardinens egenskaper kan variera starkt beroende på vävens täthet och färg. Man har i USA föreslagit en klassificering av väven. Indelningen sker efter vävens täthet i tre grupper; tät, medeltät och gles, samt efter dess färg; medelmörk och mörk. En gardin kan genom en okulär besiktning hänföras till någon

av dessa grupper. Solskyddsverkan hos gardinen kombinerad med glas kan sedan beräknas med metoder redovisade i rapporten.

I den totala solvärmeinläckningen ingår en sekundär del som härrör från i fönstret absorberat solvärme. Denna leds utåt och inåt i proportioner som bestäms av värmemotstånden i respektive riktning. Dessa värmemotstånd varierar med såväl temperaturen hos ytorna och omgivningen som luftens hastighet och temperatur. Inverkan härav på solvärmetransmissionen har studerats. I normala fall är inverkan inte stor. Ett fullständigt beräkningsunderlag redovisas dock.

I frånluftsfönster bortförs en stor del av absorberat solvärme med evakueringsluften som leds genom fönstret. Den sekundära solvärmetransmissionen kan i detta fall beräknas först sedan temperaturerna i fönstrets olika delar bestämts. För beräkningen har ett datorprogram utarbetats.

Vid beräkningar är det praktiskt att sätta transmissionen genom ett fönster i relation till transmissionen genom ett referensfönster. Vi har valt den totala transmissionen genom ett oskyddat tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas som referens. Förhållandet kallas avskärmningsfaktor och betecknas med  $F$ . Avskärmningsfaktorer ges för total transmission av solvärme  $F_1$ , för den direkta transmissionen  $F_2$  samt i den mån uppgifter finns även för ljustransmissionen  $F_3$ .

Ett datorprogram har utvecklats som medger beräkning av avskärmningsfaktorerna för olika kombinationer av glas och solskydd (persienner, gardiner).

Med hjälp av detta program har underlag till FIG. 1 beräknats. Figuren ger avskärmningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för ett tvåglasfönster med olika värden på transmission, reflexion och absorption hos den yttre rutan och ett klarglas på insidan. De antagna värmemotstånden anges i figuren. Man ser att om det yttre glasets har en hög direkttransmission  $T$  har reflexionen  $R$  liten betydelse för avskärmningen. I rapporten ges avskärmningsfaktorer för fönster med olika typer av glas samt kombinationer av glas, gardiner och persienner. Som exempel visas i FIG. 2 inverkan av en persienns placering i ett tvåglasfönster. Persiennen kan betraktas som ett ganska starkt absorberande skikt. Placeringen har då stor betydelse. En invändig persienn avger det mesta av det absorberade solvärmets till rummet.

En fråga av största vikt i solskyddssammanhang är fönstrets transmission av dagsljus. I rapporten sammanfattas metoder för beräkning av dagsljuskvoten. Med hjälp av datorprogram har fördelningen i ett rum av diffust dagsljus från ett (eller flera) fönster kunnat studeras. Dessa metoder för bestämning av dagsljus gör det bl.a. möjligt att avgöra i vilken utsträckning artificiell belysning måste användas vid olika belysningskrav. Solvärme kan alltså vägas mot belysningsvärme vilket med exempel visas i rapporten.

Kostnader för anskaffning och underhåll av olika solskydd med hänsyn till även livslängd och rengöring, ges med utgångspunkt från offerter avseende mängder  $> 500 \text{ m}^2$  fönster. Stora prisvariationer förekommer vid upphandling i mindre antal enheter, men angivna kostnader bör vara till ledning framför allt vid prisjämförelser.

Vid jämförelser mellan solskydd måste utom skyddet mot solvärme, ljusförlusterna och kostnaderna även andra egenskaper beaktas. Här bör nämnas värmeisoleringsförmåga ( $k$ -värde), bländning, skydd mot direkt instrålning mot människor som vistas nära fönstren och mot ytor i rummet, skydd mot insyn och möjlighet till utsyn, ljudegenskaper och manöverbarhet. Dessutom måste estetiska synpunkter uppmärksammas. Valet av solskydd blir en kompromiss där de olika faktorerna får vägas efter kraven i det aktuella fallet.

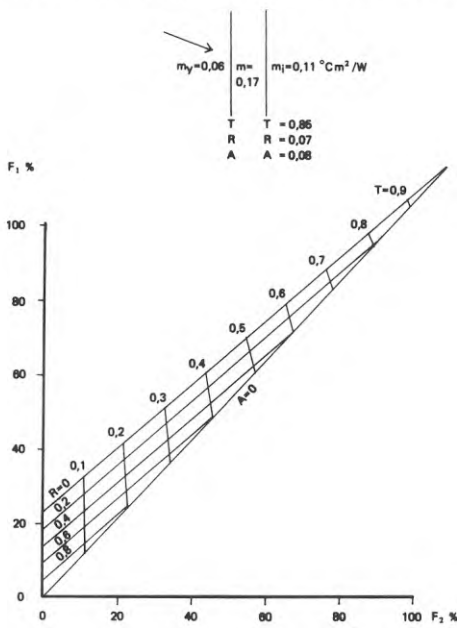


FIG. 1. Avskärmningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för tvåglasfönster. Det inre glasets utgörs av vanligt fönsterglas, det yttre karakteriseras av värdena på transmissionsfaktorn ( $T$ ) och reflexionsfaktorn ( $R$ ).  $A$  är absorptionsfaktorn.

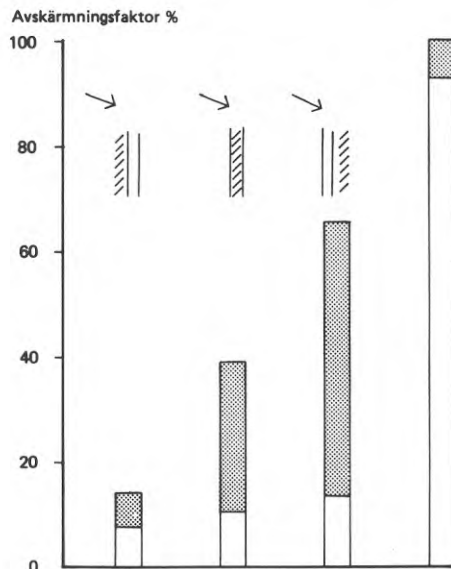


FIG. 2 Avskärmningsfaktorer hos ett tvåglasfönster med persienn vid olika placeringar och med lamellerna i  $45^\circ$  lutning. Staplarnas ljusa del representerar direkttransmissionen (dvs  $F_2$ ), den mörka delen sekundärtransmissionen ( $F_1 - F_2$ ). Stapeln längst till höger avser referensfönstret ( $F_1 = 100\%$ ).

# Solar irradiation and sun shading devices

Gösta Brown & Engelbrekt Isfält

Progress in building techniques has increased the cost and degree of difficulty of the measures necessary in order to achieve a suitable indoor climate. This is due to the fact that the heavy walls found in older buildings reduced the effect of fluctuations in indoor temperature and that these have now been ousted by lightweight structures. Floor slabs are nowadays often insulated by suspended ceilings and wall-to-wall carpeting with the result that their damping effect on variations in temperature is almost entirely eliminated. Lower ceiling heights also have an unfavourable effect due to the consequent decrease in the area of wall enclosing storeys. Facades consist to a large extent of windows and are therefore of little significance in respect of heat accumulation. This trend has caused problems in quickly removing the marked heat surplus. This must be done by means of ventilation, in many cases with the addition of artificial cooling of the air.

Heat gain deriving from solar irradiation through windows is often a decisive factor when designing such systems. This is particularly true in latitudes such as ours where the sun is fairly low in the sky so that the rays penetrating vertical windows have a small angle of incidence.

In respect of solar irradiation the present report concentrates on conditions recorded in fair weather. The methods used for calculations connected with windows and the thermal properties of sun-shading devices are generally valid and can be applied without the need for further modification in studies of the utilizations of solar energy.

For practical reasons a large amount of the material has been presented in the form of appendixes to the report — one containing working diagrams, one

TAB 1. Intensity of direct solar radiation perpendicular to the rays according to measurements in Melbourne ( $I_{Sp}$ ) and in Helsinki ( $I'_{SL}$ ). The values apply for a level of air humidity corresponding to 5,7 g/kg dry air. Unit  $W/m^2$ .

Solar altitude	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$I_{Sp}$	315	523	662	753	813	854	889	914	936	952
$I'_{SL}$	357	527	648	730	784	827	860	878	898	927
$\frac{I_{Sp}-I'_{SL}}{I_{Sp}} \cdot 100$	-13,3	-0,8	2,1	3,1	3,6	3,2	3,3	3,9	4,1	2,6

containing tables and one containing details of the input data used for various computer programs.

The intensity of solar radiation outside the Earth's atmosphere is approximately  $1400 W/m^2$  (solar constant). Penetrating the atmosphere the intensity decreases when the weather is clear largely due to the amount of water vapour and air pollutants present in the atmosphere. A higher level of humidity and a greater amount of particulate matter also cause greater dispersion of solar irradiation thus increasing the proportion of radiation emanating from the sky in relation to the total amount of radiation. The values recommended for the intensity of direct solar radiation from a clear sky are based on measurements recorded in Finland. These are compared with results of similar measurements recorded in Sweden, these being in part the authors' but also in part values recorded by foreign researchers. Amounts of radiation recorded in Helsinki over the period 1927–1933 (Lunelund 1936) and in Melbourne over the period 1959–1961 (Spencer 1965) show an extremely good measure of agreement (TAB. 1.).

The content of water vapour in the atmosphere in Helsinki and Stockholm is of the same magnitude for the summer months as the average for Melbourne all the year round. The values for Stockholm also show a good level of agreement with the values in TAB. 1. The amount of air pollutants present is not so great in any of the places as to result in any observations of deviation. The report includes material for calculations processed by means of computer techniques and used in graphic methods for determining the position of the sun, intensity of irradiation under clear conditions on surfaces with arbit-

## National Swedish Building Research Summaries

R19:1974

Key words:

solar irradiation, sun shading devices, basic facts, computer program

Report R19:1974 refers to Grant D 705 from the National Swedish Council for Building Research to Department of Heating & Ventilation, Royal Institute of Technology, Stockholm.

UDC 551.521  
69.028.3  
681.3.06:551.521  
SfB (31)  
ISBN 91-540-2357-2

Summary of:

Brown, G & Isfält, E, 1974, *Solinstrålning och solavskärmning*. Solar irradiation and sun shading devices. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R 19:1974, 458 pp. + 19 transp. diagrams, ill. 80 Sw. Cr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries. Captions in English.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403  
S-111 84 Stockholm  
Sweden

rary orientation, the shape and effect of shadows etc.

In view of the possibility that solar energy may be harnessed in the future, values are included showing irradiation from sun and sky under average conditions.

The optical properties of glass are dealt with on the basis of the fundamental rules laid down by the science of physics (Fresnel's formulae, the law of refraction and Beer's Law).

The ability of the glass used to prevent penetration of radiation can be altered by adding pigments to it in its molten state or by coating it with various types of substances. Thin films of metal precipitated on to the surface of glass and metallized films of plastic fixed to glass are also found. Coatings consisting of combinations of dielectrical films with varying indexes of refraction make it theoretically possible to endow the glass with any required property (by interference). Special types of glass and coatings have been studied with due reference to literature and to data provided by manufacturers.

The optical properties of venetian blinds have been calculated. The calculations assume that the slats of the blinds are diffuse reflecting surfaces. An infinite number of reflections is taken into account.

The properties of curtains may vary greatly depending upon the closeness of the weave and the colour of the fabric. In the USA, classification of weaves has been suggested. Fabrics are thereby divided into groups according to the closeness of the weave and to their colour. Curtains can be placed in any one of these groups following visual scrutiny.

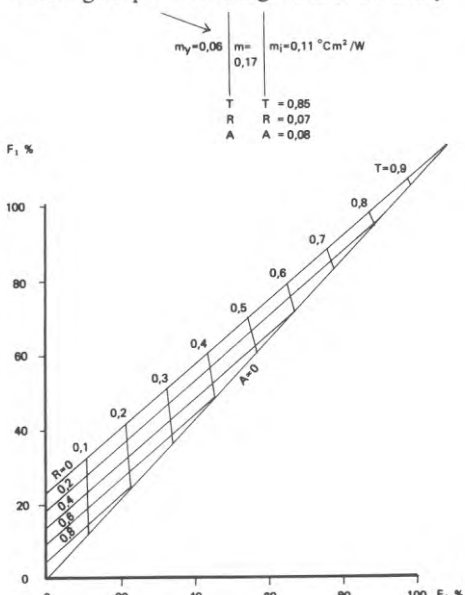


FIG. 1. Shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  for double-glazed windows. The inner pane consists of ordinary window glass while the outer pane is characterized by values for the transmission factor (T) and the reflection factor (R). A is the absorption factor.

The shading effect of the curtain combined with the glass can then be calculated, with the aid of methods given in the report.

The total amount of solar heat gain contains a secondary element in the amount of solar heat absorbed by a window. Full data on which to base calculations is provided. In the case of windows incorporating exhaust air devices, a large quantity of the solar heat absorbed is removed with the air evacuated via the window. In this case the secondary solar heat transmission can only be calculated after the temperatures in the different parts of the window have been determined. A computer program has been written as an aid to calculation.

In making calculations it is practical to compare the transmission through windows with transmission through a reference window. We chose the total transmission through an unshaded double-glazed window with panes of ordinary window glass as an item of reference. The relationship is termed the shading coefficient and is represented denoted by F. Shading coefficients are given for total transmission of solar heat  $F_1$ , for direct transmission  $F_2$  and insofar as data are available also for light transmission  $F_3$ .

A computer program has been developed which permits calculation of the shading coefficients for different combinations of glass and sun shading devices (venetians, curtains). The basis for FIG. 1 was established with the aid of this program. The figure gives the shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  for a double-glazed window showing different values for transmission, reflection and absorption for the outer pane; the

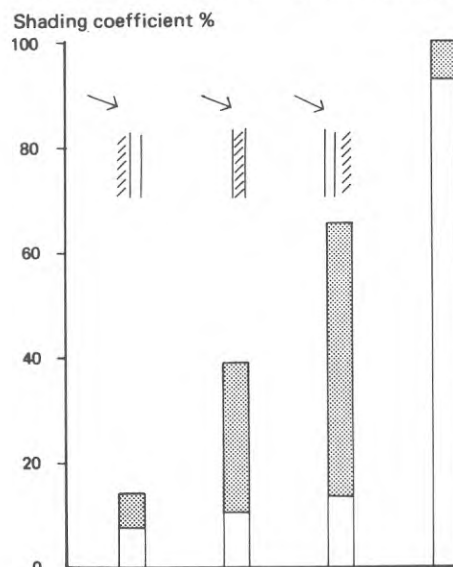


FIG. 2. Shading coefficient for double-glazed window with venetian blind in different positions and with slats at an angle of  $45^\circ$ . The blank part of the bars represents the direct transmission (i.e.  $F_2$ ) and the shaded part the secondary transmission ( $F_1 - F_2$ ). The bar on the far right represents the reference window ( $F_1 = 100\%$ ).

outer pane was varied in respect of properties while the inner pane remained the same. The levels of thermal resistance assumed are indicated in the figure. We note that if the outer pane has a high level of direct transmission T, the reflection R is of little significance to shading.

The report gives shading coefficients for different types of glass and for combinations of glass, curtains and venetian blinds. As an example, the effect of the positioning of a venetian blind in a double-glazed window is shown in FIG. 2. Venetian blinds may be regarded as having a fairly high absorption capacity and the position they occupy is therefore of great significance. A venetian blind on the inside of a window releases most of the solar heat it absorbs into the room behind.

A question of vital importance in the context of sun-shading devices is the transmission of daylight through the window. The report briefly describes methods for calculating the daylighting. It has been possible to study the distribution of diffuse daylight in a room with one (or more) window(s) with the aid of a computer program. These methods for determination of daylighting levels make it possible, for example, to establish to what extent artificial lighting must be used in connection with different illumination requirements. Solar heat can also be considered in the context of heat emitted by lighting arrangements, as examples in the report illustrating.

The cost of installing and maintaining different types of sun-shading devices with reference to life expectancy and cleaning is given on the basis of quotations referring to quantities in excess of  $500 \text{ m}^2$  windows. Great variations occur in terms of price when contracting for small numbers of units, but the costs listed should provide some guidance in particular when attempting price comparisons.

When comparing different sunshading devices other properties must be taken into account in addition to the protection afforded against solar heat, light losses and cost. Points to bear in mind here are thermal insulation capacity (U-value), glare, protection against direct irradiation on to persons present in the vicinity of windows and on to surfaces in rooms, protection of privacy while preserving the means of seeing out, acoustic properties and manoeuvrability. In addition the aesthetic aspects must be kept in view. The choice of a sun-shading device will represent a compromise where the various factors must be considered in the context of the case on hand.

R 19: 1974

SOLINSTRÅLNING OCH SOLAVSKÄRMNING  
SOLAR IRRADIATION AND SUN SHADING DEVICES

Gösta Brown & Engelbrekt Isfält

Denna rapport hänför sig till anslag D 705 från Statens råd för byggnadsforskning till G Brown och E Isfält, Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik KTH, Stockholm.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-2357-2

LiberTryck Stockholm 1975



## INNEHÅLL

KAP. 1	Solstrålningens fysik	5
KAP. 2	Bestämning av strålning från sol och himmel mot byggnaders ytterytor	83
KAP. 3	Strålningstransmission genom fönster	141
KAP. 4	Inverkan av orientering och utformning av fasaden på solinstrålningen genom fönster	233
KAP. 5	Metoder för mätning av solvärmeinläckning genom fönster	253
KAP. 6	Solskydd	261
KAP. 7	Dagsljus från vertikala fönster med och utan solskydd	351
KAP. 8	Solskyddens konstruktiva utformning Kostnader	387
Litteratur		409
Bilagor:	I Diagram	417
	II Tabeller	439
	III Datorprogram	451

## CONTENTS

CHAP. 1	Physics of solar radiation	5
CHAP. 2	Determination of solar and sky radiation on exterior surfaces	83
CHAP. 3	Radiation transmission through windows	141
CHAP. 4	Solar radiation through windows - influence of orientation and configuration of facade of building	233
CHAP. 5	Methods for measuring solar heat gain through windows	253
CHAP. 6	Sun shading devices	261
CHAP. 7	Daylight from vertical windows with and without sun shades	351
CHAP. 8	The construction of sun shading devices Costs	387
	Literature	409
Annexes:	I Diagrams	417
	II Tables	439
	III Computer programs	451

## KAP. 1 SOLSTRÅLNINGENS FYSIK

## INNEHÅLL

Beteckningar, använda i kap. 1	6
Denominations	8
Captions	11
1.1 Allmänt	18
1.11 Solen som strålningskälla	18
1.12 Våglängd och strålningsegenskaper	19
1.13 Grundläggande strålningslagar	21
1.131 Strålningens emission	21
1.132 Strålningens absorption, reflexion och transmission	26
1.14 Solstrålningens transmission genom atmosfären	28
1.15 Jordens och atmosfärens värmebalans	32
1.2 Sol- och himmelsstrålningens intensitet	35
1.21 Den direkta solstrålningens intensitet vid klart väder	35
1.211 Mätningar i Finland och Sverige	35
1.212 Utomnordiska undersökningar	45
1.22 Himmelsstrålningens intensitet vid klar himmel	48
1.23 Värden på instrålningen från sol och himmel under genomsnittliga förhållanden	51
1.3 Sol- och himmelsstrålningens reflexion och absorption vid ytor	54
1.31 Diffust reflekterande ytor	54
1.32 Spegelreflekterande ytor	54
1.33 Ytor av mark och byggnader	57
Tabeller	61
Figurer	66

## BETECKNINGAR ANVÄNDA I KAP. 1

A	absorptionsfaktor (dimensionslös); konstant
a	absorptionskoefficient, $m^{-1}$
B	konstant
b	lufttryck, mm Hg; brytningsvinkel, grader
$C_s$	strålningstal hos svart kropp, $W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$
$c_1, c_2, c_3, c_{max}$	konstanter
E	emissionsförmåga, $W/m^2$
e	vattenångans tryck, mm Hg
h	solhöjd, grader
I	strålningsintensitet, $W/m^2$
$I_0$	solarkonstanten, $W/m^2$
$I_\lambda$	intensitet hos monokromatisk strålning, $W/m^3$
i	infallsvinkel, grader
$K_{sN}$	konstant
m	luftmassa, dimensionslös
n	brytningsindex, dimensionslös
R	reflexionsfaktor, dimensionslös
r	reflexionsfaktor vid en yta, dimensionslös
s	tjocklek hos ett materialskikt, m
T	absolut temperatur, K; transmissionsfaktor, dimensionslös
t	transmissionsfaktor vid en yta, dimensionslös
w	mängd utfällbart vatten, mm
x	luftens absoluta fuktighet, g/kg torr luft
$\alpha$	absorptionsfaktor för ett transparent materialskikt, dimensionslös; vinkeln mellan strålningsriktningen och normalen vid en yta, grader
$\epsilon$	emissionsfaktor, dimensionslös

- $\kappa$  extinktionskoefficient, dimensionslös
- $\lambda$  våglängd,  $\mu\text{m}$
- $\tau$  transmissionsfaktor för ett transparent materialskikt, dimensionslös

Index enligt följande anger att strålningsvärdet gäller:

utanför atmosfären	o
monokromatisk strålning	$\lambda$
strålning emitterad från svart kropp	s
direkt solstrålning	D
diffus strålning (från himlen)	d
i solstrålarnas riktning eller i ytnormalens riktning vid strålning från en yta	N
mot horisontell yta	H
vid inträdet	i
vid utträdet	u
under vintermånader	W
under sommarmånader	S
enligt vissa uppställda ekvationer	E
enligt Lunelund	L
enligt Spencer	Sp
enligt Rao och Seshadri	R+S
efter reflexion	r
efter reflexion parallellt med infallsplanet	//
efter reflexion vinkelrätt mot infallsplanet	⊥

Denominations used in chap. 1

- A absorbtance (dimensionless); constant
- a absorption coefficient,  $m^{-1}$
- B constant
- b air pressure, mm Hg; angle of refraction, degrees
- $C_s$  Stefan-Boltzmann's constant,  $W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$
- $c_1, c_2, c_3, c_{max}$  constants
- E emissive power,  $W/m^2$
- e water vapor pressure, mm Hg
- h solar altitude, degrees
- I solar intensity,  $W/m^2$
- $I_o$  the solar constant,  $W/m^2$
- $I_\lambda$  intensity of monochromatic radiation,  $W/m^3$
- i incident angle, degrees
- $K_{sN}$  constant
- m air mass, dimensionless
- n refraction index, dimensionless
- R reflectance, dimensionless
- r reflectivity of an interface, dimensionless

s	thickness of a material, m
T	absolute temperature, K; transmittance, dimensionless
t	transmittivity of an interface, dimensionless
w	amount of precipitable water, mm
x	absolute humidity of the air, g/kg dry air
$\alpha$	absorbance for a transparent material, dimensionless; the angle between the direction of a ray and the perpendicular of a surface, degrees
$\epsilon$	emittance, dimensionless
$\kappa$	extinction coefficient, dimensionless
$\lambda$	wave length, $\mu\text{m}$
$\tau$	transmittivity for a transparent material, dimensionless

Index as shown in the following indicates that the radiation refers to:

beyond the atmosphere	o
monochromatic radiation	$\lambda$
radiation emitted from a black body	s
direct solar radiation	D
diffuse (sky) radiation	d
in the direction of the sun's rays or in the direction of the surface perpendicular for radiation from a surface	N
meeting a horizontal surface	H

on entry	i
on exit	u
in winter	W
in summer	S
according to given equations	E
according to Lunelund	L
according to Spencer	Sp
according to Rao and Seshadri	R+S
after reflexion	r
after reflection parallell to the plane of incidence	//
after reflexion perpendicular to the plane of incidence	⊥



## CAPTIONS

- TAB. 1.21a. Maximum and average values of direct solar radiation on a surface perpendicular to the path of the ray expressed in  $\text{cal/cm}^2\text{min}$  at clear weather according to seven years' records in Helsinki. According to Lunelund.
- TAB. 1.21b. Intensity of direct solar radiation on a surface perpendicular to the path of the ray, at clear weather and varying sun altitude, according to Lunelund (1936) and according to equations made for calculations based on Lunelund's values.
- TAB. 1.21c. Direct solar radiation intensity  $I_{\text{DN}}$  according to equation (1.27) (average maximum values) and its rate of decrease per increased mm Hg of air moisture, according to equation (1.28), at some different sun altitudes.
- TAB. 1.21d. Temperature and absolute air moisture (g/kg dry air) in Helsinki and Stockholm.
- TAB. 1.21e. Average values of direct solar radiation in clear weather according to figures from Melbourne ( $I_{\text{SP}}$ ) and Helsinki ( $I'_{\text{SL}}$ ). The Helsinki figures are Lunelund's average values for May-September. To facilitate a comparison they have been converted to value for average distance to the sun. Unit  $\text{W/m}^2$ .
- TAB. 1.21f.  $I_{\text{DN}}$ -values according to Rao & Seshadri (FIG. 1.21d) at an aerosol concentration of 300 particles per  $\text{cm}^3$  and an amount of precipitable water of 10 and 3,5 mm respectively, and according to Lunelund.

Lunelund's values have been converted so that  $I'_{SL}$  in the table indicates the average for May-September,  $I'_{WL}$  the average for October-April. To make comparison easier they are converted to values for average distance to the sun. Unit:  $W/m^2$ .

TAB. 1.32a. Reflected portion of direct solar radiation on a calm water-surface, as a function of the sun's altitude.

TAB. 1.33a. Reflectance of solar radiation on ground surface and exterior surfaces of buildings.

FIG. 1.1a. Radiation can be regarded as an oscillatory motion. Normally, non-polarised light oscillates in all directions perpendicular to the direction of the ray. The figure shows oscillations in two planes at an angle of  $90^\circ$  to one another.

FIG. 1.11a. Solar radiation intensity at different wave-lengths, at the upper limit of earth's atmosphere and at the average distance between the sun and the earth. The dotted lines indicate black body radiation at a temperature of 6000 and  $5700^\circ K$  respectively. Ordinate is the intensity of the radiation in  $W/cm^2$  in a frequency band of  $1 \mu m$ . After Johnson (1954).

FIG. 1.11b. Earth's orbit around the sun is elliptical. The sun is situated in one of the focal points of this orbit.

FIG. 1.11c. Ratio of solar radiation intensity at outer limit of atmosphere in different months to the intensity at average sun distance i.e. to the solar constant. When the distance is the shortest, around the 1st of January, the intensity is the highest.

FIG. 1.12a. Sensitivity of the skin to radiation within the erythema zone (maximum sensitivity = 100 %). According to Pleijel (1954).

FIG. 1.12b. Sensitivity of the eye at different wavelengths. Maximum sensitivity = 100 %.

FIG. 1.13a. Relative spectral radiation intensity from a black body according to equation (1.5) as a function of the product  $\lambda T$  where  $T$  is the temperature of the body and  $\lambda$  is an arbitrarily chosen wavelength.

FIG. 1.13b. Intensity of black-body radiation in different directions according to Lambert's law.

FIG. 1.13c. Radiation on an inclined surface.

FIG. 1.13d. Emittance in different direction of some materials. a) wet ice b) wood c) glass d) paper e) clay f) oxide of copper g) crude corundum (oxide of aluminium). The temperature of the radiant metallic materials was approximately  $150^{\circ}\text{C}$ , of the non metallic surfaces between  $0$  and  $90^{\circ}\text{C}$ . According to E. Schmidt and E. Eckert, Forsch. Gebiete Ingenieursw., 6:175 - 183 (1935).

FIG. 1.13e. Theoretically (lines) and empirically (dots) determined values of the ratio: semispherical emittance to perpendicular emittance. According to E Schmidt and E Eckert, Forsch. Gebiete Ingenieurw., 6:175-183 (1935).

FIG. 1.13f. Reflectance and absorptance of monochromatic radiation impinging on different surfaces (according to W Sieber). a) Aluminium, b) non-metallic surfaces, c) thin film of water.

FIG. 1.13g. Reflectance and absorptance of different surfaces of blackbody radiation with the temperature  $T$  (according to W Sieber):  
1. White fireclay, 2. asbestos board,  
3. cork, 4. wood, 5. porcelain, 6. concrete,  
7. roofing felt, slate, 8. polished aluminium,  
9. graphite.

FIG. 1.14a. Variations in the so called air mass  $m$  in relation to the sun's altitude. Atmospheric pressure = 760 mm Hg.

FIG. 1.14b. Spectral distribution as a function of wavelength of direct solar radiation incident at sea level on a surface perpendicular to the sun's rays for slant paths of air mass 1.0 to 8.0. Amount of precipitable water, 10 millimeters; of aerosol, 200 particles per cubic centimeter; of ozone, 0.35 centimeter. According to Gates (1966).

FIG. 1.15a. Spectral distribution of the intensity of the global and direct solar radiation incident at sea level on a horizontal surface, for various slant paths corresponding to air mass 1.0, 1.5, 2.0 and 4.0. According to Gates (1966).

FIG. 1.15b. At snow-covered ground and clouded sky repeated reflexions occur between snow surface and clouds. According to Liljequist (1962).

FIG. 1.15c. Heat balance of earth and atmosphere. The left part of the figure illustrates the distribution of incoming solar radiation and the right part shows heat exchange between earth and atmosphere and long-wave radiation towards space. According to Threlkeld, (1962).

FIG. 1.15d. Earth's position to the sun at mid-summer and mid-winter on the northern hemisphere. Angles given at Earth's surface indicate the sun altitude at noon, exact sun-time. After Liljequist (1962).

FIG. 1.21a. Intensity of solar radiation on a surface perpendicular to the sun's rays at clear weather and as a function of solar altitude. Curves for different months according to Lunelund (1936), curves for winter (October-April) and for summer (May-September) according to equations (1.22-1.25).

FIG. 1.21b. Intensity of solar radiation on a surface perpendicular to the sun's rays  $I_{DN}$ , according to Lunelund's summer and winter values and measurements of the Royal Institute of Technology (KTH) and the Swedish meteorological and hydrological institute (SMHI). The curve "SMHI korr." gives the SMHI values after multiplication by a factor  $K = 1,5/(1 + \sin h)$ . In this way a smaller portion of the global radiation will be attributed to direct solar radiation at low sun altitudes.

FIG. 1.21c. Intensity of direct solar radiation on a surface perpendicular to the sun's rays on clear days as a function of sun altitude according to the measurements of Lunelund (annual average) and according to Moon's calculations

- FIG. 1.21d. Intensity of direct solar radiation on a surface perpendicular to the sun's rays on clear days, as a function of sun altitude at 760 millimeter Hg atmospherical pressure and at varying amounts of aerosols and precipitable water, according to Rao & Seshadri (1961). Unit:  $\text{gcal/cm}^2/\text{minute}$ .
- FIG. 1.22a. Intensity of sky radiation on a horizontal surface,  $I_{dH}$ , according to different sources.
- FIG. 1.23a. Distribution of the annual solar and sky radiation over Sweden. Unit:  $\text{kcal/cm}^2$ . According to Ångström (1958).
- FIG. 1.23b. Mean frequency of daily duration of sunshine in Stockholm according to Lindholm (1955).
- FIG. 1.23c. Monthly averages of registered duration of sunshine in Stockholm divided by astronomically possible duration of sunshine. (SMHI 1931-1960.)
- FIG. 1.23d. Total solar and sky radiation and radiation from only the sky for the different months in Stockholm. For comparison, also the monthly average of temperature is indicated. According to Ångström, (1958).
- FIG. 1.32a. Reflexion and refraction of a ray striking a specular reflecting surface of a transparent substance.
- FIG. 1.32b. Reflected portion  $r$  of non-polarized radiation on a reflecting surface of a material with refractive index = 1.520, like glass or some bonding agent. Reflected radiation consists of two components, one

polarized parallel to, the other at right angle to the plane of incidence. Reflexion factors are designated by  $r_{\parallel}$  and  $r_{\perp}$ .  $r$  has been calculated from the two components according to equation  $r = (r_{\parallel} + r_{\perp})/2$ .

FIG. 1.33a. Reflexion from a painted high-gloss surface.

FIG. 1.33b. Reflexion from a painted semi-flat surface.

FIG. 1.33c. Reflexion from an uneven, corrugated or textured surface.

## 1 SOLSTRÅLNINGENS FYSIK

### 1.1 Allmänt

Värmestrålningen, den del av strålningen från solen som skall behandlas här, har egenskaper som är karakteristiska för en vågrörelse vid vilken svängningarna sker transversellt, alltså vinkelrätt mot strålarnas riktning, se FIG. 1.1a. Strålarna bildar ett oscillerande elektriskt och magnetiskt fält. De är sålunda av samma natur som andra elektromagnetiska vågor, såsom röntgenstrålar, radiovågor etc.

Den strålning en kropp sänder ut har vanligtvis inte en och samma våglängd, den är inte "monokromatisk". Strålningen innehåller både kortare och längre vågor, den avges inom ett visst "våglängdsområde". Våglängden är beroende av kroppens temperatur på sådant sätt att ju högre temperaturen är desto kortare är våglängden för huvuddelen av den utsända energin.

#### 1.11 Solen som strålningskälla

Solen är ju en kropp med mycket hög temperatur. Den är helt och hållet uppbyggd av heta gaser, mest väte och helium. I centrum beräknas temperaturen vara 15 miljoner  $^{\circ}\text{K}$ . Energin uppstår genom kärnreaktioner. Man har beräknat att 564 milj. ton väte övergår till 560 milj. ton helium varje sekund. Skillnaden, 4 milj. ton, omvandlas därvid till energi, huvudsakligen i form av gammastrålning. Genom en serie absorptions- och emissionsprocesser övergår sedan gammastrålningen till mera långvågig strålning, bl.a. synlig strålning, ljus, under passagen av solmaterien. I solens yttre delar sker energitransporten även genom värmerörelser, konvektion. En del av strålningen ut i rymden sker i form av radio- och röntgenstrålning. Hela den utstrålade effekten är  $4 \cdot 10^{26}$  W. Mindre än en miljarddel därav träffar jorden (enligt FOCUS, 1965).



Den del av solen man kan observera direkt, den lysande solskivan, kallas fotosfären. Den är det innersta skiktet av den s.k. solatmosfären, vars övriga delar utgörs av kromosfären och koronan. I fotosfären, som har en tjocklek av några hundra kilometer, är temperaturen 6000 °K.

I FIG. 1.11a ser man hur den värmestrålning från solen som når jordens atmosfär fördelas på olika våglängder. Våglängden  $\lambda$  mätes i  $\mu\text{m}$ , dvs. mikrometer ( $=10^{-6}\text{m}$ ). Per sekund och  $\text{cm}^2$  mottar en yta utanför jordatmosfären ungefär dubbelt så mycket solenergi av våglängden 0,45  $\mu\text{m}$  som av våglängden 0,8  $\mu\text{m}$ , intensiteten är dubbelt så stor. Integrerar man intensiteten  $I_{o\lambda}$  över alla våglängder får man hela effekten per  $\text{cm}^2$ , solarkonstanten:

$$I_o = \int_0^{\infty} I_{o\lambda} d\lambda \quad (1.1)$$

Enligt Gates (1966) är det för närvarande mest allmänt accepterade värdet på solarkonstanten 2,00 gramkalorier per  $\text{cm}^2$  och minut, dvs. 1396  $\text{W}/\text{m}^2$ . Eftersom solens värmestrålning är begränsad till våglängder mellan 0,15 och 4  $\mu\text{m}$  kan integrationsgränserna i ekv. (1.1) bytas mot dessa värden.

Solarkonstanten anger solstrålningens intensitet vid medelavstånd till solen. Avståndet varierar under året och därmed också intensiteten, se FIG. 1.11b och 1.11c. Observera att avståndet är minst omkring 1 januari, dvs. då det är vinter på norra halvklotet, och att intensiteten då är över 3 % större än vid medelavstånd.

### 1.12 Våglängd och strålningsegenskaper

Strålning av olika våglängd har mycket olika egenskaper, både fysikaliskt och fysiologiskt. I avseende på de fysikaliska egenskaperna är det särskilt variationen ifråga om strålningens reflexion, absorption och

transmission som är av intresse när det gäller solinstrålning och solavskärmning (se avsnitt 1.3 och 3). Vad beträffar människokroppens reaktioner för strålningen från sol och himmel kan nämnas den erytemkänslighet som huden har i ett starkt begränsat våglängdsområde omkring  $0,3 \mu\text{m}$ , se FIG. 1.12a. Av större betydelse är ju emellertid att en del av strålningen är synlig (FIG. 1.12b). Ögat är känsligast för de våglängder vid vilka sol- och himmelsstrålningen har störst intensitet vid markytan, se 3.24.

Man måste ta hänsyn till ögats känslighetskurva då man studerar egenskaperna hos fönsterglas och solskydd. Skulle man vilja utestänga så mycket solvärme som möjligt vid ett fönster utan att minska ljusinsläppet så skulle man helst ha ett fönsterglas vars utsida reflekterade all strålning med våglängder under  $0,4 \mu\text{m}$ , ultraviolett strålning, och över  $0,7 \mu\text{m}$ , infraröd strålning, men transmitterade all strålning inom detta våglängdsintervall, synlig strålning. Om glaset reflekterade en del av strålningen även inom detta intervall skulle det dock bli ljusare inomhus om strålning med t.ex. våglängden  $0,66 \mu\text{m}$  reflekterades starkare än strålning med t.ex. våglängden  $0,54 \mu\text{m}$ . Ögat är ju, som man kan se av FIG. 1.12b, känsligare för den sistnämnda strålningen än för den förstnämnda. Dessutom ger sol och himmel i allmänhet något starkare strålning vid våglängden  $0,54 \mu\text{m}$ .

All strålning av tillräcklig intensitet känns varm, när den absorberas av huden. Strålningsenergin omvandlas ju då till värme som höjer ytans temperatur. Med benämningen värmestrålning avser man ibland strålning med större våglängd än den synliga, dvs. infraröd strålning. I denna framställning avses emellertid med värmestrålning även strålning med kortare våglängder.

I detta sammanhang bör kanske nämnas att flera olika enheter används för våglängd. Utom  $\mu\text{m}$  (i engelskspråkig text oftast skrivet " $\mu$ " eller "micron") förekommer den

tusen gånger mindre enheten nm, utläst "nanometer". Det synliga området blir då 400-700 nm. Även ångströmsenheten används ofta. Eftersom  $1\text{\AA} = 10^{-10}\text{ m}$  är då våglängdsområdet för synlig strålning 4000-7000 Å.

Ibland, särskilt i äldre litteratur, skriver man  $\mu$ , utläst "my" eller "mikron", i stället för  $\mu\text{m}$ , och  $m\mu$ , utläst "millimikron", i stället för nm.

### 1.13 Grundläggande strålningslagar

#### 1.131 Strålningens emission

Alla kroppar avger värmestrålning. Strålningens intensitet, uttryckt i  $\text{W}/\text{m}^2$ , kan anges som funktion av intensiteten per våglängdsenhet,  $I_\lambda$ , enligt ekvationen

$$I = \int_0^\infty I_\lambda d\lambda$$

$I_\lambda$  är intensiteten av monokromatisk strålning, dvs. strålning vid vilken alla strålar har samma våglängd. I normalens riktning från ytan av en svart kropp, dvs. en kropp vars yta förutsättes inte kunna reflektera någon strålning, är intensiteten

$$I_{\lambda sN} = \frac{2 c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (1.2)$$

där  $T$  är absoluta temperaturen. Detta är Plancks lag.

Konstanterna har värdet

$$c_1 = 0,5954 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$$

$$c_2 = 1,439 \cdot 10^{-2} \text{ m}^\circ\text{K}$$

om i ekvationen insättes  $\lambda$  uttryckt i m, varvid  $I_{\lambda sN}$  får dimensionen  $\text{W}/\text{m}^3$ .

Ur Plancks lag kan man härleda Wiens förskjutningslag

$$\lambda_{\max} T = c_3 \quad (1.3)$$

där  $\lambda_{\max}$  är våglängden för strålningen med den maximala intensiteten. Ju högre temperaturen hos den strålade kroppen är, desto kortare är våglängden för huvuddelen av den utsända strålningsenergin.

Om  $\lambda_{\max}$  uttryckes i  $\mu\text{m}$  är  $c_3 = 2900$ . Om t.ex.  $T = 290^\circ\text{K} = 17^\circ\text{C}$  får man  $\lambda_{\max} = 10 \mu\text{m}$ . Om  $T = 6000^\circ\text{K}$  blir  $\lambda_{\max} = 0,483 \mu\text{m}$ .

Med hjälp av Plancks lag kan också visas att

$$I_{\lambda s N \max} = c_{\max} \cdot T^5 \quad (1.4)$$

där

$$c_{\max} = 4,095 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^3 \text{ }^\circ\text{K}^5$$

Den maximala intensiteten av strålningen från en yta är alltså proportionell mot femte potensen av den absoluta temperaturen hos ytan.

Ekv. (1.2) och (1.4) ger

$$\frac{I_{\lambda s N}}{I_{\lambda s N \max}} = \frac{2 c_1}{c_{\max}} \frac{1}{(\lambda T)^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} = f \quad (1.5)$$

Vill man beräkna intensiteten hos strålningen från en yta med temperaturen  $T$  vid ett visst värde på  $\lambda$  kan man beräkna maximalvärdet ur ekv. (1.4) och multiplicera detta värde med  $f$ , som man kan avläsa ur FIG. 1.13a.

I FIG. 1.11a kan man göra en jämförelse mellan intensiteten vid olika våglängder hos solstrålningen och hos strålningen från svarta kroppar med temperaturen  $6000$  och  $5700^\circ\text{K}$ . I det ultravioletta området är av-

vikelserna ganska stora, mest beroende på att en del av strålningen absorberas i solatmosfärens yttre delar.

Strålningen från solen och strålningen från föremål som har ungefär jordytans temperatur ligger inom skilda våglängdsområden. Detta kan man se om man som ett exempel beräknar mellan vilka gränser intensiteten för strålningen från en svart kropp med  $20^{\circ}\text{C}$  temperatur är större än 5 % av den maximala strålningsintensiteten.

FIG. 1.13a (vid noggrannare beräkningar se tabeller i Harrison (1960)) ger omedelbart att intensiteten överstiger 5 % då  $\lambda T$  har värden mellan 1140 och 12000. Eftersom  $T = 273 + 20 = 293^{\circ}\text{K}$  blir gränsvärdena för våglängdsområdet  $\lambda = 1140/293 = 3,9 \mu\text{m}$  resp.  $\lambda = 12000/293 = 41 \mu\text{m}$ .

Av den energi som en svart kropp med temperaturen  $20^{\circ}\text{C}$  utstrålar utgörs en ytterst obetydlig del, 0,14 %, enligt Harrison (1960), av sådan strålning som har kortare våglängd än  $3,9 \mu\text{m}$  (5,5 % har större våglängd än  $41 \mu\text{m}$ ).

Solstrålning och strålning från föremål med rums- eller atmosfärstemperatur omfattar således två från varandra skilda våglängdsområden och kan därför kallas kortvågig strålning resp. långvågig strålning.

Detta har mycket stor betydelse, eftersom en vanlig glasruta släpper igenom (transmitterar) kortvågig strålning men inte långvågig strålning.

Plancks lag ger intensiteten hos den monokromatiska strålningen från en svart kropp vinkelrätt mot dess yta,  $I_{\lambda\text{SN}}$ . Integrerar man över alla våglängder får man den totala strålningens intensitet enligt

$$I_{\text{SN}} = \int_0^{\infty} I_{\lambda\text{SN}} d\lambda = \frac{12 c_1}{c_2} \cdot \frac{\pi^4}{90} \cdot T^4 = K_{\text{SN}} T^4 \quad (1.6)$$

Detta är Stefan-Boltzmanns lag, som alltså säger, att strålningen från en svart kropp är proportionell mot

fjärde potensen av dess absoluta temperatur. Enheten för  $I_{sN}$  är  $W/m^2$ .

Strålningen från en svart kropp sker diffust och följer då Lamberts cosinuslag, se FIG. 1.13b:

$$I_s = I_{sN} \cos \alpha \quad (1.7)$$

Observera att ekv. (1.7) också gäller vid beräkning av intensiteten av strålning mot en yta som inte är ställd vinkelrätt mot strålningsriktningen, se FIG. 1.13c. Strålningen fördelas ju på en större yta och får då en lägre intensitet, räknad per ytenhet.

Med hjälp av ekv. (1.6) och (1.7) kan man sedan visa genom integrering över alla strålningsriktningar att den totala strålningsenergin som en svart yta avger, emissionsförmågan  $E_s$ , är  $\pi I_{sN} W/m^2$ . Man brukar ange ekvationen för emissionsförmågan i formen

$$E_s = C_s (T_s/100)^4 \quad (1.8)$$

Talrika mätningar har gett värdet  $5,77 W/m^2 \text{ } ^\circ K^4$  på den svarta kroppens strålningstal  $C_s$ . Detta är något högre än det teoretiska värde som man kan beräkna med hjälp av ekv. (1.6).

För icke svarta ytor är emissionsförmågan

$$E = \epsilon E_s \quad (1.9)$$

där  $\epsilon$  är ytans emissionsfaktor.  $\epsilon$  är alltid mindre än 1, eftersom en svart yta har större emissionsförmåga än alla andra ytor.

Den emissionsfaktor som här avses bör kallas halvsfärisk emissionsfaktor eftersom den anger hur stor den emitterade strålningen mot hela omgivningen är från den aktuella ytan, i förhållande till motsvarande strålning från en lika stor svart yta med samma temperatur. Lamberts

cosinuslag gäller endast approximativt vid verkliga (icke svarta) ytor. Emissionsfaktorn vid verkliga ytor är riktningsberoende.

Vanligen görs mätningar av emissionsfaktorn för strålning i ytnormalens riktning, och det är därför oftast värdena på den som anges i handböcker. Vid elektriska ledare (metaller) är emissionsfaktorn minst i denna riktning, se FIG. 1.13d.

FIG. 1.13e visar förhållandet mellan den halvsfäriska emissionsfaktorn och emissionsfaktorn för utstrålning i ytnormalens riktning. Kurvorna är baserade på teorin för elektromagnetisk strålning, och hänsyn har inte tagits till variationer i ytans beskaffenhet. Är ytan rå blir den mer lik en svart yta i strålningshänseende på grund av reflexion mellan de partiklar som skjuter ut från ytan. Utom ytans ojämnheter har föroreningar och också närvaron av mycket tunn oxidbeläggning avsevärd inverkan på strålningsegenskaperna. Strängt taget är resultaten av utförda mätningar tillämpliga endast under de förhållanden vid vilka mätningarna gjordes.

För glas anges i FIG. 1.13e  $\epsilon_N = 0,94$  som värde på emissionsfaktorn för utstrålning vinkelrätt mot ytan. Vidare anges att  $\epsilon/\epsilon_N = 0,93$ . Därför är  $\epsilon = 0,93 \cdot 0,94 = 0,87$  det värde som bör användas, då man t.ex. vill beräkna långvågig strålning från den av absorberad solstrålning uppvärmda inre rutan i ett fönster mot alla rumsytorna (enligt Yellott, 1964 är  $\epsilon = 0,84$ , se 6.23). Vid beräkning av strålningen från rutan mot den vägg som är parallell med fönsterväggen borde man egentligen använda värdet på  $\epsilon_N$  och inte  $\epsilon$  i normala fall, dvs. om inte denna vägg syns från fönstret under en mycket stor rymdvinkel. I praktiken måste man dock räkna med samma emissionsfaktor såväl då strålningen mot denna vägg som mot andra ytor i rummet bestämmes. I samband med transmissionsberäkningar vid fönster användas här  $\epsilon = 0,85$ .

### 1.132 Strålningens absorption, reflexion och transmission

En svart yta absorberar all strålning. Andra ytor absorberar endast en viss del av mot ytan infallande strålning, absorptionsfaktorn  $A$ . Resten, reflexionsfaktorn  $R$ , reflekteras, om ytan är opak, dvs. om den inte transmitterar någon del av strålningen. Man har då att

$$A + R = 1 \quad (1.10)$$

Förekommer även transmission genom ytan, så att delen  $T$  av strålningen transmittteras, gäller

$$A + R + T = 1 \quad (1.11)$$

där  $T$  är transmissionsfaktorn.

Kirchhoffs lag säger att vid en opak yta emissionsfaktorn = absorptionsfaktorn:

$$\epsilon = A \quad (1.12)$$

Lagen gäller strängt endast om kroppen har den egenskapen att  $A$  är konstant, oberoende av våglängderna hos de strålar som träffar ytan. Ytan säges då vara grå. Vanligen varierar absorptionen kraftigt med våglängden, se FIG. 1.13f. Då gäller Kirchhoffs lag endast för monokromatisk strålning:  $\epsilon_\lambda = A_\lambda$ , och emissionsfaktorn för den totalt emitterade strålningen är en funktion av  $\epsilon_\lambda$  och temperaturen hos den strålande kroppen.

Absorptionsfaktorn hos en bestrålad yta för den totala strålningen mot ytan är beroende av  $A_\lambda$ , temperaturen hos ytan och fördelningen av den infallande strålningen på olika våglängder. Ekvationer härför, se Brown (1962).

I FIG. 1.13g ser man hur stor del av strålningen från en svart kropp med temperaturen  $T$ , som ytor av olika



material reflekterar resp. absorberar. Karakteristiskt för nästan alla tekniskt betydelsefulla material utom metaller är att absorptionsfaktorn är stor för långvågig strålning oberoende av i vilken utsträckning kortvågig strålning absorberas (dvs. strålning från kropp med hög temperatur).

Enligt figuren kan takpapp och skiffer, kurva 7, betraktas som grå. Kurvan för polerad aluminium, 8, visar att reflexionen är större för strålning från ytor av rumstemperatur än för solstrålning, ett förhållande som också gäller vid andra metaller. Ljust målade ytor kan göras mera reflekterande för solstrålning än aluminiumytor. Jämför också kurvan för polerad aluminium i FIG. 1.13f.

Vid beräkning av absorptionen i ett transparent material, t.ex. glas, kan man tänka sig materialet uppdelat i mycket tunna skikt vinkelrätt mot strålningsriktningen, alla med tjockleken  $ds$  m. Är strålningens intensitet  $I$   $W/m^2$  vid inträdet i ett sådant skikt reduceras intensiteten vid passagen genom skiktet med värdet  $dI$ . Detta värde är utom mot intensiteten  $I$  och skiktthjockleken  $ds$  proportionellt mot absorptionskoefficienten  $a$   $m^{-1}$ . Man får då

$$dI = - I a ds \quad (1.13)$$

$dI$  har negativt tecken eftersom  $I$  avtar med  $s$ . Har man ett materialskikt av tjockleken  $s$  och intensiteten vid inträdet i detta är  $I_i$ , får man genom integrering av (1.13) att intensiteten vid utträdet ur skiktet har reducerats till värdet

$$I_u = I_i e^{-as} \quad (1.14)$$

Detta är Beers lag. Här förutsättes att  $a$  är oberoende av  $s$ . Eftersom  $a$  vanligen är beroende av strålningens våglängd bör ekvationen hellre skrivas  $I_{u\lambda} = I_{i\lambda} \cdot e^{-a_\lambda \cdot s}$

Den absorberade delen av strålningen, absorptionsfaktorn för ett transparent materialskikt,  $\alpha_\lambda$ , får uttrycket

$$\alpha_\lambda = \frac{I_{i\lambda} - I_{u\lambda}}{I_{i\lambda}} = 1 - e^{-a_\lambda s} \quad (1.15)$$

Den transmitterade delen av strålningen, transmissionsfaktorn för ett transparent materialskikt,  $\tau_\lambda$ , får uttrycket

$$\tau_\lambda = \frac{I_{u\lambda}}{I_{i\lambda}} = e^{-a_\lambda s} \quad (1.16)$$

#### 1.14 Solstrålningens transmission genom atmosfären

Vid passagen genom atmosfären minskar intensiteten av solstrålningen. Den undergår en extinktion beroende på absorption och spridning. Den absorberade energin övergår till värme (eller kemisk energi) i de absorberande partiklarna (molekyler eller aerosoler), medan den strålning som sprides av partiklarna kastas åt alla håll. I Beers lag räknar man här inte med en absorptionskoefficient  $a$  utan med en extinktionskoefficient  $\kappa$ , utgörande summan av en absorptionskoefficient och en spridningskoefficient. Luftens täthet varierar med höjden över havet. Eftersom extinktionen är proportionell mot passerad luftmassa väljer man vid bestämning av koefficienterna att sätta luftmassan lika med 1 vid vertikal strålgång (solhöjd  $90^\circ$ ).

Vid varierande solhöjd passerar solstrålningen olika lång väg genom atmosfären. I enlighet med FIG. 1.14a följer värdet på den genomträngda luftmassan  $m$  ekvationen

$$m = \frac{1}{\sin h} \quad (1.17)$$

där  $h$  är solhöjden. När solen står nära horisonten får man en viss avvikelse från ekvationen på grund av jordytans krökning och refraktionen.

Refraktionen är den effekt som uppstår genom att strålningen brytes i atmosfären på grund av den mot jordytan tilltagande tätheten hos luften. Solen synes därför stå något högre över horisonten än den gör i verkligheten. Vid  $h = 0^\circ$  är refraktionen 35' (bågminuter), vid  $10^\circ$  är den 5,3', vid  $20^\circ$  2,6' och vid  $45^\circ$  1,0' (enligt Schalén, 1956).

Är lufttrycket inte 760 mm Hg (1013,2 mb) måste värdet på  $m$  korrigeras i proportion till lufttrycket, eftersom lufttrycket är ett direkt mått på den luftmängd som befinner sig ovanför en plats.

Den direkta solstrålningens intensitet vid jordytan för olika våglängder, den spektrala fördelningen, kan man bestämma med hjälp av FIG. 1.11a, där intensiteten  $I_{0\lambda}$  anges för olika våglängder utanför atmosfären, och ekvationen

$$I_\lambda = I_{0\lambda} e^{-\kappa_\lambda m} \quad (1.18)$$

om man känner extinktionskoefficienten  $\kappa_\lambda$  för varje våglängd.  $\kappa_\lambda$  varierar med atmosfärens sammansättning, se Gates (1966).

Extinktionen uppkommer genom absorption i strålningens infraröda del, orsakad av atmosfärens vattenånga, och genom spridning (eng. scattering) av strålningen, orsakad dels av luftens molekyler, dels av stoftpartiklar och andra i luften svävande partiklar. Härtill kommer en relativt obetydlig absorption orsakad av andra gaser än vattenånga, framför allt av ozon.

Mängden vattenånga i atmosfären brukar i meteorologisk litteratur anges i "mängd utfällbart vatten". Härmed menas höjden av den vattenpelare som skulle bildas om all vattenånga i en luftpelare som sträcker sig från jordytan upp till atmosfärens övre gräns, dvs. i praktiken till ca 10 km höjd, utfälldes som vatten. Sommartid innehåller atmosfären mer vattenånga än under vintern på grund av den högre temperaturen. Solstrålningens

försvagning på grund av absorption i vattenånga är därför större under sommaren än under vintern vid samma solhöjd.

Vattenångans absorption sker huvudsakligen i ett antal spektralband i den infraröda delen av spektrum. Dessa band framträder mycket tydligt i kurvorna i FIG. 1.14b, vilka anger den direkta solstrålningens spektrala intensitetsfördelning vid olika luftmassor. Ozonen absorberar något av strålningen i den synliga delen, dock mest i den ultravioletta. All ultraviolet strålning med våglängder under  $0,29 \mu\text{m}$  absorberas. Detta har energimässigt inte så stor betydelse, men desto mera för livet på jorden, eftersom den skadliga delen av solens ultravioletta strålning elimineras.

Vid spridning av solstrålningen avlänkas strålarna genom böjning, brytning eller reflexion från sin rätlinjiga fortplantningsriktning och når jordytan i form av diffus himmelsstrålning. Våglängden förändras inte vid spridningen.

Storleken av spridningen beror av de spridande partiklarnas storlek och mängd och den infallande strålningens våglängd. För mycket små partiklar, väsentligen luftens molekyler, är spridningen omvänt proportionell mot  $\lambda^4$ . Denna typ av spridning kallas Rayleigh-spridning. Försvagningen sker härvid främst i den violetta och blå delen av spektrum, medan verkan är långt mindre i den röda och den infraröda delen. För gult ljus (D-linjen) är  $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$  och för violett ljus (H-linjen) är  $\lambda = 0,4 \mu\text{m}$ . Dessa våglängder förhåller sig till varandra som 3:2. Medan gult sprides i förhållandet  $(\frac{1}{3})^4 = \frac{1}{81}$ , är Rayleigh-spridningen för violett ljus  $(\frac{1}{2})^4 = \frac{1}{16}$ , alltså fem gånger större (Lunelund, 1936). Därigenom förklaras den rödgula färgen hos solen vid soluppgången och solnedgången. Strålarna har då lång väg att passera genom atmosfären, och det blå ljuset försvagas mera än det röda.

Den del av det på grund av Rayleigh-effekten spridda ljuset som når jordytan gör att den klara himlen ger ett diffust blått ljus. Vid partiklar större än molekyler är spridningen omvänt proportionell mot  $\lambda^n$ , där  $n$  antar värden mellan 4 och 0. Det senare värdet gäller vid spridning på grund av partiklar som är avsevärt större än ljusets våglängd. Spridningen är då oberoende av våglängden och den spektrala fördelningen förändras inte. Man får en diffus reflexion, och det vita ljuset förblir vitt efter reflexionen. Solbelysta moln ser vita ut.

Mätningar har visat att värdet  $n = 1,3$  gäller genomsnittligt för stoftpartiklarna i atmosfären, motsvarande partikelstorleken  $1 \mu\text{m}$ . Blått ljus sprides därvid mer än rött, men inte i samma grad som vid Rayleigh-spridningen. Om atmosfärsluften är grumlig blir himmelsljuset inte klarblått utan vitblått.

Turbiditeten, "grumligheten", hos luften varierar från dag till dag och från område till område. I polartrakterna är stofthalten låg på grund av det stora avståndet till stoftproducerande områden, medan den är relativt stor i tropikerna. I polartrakterna är också mängden vattenånga låg på grund av den låga temperaturen. Med ökande höjd över havet tilltar solstrålningens intensitet, eftersom luftmassan minskar. Halten av både vattenånga och stoft avtar dessutom oftast snabbare med höjden än lufttrycket. På berg i Mellaneuropa, 3000 - 4000 m över havet, observeras ungefär samma värde på den direkta solstrålningens intensitet sommartid som i det extrema Antarktis, ca  $1050 \text{ W/m}^2$ , medan den är ca 875 i tropikerna och 875 - 910 i nordvästra Europa (enligt Liljequist, 1962).

De värden på sol- och himmelsstrålningens intensitet som vi har använt vid våra beräkningar anges i 1.2. Strålningens spektrala fördelning anges i 3.2.

## 1.15 Jordens och atmosfärens värmebalans

I föregående avsnitt behandlades atmosfärens inverkan på den direkta solstrålningen. För jordens värmeförsörjning är det emellertid globalstrålningen, som har betydelse, dvs. det vertikala strålningsflödet från såväl sol som himmel.

Betecknas intensiteten av den direkta solstrålningen vinkelrätt mot strålningsriktningen med  $I_{DN}$  och mot en horisontell yta med  $I_{DH}$  är

$$I_{DH} = I_{DN} \sin h \quad (1.19)$$

Om himmelsstrålningen, dvs. den diffusa strålningen från moln och blå himmel, mot horisontell yta betecknas med  $I_{dH}$ , blir globalstrålningen

$$I_H = I_{DH} + I_{dH} \quad (1.20)$$

FIG. 1.15a visar intensiteten vid olika våglängder av strålningen mot horisontell yta vid klart väder, dels från enbart solen, dels från sol och himmel (globalstrålning). Av de streckade kurvorna framgår att den direkta strålningens intensitetsmaximum förskjuts mot något större våglängd vid större luftmassa, dvs. lägre solhöjd ( $m = 1,0, 1,5, 2,0$  och  $4,0$  motsvaras av  $h = 90^\circ, 42^\circ, 30^\circ$  och  $14,5^\circ$ ). Hos himmelsstrålningen, som i figuren representeras av skillnaden mellan den heldragna och den streckade kurvan, ligger intensitetsmaximum vid en lägre våglängd. Våglängdsläget undergår här inte någon större förändring då luftmassan varierar. Vid ökande luftmassa blir himmelsstrålningen en allt större del av globalstrålningen, så att maximum för globalstrålningen inträffar vid en våglängd som är nästan oberoende av luftmassans storlek.

Då solen skymms av moln bortfaller den direkta solstrålningen, och vid helmulen himmel sjunker globalstrålningen genomsnittligt till 20 à 25 % av värdet vid klar

himmel. Rådande molnförhållanden har mycket stor betydelse för ett områdes strålningsklimat.

Vid snötäckt mark ökar jordytans reflekterande förmåga, dess albedo, starkt, och en upprepad reflexion av strålningen mellan jordytan och molntäckets undersida uppkommer, se FIG. 1.15b. Detta ökar globalstrålningen vid mulen himmel. I polartrakterna kan den bli upp till ca tre gånger så kraftig som under motsvarande förhållanden vid barmark.

För den kortvågiga solstrålningen är atmosfären en barriär, som hindrar en del av strålningen att nå jordytan, särskilt vid molnig himmel. Å andra sidan är atmosfären i ännu mycket högre grad en barriär för långvågig strålning och utövar därigenom en "växthuseffekt", som gör att jordytan får en högre och jämnare temperatur än om en atmosfär saknades. Det mesta av den strålning marken emitterar i överensstämmelse med ekv. (1.8) - jordytan kan utan större fel betraktas som en i strålningshänseende "absolut svart" yta - går på så sätt inte direkt förlorad till rymden. Atmosfären är visserligen inte helt "strålningstät". Särskilt vid klart väder släpper den igenom viss långvågig strålning, men även då uppfångas huvuddelen av den utstrålade energin genom att den absorberas av vattenånga och koldioxiden i luften. En del därav strålar tillbaka mot jorden. Långvågig nettoutstrålning från ytor i det fria behandlas teoretiskt av Bliss (1961). Mätningar har gjorts av Brown i Stockholm, (Brown, 1956). Se även Höglund, Mitalas & Stephenson (1967).

Man har uppskattat att genomsnittligt 43 % av solinstrålningen utanför atmosfären når jordytan, antingen direkt (27 %) eller som diffus himmelsstrålning (16 %), medan ca 15 % absorberas av atmosfären. Omkring 42 % förloras till rymden i form av kortvågsstrålning, huvudsakligen genom direkt reflexion från moln eller från jordytan. Återstoden, 58 %, av den av jorden mottagna solenergin förvandlas till värme. Eftersom jorden i sin

helhet ej magasineras eller förlorar värme måste dessa 58 % utstrålas från jordytan (11 %) eller från atmosfären (47 %) som långvågig strålning. - Diagrammet i FIG. 1.15c åskådliggör värmebalansen och är uppritat efter Threlkeld (1962). Det visar bl.a. att värmeutbytet mellan jordytan och atmosfären inte sker endast genom strålning utan också genom konvektion och genom avdunstning av vattenånga från marken, som sedan kondenserar och bildar moln.

Atmosfären tar del i värmebalansen på ytterligare ett sätt. På höga latituder står solen genomsnittligt lägre än närmare ekvatorn och avger mindre strålningsenergi till jord och atmosfär. Visserligen är temperaturen där lägre, men utstrålningen minskar inte alls i lika hög grad som instrålningen, när man förflyttar sig från ekvatorn mot endera polen. Strålningsbalansen är positiv upp till en latitud av ca  $35^{\circ}$ , därefter negativ. Utan den rådande atmosfäriska cirkulationen skulle områden nära ekvatorn bli varmare, nära polerna kallare.

FIG. 1.15d avser att åskådliggöra grunden för årstidsväxlingarna. Ekvatorsplanet bildar en vinkel med det plan i vilket jorden rör sig kring solen, ekliptikans plan. Härigenom varierar solhöjden under året, solen står högt på himlen under sommaren, lågt på vintern. Vinkeln är  $23^{\circ} 27'$ , solens deklination vid midsommar.



## 1.2 Sol- och himmelsstrålningens intensitet

1.21 Den direkta solstrålningens intensitet vid klart väder

1.211 Mätningar i Finland och Sverige

I Norden har de mest omfattande och noggranna mätningarna av direkt solstrålning utförts av Harald Lunelund vid Helsingfors universitet. De registreringar vilkas resultat skall utnyttjas här gjordes under åren 1927-1933 med en Gorczynskis pyr'heliograf på taket av fysikinstitutionens byggnad i Helsingfors 40 m över havets nivå. Instrumenteringen bestod enligt Lunelund (1936) av en termostapel, som under mätningarna ständigt var riktad mot solen med hjälp av ett urverk, och en registrerande galvanometer. Termostapelns element var utförda av manganin-konstantan. De var fästade på en rund skiva med 2 cm diameter och skyddade med en tunn transparent fluoritskiva mot atmosfärens inverkan. Avbländningen av himmelsstrålningen skedde med en serie koncentriskt anbringade ringformade skivor.

Resultatet av sina mätningar under klara dagar har Lunelund sammanfattat i en tabell. Den återges här i TAB. 1.21a, med värden angivna i de enheter Lunelund använde,  $\text{cal/cm}^2\text{min}$  ( $1 \text{ cal/cm}^2\text{min} = 697,8 \text{ W/m}^2$ ).

De medelvärden som ges i tabellen för de olika månaderna har använts vid den bearbetning som resulterat i "solvärmediagrammen" (se 2.4) och i de datamaskinberäknade tabeller och diagram som publicerats i Byggforskningens rapport 19/69 (Brown & Isfält, 1969) liksom i bilaga II (tabellbilagan).

Värdena har bearbetats på så sätt att man fått ett uttryck för sambandet mellan solhöjd och instrålning, dels för månaderna oktober-april, dels för månaderna maj-september. På så sätt har diagram kunnat konstrueras som gäller för vintern respektive sommaren. Även vid datamaskinberäkningen av tabellvärdena för årets olika månader i Rapport 19/69 har dessa uttryck begag-

nats. En sådan förenkling är visserligen inte nödvändig men har ansetts praktisk med hänsyn till att tabellerna bör ge samma värden på strålningen som diagrammen.

I TAB. 1.21b ges först de instrålningsvärden uttryckta i  $W/m^2$ , såväl medelvärden som maximivärden, som i Lunelunds tabell avser samtliga klara dagar under ett år. Medelvärdena är de som Pleijel använde, se Pleijel (1954) och Pleijel (1963). Förhållandet mellan maximivärdet och medelvärdet av strålningen växer med avtagande solhöjd. Den direkta solstrålningen varierar således mest vid låga solhöjder. Detta måste bero på att variationer i mängden stoft och vattenånga åstadkommer störst växlingar i strålningen då denna har lång väg att passera genom atmosfären.

För varje solhöjd ges i tabellen vinter- och sommarvärden beräknade som medelvärdena av Lunelunds månadsvärden under respektive oktober-april och maj-september. Kvoten mellan maximal- och normalvärden ( $I_{WLmax}$  och  $I_{WL}$  resp  $I_{SLmax}$  och  $I_{SL}$ ) har sedan beräknats. Den synes vara något större för sommar- än för vintermånaderna. Den kan dock med god approximation anses oberoende av årstiden. Däremot kan man inte bortse från variationen med solhöjden.

Instrålningen vid en given solhöjd är större under vinter- än under sommarmånaderna. Detta beror på att halten vattenånga är mindre och att avståndet till solen är något mindre (stofthalten kan ju också vara lägre). Skillnaden är störst vid låga solhöjder, vilket framgår av kolumnen för  $I_{WL}/I_{SL}$ .

För man in normalvärdena i ett diagram där axlarna är graderade så att  $1/\sin h$  är avsatt på abscissan och  $\ln I_{DN}$  på ordinatan finner man att värdena på direkt solstrålning  $I_{DN}$  nästan faller på en rät linje så länge solhöjden  $h$  är större än  $15^\circ$ . Detta betyder att instrålningen som funktion av solhöjden följer ekvationen

$$I_{DN} = Ae^{-B/\sin h} \quad (1.21)$$

dvs en ekvation analog med ekv (1.18), om  $m = 1/\sin h$ .

Ekvationerna

$$I_{DN} = 1071e^{-0,109/\sin h} \quad (1.22)$$

för vintern (oktober-april) och

$$I_{DN} = 1071e^{-0,139/\sin h} \quad (1.23)$$

för sommaren (maj-september) ger den direkta solstrålningen som funktion av solhöjden med god approximation då solhöjden är lägst  $15^\circ$ . Detta framgår av de två sista kolumnerna i TAB. 1.21b. För lägre solhöjder har uppställts ekvationerna

$$I_{DN} = 117,191 h - 9,4937 h^2 + 0,4436 h^3 - 0,008218 h^4 \quad (1.24)$$

för vintern och

$$I_{DN} = 101,897 h - 8,1348 h^2 + 0,3760 h^3 - 0,006744 h^4 \quad (1.25)$$

för sommaren. Koefficienterna har bestämts så att  $I_{DN}$  då får samma värden som  $I_{WL}$  och  $I_{SL}$ .

Ekv. (1.22)-(1.25) är uppställda för normalt lufttryck, 760 mm Hg. Är lufttrycket ett annat måste en korrektion av solhöjden göras. Ett högre lufttryck betyder att luftmassan ökar, så att den solhöjd som skall sättas in i ekvationerna är lägre. Är solhöjden  $h$  och lufttrycket  $b$  får man det korrigerade värdet på solhöjden  $h'$  ur

$$\sin h' = \sin h \cdot \frac{760}{b} \quad (1.26)$$

I FIG. 1.21a har för  $h > 10^\circ$  en vinter- och en sommar-kurva uppritats. Dessa motsvarar ekv. (1.22) och (1.24) respektive (1.23) och (1.25). Med hjälp av medelvärden enligt TAB. 1.21a har kurvor för oktober och april

samt september och juli inritats för jämförelse. Under dessa månader avviker instrålningen mest från instrålningen enligt ekvationerna, om man bortser från instrålningsvärdena vid mycket låga solhöjder under november-februari.

Av FIG. 1.21a framgår att då  $h \geq 10^\circ$  är skillnaden obetydlig mellan instrålningsvärdena enligt Lunelund under olika månader av de valda perioderna för sommar och vinter. Vidare är det tydligt att värdena mycket väl representeras av de uppställda ekvationerna.

I Lunelund (1936) finnes också en empirisk ekvation för den direkta solstrålningen, som ger medelmaximivärden på intensiteten, uttryckt i  $\text{cal/cm}^2\text{min}$ :

$$I_{DN} = 1,71 \cdot 10^{-0,0660 m + 0,0019 m^2} - (0,0123 + 0,0019 m) (e-6) \quad (1.27)$$

Här betecknar  $m$  luftmassan och  $e$  vattenångans tryck i mm Hg. Ekv. (1.27) gäller för  $1,3 \leq m \leq 6,0$  och  $1,5 \leq e \leq 12,5$  och vid medelavstånd mellan solen och jorden. För  $e = 6$  ger den värden på intensiteten som är 6-10% högre än Lunelunds årsmedelvärden.

Ekv. (1.27) kan utnyttjas för bestämning av intensitets beroende av luftfuktigheten. Vid derivering med avseende på  $e$  får man

$$- \frac{\partial I_{DN}}{\partial e} = 0,0123 + 0,0019 m$$

eller, om  $I_{DN}$  uttryckes i  $\text{W/m}^2$ :

$$- \frac{\partial I_{DN}}{\partial e} = 8,58 + 1,33 m \quad (1.28)$$

Ekv. (1.28) har använts vid beräkning av värdena på  $\Delta I_{DN}$  i TAB. 1.21c.

Värdena på luftmassan  $m$  i TAB. 1.21c är de man får om man tar hänsyn till jordytans krökning och refraktionen, enligt Lunelund (1936).

I Sverige har mätningar av direkt solstrålning vinkelrätt mot strålningsriktningen utförts av J Westman, i Uppsala år 1901 och i Nyköping åren 1918-19. I båda fallen avsåg mätningarna bestämning av strålningen vid klar himmel under genomsnittliga förhållanden, se Westman (1907) och Westman (1920).

På grundval av mätningarna i Nyköping angav Westman ekvationen

$$I_{DN} = 1123 \cdot 10^{-0,05675 m} + 0,00038 m^2 \quad (1.29)$$

då  $I_{DN}$  uttryckes i  $W/m^2$ .

Man finner vid jämförelse mellan resultaten från mätningarna av Westman och Lunelund, att vid solhöjderna  $10^\circ$ ,  $30^\circ$  och  $50^\circ$  Westmans värden från Nyköpingsmätningarna blev 1, 5 och 5 % högre, från Uppsalamätningarna 5, 2 och 1 % högre än Lunelunds motsvarande årsmedelvärden.

Vid Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska institut (SMHI) utför man rutinemässiga strålningsmätningar på olika orter i landet (för närvarande Bulltofta, Svalöv, Visby, Torslanda, Stockholm, Karlstad, Erken (i Roslagen), Frösön, Teg (vid Umeå) och Luleå). I ett supplement till SMHI:s årsbok: Measurements of solar radiation in Sweden, publiceras de registrerade värdena på strålning mot horisontell yta från sol och himmel (globalstrålningen), mätt i  $cal/cm^2$  per timme, dygn och månad. För Stockholm anges där också enbart himmelsstrålning och enbart direkt solstrålning mot horisontell yta per dygn och månad.

Den direkta solstrålningen mot horisontell yta beräknas därvid som skillnaden mellan totalstrålning och himmelsstrålning. Vill man bestämma den direkta solstrålningen vinkelrätt mot strålningsriktningen dividerar man den direkta solstrålningen mot horisontell yta med  $\sin h$ , där  $h$  = solhöjden.

Registreringarna sker med Moll-Gorczyński-solarimeter av Kipp & Zonens fabrikat. Vid mätning av diffus strålning avskärmas den direkta strålningen med en vridbar tunn metallskiva.

Då kalibrering av solarimetern utförs jämför man det från solarimetermätningen bestämda värdet på direkt solstrålning vinkelrätt mot strålningsriktningen med motsvarande värde mätt med en kompensationspyrheliometer av typ K Ångström.

Vid Institutionen för uppvärmnings- och ventilations- teknik KTH Stockholm har bearbetningar av SMHI:s strålningsmätningar i Stockholm för åren 1959-64 gjorts enligt följande:

Ur SMHI:s journaler utvaldes klara dagar med ledning av molnighetsangivelserna. Den absoluta fuktigheten beräknades ur uppgifter om temperatur och relativ fuktighet. Ur SMHI:s "Measurements of solar radiation in Sweden" hämtades därefter för de utvalda dagarna timvärdena för globalstrålningen  $I_H$  och himmelsstrålningen  $I_{dH}$ . Den direkta solstrålningen vinkelrätt mot strålningsriktningen beräknades ur  $I_{DN} = (I_H - I_{dH}) / \sin h$ . Timvärdena behandlades som enskilda observationer vid de bearbetningar som sedan gjordes. De utvalda värdena fördelade sig på olika månader enligt följande

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Antal	6	6	108	78	42	14	14	-	30	8	6	-

Totalt antal värden = 312 st.

En första granskning av mätvärdena visade att metoden inte är lämplig för bestämning av  $I_{DN}$  vid låga solhöjder ( $h < 10^\circ$ ) då orimligt höga värden kunde erhållas. Detta beror förmodligen på att den använda apparaturen inte lämpar sig (och ej heller är avsedd) för mätning av  $I_{DN}$ . Fördelningen mellan direkt solstrålning och himmelsstrålning, speciellt vid låga solhöjder, har blivit något felaktig så att den direkta solstrålningen

blivit för hög. Vid bearbetningen av mätvärdena användes således ej värden för vilka  $h < 10^\circ$ , men det finns anledning förmoda att man även vid högre solhöjder kunde erhålla ett mindre mätfel.

Försök gjordes att anpassa de utvalda mätvärdena till olika uttryck, till att börja med till en ekvation av typen

$$I_{DN} = I_0 \cdot e^{-\frac{1}{\sin h} (A+B x)}$$

En anpassning enligt minsta kvadratmetoden gav uttrycket

$$I_{DN} = 838 \cdot e^{-\frac{1}{\sin h} (0,054 + 0,0064 \cdot x)} \quad (1.30)$$

Med hänsyn till vad som nämnts om metodens osäkerhet vid bestämning av  $I_{DN}$  kan den beräknade inverkan av den absoluta fuktigheten vid markytan,  $x$  g/kg torr luft, vara osäker. Parametern  $x$  är dessutom ett mycket grovt mått på atmosfärens vatteninnehåll och därmed dess extinktionskoefficient. Fuktighetsberoendet enligt ekv. (1.30) är dock av samma storleksordning som det av Lunelund angivna.

Mätvärdena anpassades också till ett uttryck där  $I_{DN}$  är en funktion av endast solhöjden  $h$ , jfr ekv. (1.21), med resultatet

$$I_{DN} = 831 \cdot e^{-\frac{0,068}{\sin h}} \quad (1.31)$$

En korrelationskoefficient bestämdes ur uttrycket

$$r = \frac{n \cdot \Sigma xy - \Sigma x \cdot \Sigma y}{\sqrt{n \cdot \Sigma x^2 - \Sigma x \cdot \Sigma y} \cdot \sqrt{n \cdot \Sigma y^2 - \Sigma x \cdot \Sigma y}} \quad (1.32)$$

där  $x = 1/\sin h$ ,  $y = \ln(I_{DN})$  och  $n =$  antalet värden.

Som resultat erhöles  $r = 0,53$ , vilket ytterligare indikerar att fördelningen mellan himmelsstrålning och direkt strålning är oriktig.

Diagrammet i FIG. 1.21b anger sommar- och vintervärden för solinstrålningen efter Lunelund, samt kurvan enligt ekv. (1.31) efter SMHI:s mätningar. Diagrammet visar att SMHI:s värden ligger inom intervallet begränsat av Lunelunds sommar- respektive vintervärden för solhöjder mellan ca  $20^{\circ}$  och  $45^{\circ}$ , dvs vid solhöjder som är mest intressanta i detta sammanhang. SMHI:s värden ligger jämförelsevis högre vid låga solhöjder och lägre vid högre solhöjder, vilket står i överensstämmelse med vad som tidigare sagts om mätvärdena. (Vid lägre solhöjder borde en lägre andel av globalstrålningen hänföras till direktstrålning.)

För ytterligare kontroll av instrålningsvärdena under klara dagar har vid Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, en mätserie utförts under åren 1964-65. Mätningen av den direkta solstrålningen utfördes med en aktinometer av termostapeltyp, fabrikat Kipp & Zonen.

Med hjälp av ett motordrivet stativ riktades aktinometern automatiskt mot solen.

De uppmätta värdena bearbetades efter samma principer som SMHI:s mätvärden. Värdena fördelade sig på olika månader enligt följande:

Månad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Antal	-	-	35	23	27	-	16	7	28	4	2	-

Totalt antal värden 142 st.

En anpassning till ett uttryck enligt ekv. (1.30) gav resultatet

$$I_{DN} = 985 \cdot e^{-\frac{1}{\sin h} (0,156 + 0,0008 x)}$$

Man ser att det erhållna fuktighetsberoendet är alltför svagt. Mätvärdena är tydligen för få för att ett tillförlitligt samband skall erhållas. En anpassning till det enklare uttrycket enligt ekv. (1.21) är att



föredra. Resultatet härav blev

$$I_{DN} = 980 \cdot e^{-\frac{0,158}{\sin h}} \quad (1.33)$$

Korrelationskoefficienten bestämd enligt ekv. (1.32) gav  $r = 0,76$ , ett bättre värde än det som erhöles vid bearbetningen av SMHI:s mätningar.

Solinstrålningsvärdena beräknade enligt ekv. (1.33) faller också inom intervallet mellan Lunelunds sommar- och vintervärden mellan solhöjderna  $15^\circ < h < 50^\circ$ , vilket framgår av diagrammet i FIG. 1.21b.

Bearbetningen av mätvärdena från SMHI och de egna mätningarna ger en bekräftelse på att Lunelunds mätningar kan tillämpas för våra förhållanden.

För att ytterligare undersöka om Lunelunds instrålningsvärden kan anses vara tillämpliga i Stockholm utan att man korrigerar dem med hänsyn till luftfuktigheten har den absoluta luftfuktigheten för årets olika månader beräknats, se TAB. 1.21d. Därvid användes under lång tid uppmätta värden på temperaturen och relativa luftfuktigheten (i Helsingfors medelvärden för åren 1931-60, i Stockholm medelvärden för temperaturen under åren 1901-30 och för fuktigheten under åren 1871-1920).

Man ser av värdena i tabellen att den absoluta fuktigheten i de båda städerna är lika genomsnittligt under perioden maj-september, varvid också temperaturen är lika. Under perioden oktober-april är fuktigheten i Helsingfors något lägre än i Stockholm, genomsnittligt 0,46 g/kg lägre. Detta har samband med den lägre vintertemperaturen i Helsingfors.

Enligt Spencer (1965) kan man med ledning av i USA utförda observationer utgå ifrån att atmosfärens vatteninnehåll är 15 % mindre under klara dagar än under genomsnittliga förhållanden. Under klara dagar blir skillnaden i luftfuktighet under vinterperioden därför  $0,85 \cdot 0,46 \approx 0,4$  g/kg torr luft. Ekv. (1,30) ger att en ökning i luftfuktigheten av 1 g/kg torr luft vid

solhöjderna 20, 30, 40 och 50° betyder en minskning i direkt solinstrålning av 1,8, 1,2, 0,9 och 0,8 %. Därav framgår att Lunelunds värden kan anses gälla även för Stockholm, bortsett från eventuella skillnader p g a luftföroreningar.

Även på andra orter i Sverige är skillnaden i luftfuktighet inte större än att dess inverkan på instrålningen är försumbar vid tekniska beräkningar. I t ex Haparanda är den absoluta luftfuktigheten vid klart väder under perioden oktober-april ca 1 g/kg torr luft lägre än i Stockholm, under perioden maj-september ca 0,5 g/kg. I Lund är luftfuktigheten under dessa perioder 0,6 respektive 0,5 g/kg torr luft högre.

Det kan vara av intresse att även med ledning av Lunelunds mätresultat bestämma inverkan av fukthalten på den direkta solinstrålningen. Vid  $h \geq 15^\circ$  har B i ekv. (1.21) värdet 0,109 under vinterperioden, då i Helsingfors medelvärdet av luftfuktigheten är  $x = 2,87 \times 0,85 = 2,44$  vid klart väder, och 0,139 under sommarperioden, då  $x = 6,86 \times 0,85 = 5,83$ . Sätter man därför

$$A + B \cdot 2,44 = 0,109$$

$$A + B \cdot 5,83 = 0,139$$

får man  $A = 0,0874$ ,  $B = 0,00885$ , så att

$$I_{DN} = 1071 e^{-\frac{1}{\sin h}(0,0874 + 0,00885x)} \quad (1.34)$$

Observera att inverkan av avståndet till solen på  $I_{DN}$  inte är beaktad här. Eftersom instrålningen under sommarperioden är lägre än under vinterperioden p g a det större solavståndet får man vid bestämning av A och B en överdriven inverkan av luftfuktigheten, dvs ett för stort värde på B om ekv. (1.34) skall tillämpas vid samma tidpunkt på året men vid olika luftfuktighet.

Någon undersökning av hur luftföroreningar inverkar på solinstrålningen har inte utförts i Sverige. Ej heller kontrollerades stofthalten i luften vid SMHI:s strål-

ningsmätningar under åren 1959-64 i Stockholm. Det kan emellertid nämnas att dessa mätningar företogs på taket av byggnaden Fridhemsgatan 9. Instrumenten var uppställda ca 27 m över markytan och ca 36 m över Mälarens nivå (ungefär lika mycket över havets nivå). Höjden över den närmaste trafikplatsen, Fridhemsplan, var ca 22 m, och avståndet till denna plats drygt 100 m.

#### 1.212 Utomnordiska undersökningar

I Australien har man i Melbourne (lat  $37^{\circ}50'S$ , long  $144^{\circ}59'O$ ) gjort omfattande mätningar av solstrålningen under klara dagar med Moll-Gorczyńskis solarimeter, se Spencer (1965). De företogs under åren 1959-61 på samma sätt som sker vid SMHI i Stockholm, dvs man mätte global och diffus strålning mot horisontell yta samtidigt, så att den direkta solstrålningen mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen sedan kunde beräknas.

På grundval av totalt 2446 observationer uppställdes följande ekvation (måttenheter  $Btu/ft^2h$ ):

$$I_{DN} = 1370 \sin h - 2889 \sin^2 h + 3290 \sin^3 h - \\ - 1826 \sin^4 h + 371 \sin^5 h \quad (1.35)$$

Ekvationen är avsedd att gälla vid klart väder oberoende av årstiden (i Australien är mängden utfällbart vatten lägst under våra sommarmånader, då avståndet till solen är störst, och inverkan på strålningen av dessa båda faktorer motverkar varandra i motsats till vad fallet är i Sverige).

I TAB. 1.21e jämförs Spencers värden enligt denna ekvation med Lunelunds medelvärden för sommarperioden maj-september. Under klara dagar är årsmedelvärdet av ångtrycket i Melbourne kl 9 8,20 mm Hg, vilket betyder att den absoluta luftfuktigheten då är 5,7 g/kg torr luft. Som förut nämnts är luftfuktigheten i Helsingfors klara dagar under perioden maj-september genom-

snittligt 5,8 g/kg torr luft, alltså praktiskt taget lika stor. Uppmätta strålningsvärden vid samma solhöjder bör därför vara jämförbara.

Avståndet till solen under Lunelunds mätningar maj-september var emellertid större än avståndets årsmedelvärde. Av FIG. 1.11c framgår att strålningen denna tid av året reduceras genomsnittligt med 2,5 % p g a detta. Lunelunds sommarvärden, som förut angivits i kolumnen för  $I_{SL}$  i TAB. 1.21b, har därför ökats med 2,5 % då de införts i TAB. 1.21e.

Överensstämmelsen mellan de finska och australiska mätningarna är utomordentlig. Den procentuella skillnaden mellan erhållna resultat för solhöjder mellan  $15^{\circ}$  och  $50^{\circ}$  är i medeltal 3,2 %, och den minsta skillnaden är 2,1 %, den största 4,1 %. Mest påfallande är den ringa variationen i skillnadens storlek.

Förekomsten av en skillnad på 2-4 % kan ju helt bero på att intensiteten hos strålningen var olika p g a atmosfärens olika sammansättning eller olika strålningsemission från solen. Vid  $5^{\circ}$  och  $10^{\circ}$  solhöjd är skillnadens storlek annorlunda. Det är väl troligt att de olika mätmetoderna bidragit till detta.

Lunelunds mätning av direkt solstrålning var en direktmätning av denna strålning, eftersom hans instrument, en pyrheliometer, hela tiden var riktad mot solen.

Man behöver inte anta att noggrannheten vid hans mätningar blev avsevärt sämre vid låga solhöjder än vid höga om antalet observationer var tillräckligt med hänsyn till den större variation i strålningsintensitet som följer av det starkare beroendet av atmosfärens sammansättning p g a den större luftmassan. Antalet observationer är inte redovisat men det är troligt att det var stort i förhållande till antalet vid höga solhöjder (som ju förekommer mera sällan på våra breddgrader).

Vid mätning med solarimeter måste man beräkna direkt solstrålning ur skillnaden mellan de uppmätta värdena på total och diffus strålning mot horisontell yta. Mätmetoden är uppenbart mindre lämpad för bestämning av direkt solstrålning vid låga solhöjder än en direkt mätning, eftersom direkt strålning mot horisontell yta utgör en mindre del av totalstrålningen när solen står lågt. Just vid låga solhöjder redovisas i Spencers rapport ett jämförelsevis mycket litet antal observationer, och de australiska mätningarna måste därför ha gett ett osäkrare resultat vid dem än de finska.

Man har på olika håll använt möjligheten att genom beräkning bestämma solstrålningen under klara dagar och då utgått från solintensiteten utanför jordatmosfären (solarkonstanten), en spektral fördelningskurva för solstrålningen där (FIG. 1.11a), och en transmissionsfaktor för atmosfären vid en antagen beskaffenhet hos atmosfären i fråga om mängden utfällbart vatten, ozonhalt och stoft. Fördelningskurvor för strålningen vid jordytan för olika luftmassor beräknas sålunda med hänsyn till den inverkan absorption och spridning i atmosfären har på strålning av olika våglängd.

Kurvor, i princip liknande dem i FIG. 1.14b, uppritades av Moon under antagandet av en "standardatmosfär" för vilken gällde att lufttrycket var 760 mm Hg, mängden utfällbart vatten 20 mm, ozonhalt 2,8 mm och stofthalt i luften 300 partiklar per  $\text{cm}^3$ , se Moon (1940). Man får sedan intensiteten hos solstrålningen mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen vid olika solhöjder genom integrering av ytan under kurvorna.

Moons värden har inritats i FIG. 1.21c, där även kurvan för Lunelunds årsmedelvärden visas. Moons kurva har använts på många håll, t ex i USA. I Danmark har man vid mätningar under eftersommaren och hösten, företagna vid Tekniska Högskolan i Lyngby utanför Köpenhamn, funnit god överensstämmelse med de värden kurvan ger. Under sommaren fick man något lägre värden, se Petersen (1966).

I ASHRAE Guide, där man fram till 1966 rekommenderade Moons värden, har man numera övergått till att använda det uttryck på  $I_{DN}$  som ekv. (1.21) anger. Man ger konstanterna A och B i ekvationen olika värden för varje månad och beaktar på så sätt den variation hos strålningen, som är en följd av det varierande solavståndet under året och den med årstiden växlande halten av stoft och vattenånga. Värdena har bestämts på grundval av forskningsresultat vid Minnesota-universitetet, se Threlkeld & Jordan (1957).

I Norden är årstidsberoendet hos strålningen inte det samma som i USA, varför en direkt jämförelse med beräknad solintensitet t ex enligt ASHRAE Guide 1967 och Lunelunds uppmätta värden inte är av så stort intresse. Beräknade värden på  $I_{DN}$  som funktion av solhöjden presenteras emellertid av Rao & Seshadri (1961) i form av kurvor för olika mängd utfällbart vatten och olika mängd partiklar per  $\text{cm}^3$ , se FIG. 1.21d.

Av värdena i TAB. 1.21f ser man att Rao & Seshadris värden för 10 respektive 3,5 mm utfällbart vatten, ungefär den mängd som genomsnittligt förekommer i Helsingfors under maj-september respektive oktober-april, i allmänhet ligger något högre än Lunelunds motsvarande värden. Här har då för jämförelsen helt godtyckligt valts de kurvor som i FIG. 1.21d gäller vid stofthalten 300 partiklar per  $\text{cm}^3$ . Några mätningar av stofthalten som kan begagnas i samband med solstrålningsberäkningar torde inte ha utförts i Norden.

#### 1.22 Himmelsstrålningens intensitet vid klar himmel

Uppgifter om himmelsstrålningens intensitet varierar starkt med olika källor. Teoretiska beräkningar liksom även mätningar med varierande antal parametrar har gjorts. Meteorologer och fysiker har behandlat problemet mera ingående, se t ex Valko (1966). När det gäller värden för beräkning av instrålning mot byggnader har strävan varit en förenkling.

De stora skillnaderna mellan uppgifter från olika källor beror givetvis på det stora antalet faktorer som påverkar himmelsstrålningens intensitet och att dessa faktorer kan ha olika värden på olika orter. Några av dessa faktorer är: solens läge, atmosfärens halt av vattenånga och ozon, luftföroreningar, lufttryck, höjd över havet, markreflexion osv. Av betydelse är också den mätutrustning som använts, därför att tveksamhet kan uppstå hur stor del av de uppmätta värdena som skall hänföras till direkt strålning respektive himmelsstrålning.

De faktorer som påverkar himmelsstrålningens intensitet inverkar också på den direkta solstrålningens intensitet. Då den senare i detta sammanhang är av större betydelse brukar man sätta himmelsstrålningen i relation till den direkta solstrålningen.

Ett vanligt sätt är att man förutsätter direkt proportionalitet mellan himmelsstrålningen och den i atmosfären absorberade solstrålningen, dvs

$$I_{dH} = \kappa (I_0 - I_{DN}) \cdot \sin h \quad (1.36)$$

Värdet på  $\kappa$  varierar i litteraturen mellan ca 0,3 och 0,35. I vissa fall rekommenderas olika värden för olika årstider (olika vatteninnehåll i atmosfären).

En anpassning till ekv. (1.36) med minsta kvadratmetoden gav  $\kappa = 0,29$  och  $I_0 = 1300 \text{ W/m}^2$  för de mätvärden från SMHI som bearbetats i 1.21. Korrelationskoefficienten beräknad enligt ekv. (1.32) med  $x = I_{DN}$  och  $y = I_{dH}/\sin h$  blev  $r = 0,65$ . Samma bearbetning av mätvärdena från KTH gav  $\kappa = 0,31$ ,  $I_0 = 1410$  och korrelationskoefficienten  $r = 0,74$ .

Korrelationen är som synes tillfredsställande. De erhållna värdena på solarkonstanten  $I_0$  överensstämmer mycket bra med det teoretiskt riktiga värdet  $1396 \text{ W/m}^2$ . Detta tyder på att betraktelsesättet är riktigt.

Då himmelsstrålningen är liten i jämförelse med den direkta solstrålningen kan man i byggnadstekniska sammanhang nöja sig med att ange himmelsstrålningens intensitet som funktion av enbart solhöjden. Spencer (1965) har efter ett mycket stort antal mätningar i Australien (jfr 1.21) uppställt ett analytiskt uttryck för himmelsstrålningen som funktion av solhöjden. Resultatet är inritat i FIG. 1.22a. Ett liknande förfaringsätt använder Parmelee (1954). I USA har man betydligt större variationer i luftfuktighet än i Norden. Därför har man där på senare tid i ASHRAE Handbook of Fundamentals (1967) övergått till en metod som tar hänsyn till dessa variationer. Metoden är utarbetad av Stephenson (1965) och utgår från följande ansats:

$$I_H = I_{DN} \cdot \sin h + C \cdot I_{DN} \quad (1.37)$$

Denna ansats innebär att globalstrålningen tänkes sammansatt av en direkt komponent och en diffus komponent som är direkt proportionell mot  $I_{DN}$ . Eftersom  $I_H = I_{DH} + I_{dH}$  och  $I_{DH} = I_{DN} \cdot \sin h$  innebär ekv. (1.37) att

$$I_{dH} = C \cdot I_{DN} \quad (1.38)$$

En anpassning till ekv. (1.37) av mätvärdena från SMHI och KTH ger en mycket god korrelation (ca 0,98). En närmare granskning visar dock att överensstämmelsen är skenbar. Förklaringen till den höga korrelationen ligger i att den direkta komponenten dominerar starkt över den diffusa. Ekv. (1.37) uttrycker egentligen ett enkelt trigonometriskt samband där himmelsstrålningen förekommer som en obetydlig störning. Ekvationen ger emellertid värden på himmelsstrålningen som ökar med solhöjden. För konstanten C ges olika värden för olika månader. Metoden är enkel och ger rimliga värden även om den fysikaliska bakgrunden är diskutabel.

FIG. 1.22a visar en sammanställning av värden på  $I_{dH}$  som funktion av solhöjden efter på figuren angivna



källor. Kurvorna uppvisar en relativt stor spridning liksom stora skillnader i formen. Eftersom värdena varierar starkt även i verkligheten är detta naturligt. Himmelsstrålningen är emellertid relativt liten i jämförelse med den direkta solstrålningen, och i detta sammanhang kan man nöja sig med att använda någon av kurvorna. Här har den i figuren streckade kurvan (efter ASHRAE GUIDE 1964) valts såsom varande representativ.

### 1.23 Värden på instrålningen från sol och himmel vid genomsnittliga förhållanden

Med instrålning i detta avsnitt avses globalstrålningens dygnssumma. De värden som redovisas gäller normalåret 1901-30, då inte annat anges.

Instrålningen registreras numera med solarimeter på ett flertal orter i Sverige, jfr 1.211. För tidigare perioder kan den beräknas ur registreringar av solskenstiden med förhållandevis god noggrannhet. Instrålningen kan också erhållas ur uppgifter om molnigheten, dock med större osäkerhet. (Lindholm 1955, Ångström 1958, Boysen & Mandorff 1969.)

Av astronomiska skäl avtar instrålningen i Sverige från söder mot norr, se TAB. II:2. Meteorologiska faktorer, främst molnigheten, medför att avvikelser förekommer, se FIG. 1.23a, som visar fördelningen av den årliga instrålningen i landet.

Under juni månad är solskenstiden och därmed instrålningen störst i kusttrakterna av Bottniska viken, ca 380 h. Gotland och Östersjökusten har ca 350 h och västkusten ca 320 h. Minst är solskenstiden i inre Götaland, ca 270 h, vilket utgör ca 70 % av instrålningen vid Bottniska viken.

En sammanställning för normalåret av solskenstidens dagliga frekvens i Stockholm framgår av FIG. 1.23b. Som väntat är frekvensen av dagar med lång solskens-

tid störst under sommaren då dagarna är längre. För solskenstiden 11-13 h föreligger dock en förskjutning av maximum till maj månad (Lindholm, 1955).

I FIG. 1.23c har för Stockholm den uppmätta solskenstiden under normalåret 1931-60 satts i relation till den astronomiskt möjliga. Kvoten uppnår sitt högsta värde, ca 57 %, under juni och avtar mot vintern. Under december månad nås minimum, ca 13 %.

Den totala och den diffusa instrålningen i Stockholm under årets olika månader framgår av FIG. 1.23d. I figuren är också månadsmedeltemperaturerna inritade. Den totala instrålningen har sitt maximum under maj månad och inte som väntat i juni. Detta förklaras av att luften har lägre halt av vattenånga under våren (jfr FIG. 1.23b). Temperaturen får sitt maximala värde nästan två månader efter instrålningens maximum.

Den diffusa instrålningen har under sommarmånaderna ett tämligen konstant värde. Vid tiden för maximal totalinstrålning utgör den diffusa delen ca 25 %. Under vintern härrör instrålningen i högre grad från diffus strålning.

Vid helt mulen himmel uppgår instrålningen till 20 à 25 % av värdet vid helt klar himmel.

Himmelsstrålning vid delvis molntäckt himmel kan variera inom mycket vida gränser. Som ett genomsnitt för medelmolnig himmel anger Pleijel (1963)

$$I_{dH} = 244 \cdot \sin h \text{ W/m}^2 \quad (1.38)$$

Denna ekvation ligger till grund för värdena på  $I_{dH}$  vid genomsnittlig molnighet i TAB. II:1 och II:3.

De värden som sammanställts i detta avsnitt utgör medelvärden under en 30-årsperiod och är alltså inte avsedda att användas vid dimensionering av anläggningar för värmning eller kylning av byggnader. Exempelvis är

utetemperaturen under januari enligt FIG. 1.23d något högre än  $-3^{\circ}\text{C}$ . Vid beräkning av värmebehov blir korta perioder med betydligt lägre utetemperatur avgörande. Vid beräkning av kylbehov sommartid blir korta perioder med högre instrålning och högre temperatur än vad t ex FIG. 1.23d visar bestämmande, se Adamson (1970). Från energisynpunkt är de redovisade värdena av stort intresse. Den årliga instrålningen i Mellansverige är enl. FIG. 1.23a omkring  $80 \cdot 10^3 \text{ cal/cm}^2$  eller ca  $1000 \text{ kWh/m}^2$ . Årsvärmebehovet för en normal villa är av storleksordningen  $20 \cdot 10^3 \text{ kWh}$ , vilket alltså motsvarar årsinstrålningen mot en horisontell yta med storleken  $20 \text{ m}^2$ . Om det vore tekniskt möjligt att infånga all denna solinstrålning och lagra energin från sommar till vinter skulle man, genom att tillvarata endast en liten del av den solenergi som faller mot byggnaden, täcka hela årsvärmebehovet.

I verkligheten har man givetvis förluster av olika slag i ett solvärmesystem och än så länge inga möjligheter att till rimliga kostnader lagra energi för täckande av hela värmebehovet.

Värdena visar dock att stora energimängder finns att tillgå även på våra breddgrader. En avsevärd reduktion av energibehovet för uppvärmning torde kunna uppnås redan genom ett blygsamt utnyttjande av den infallande solenergin.

### 1.3 Sol- och himmelsstrålningens reflexion och absorption vid ytor

#### 1.31 Diffust reflekterande ytor

Vid en helt matt yta reflekteras varje stråle diffust från vilket håll strålen än når ytan. Från den punkt på ytan som träffas av strålen sprids strålningen vid reflexionen på samma sätt som strålning emitterad av ytan, dvs. enligt Lamberts cosinuslag. Intensiteten av reflekterad strålning i en riktning som bildar vinkeln  $\alpha$  med ytnormalen kan då beräknas enligt

$$I_{\alpha} = I_N \cos\alpha \quad (1.39)$$

där  $I_N$  betecknar intensiteten hos reflekterad strålning i ytnormalens riktning.

Grafiskt finner man  $I_{\alpha}$  på det sätt som visades i FIG. 1.13b. Avsättes intensiteten i varje riktning i form av pilar med längden i proportion till intensitetens storlek kommer kurvan som utgör orten för pilspetsarna att bli en cirkel, om uppritningen sker på ett papper. I själva verket är orten för pilspetsarna ett klot, eftersom reflexionen i rummet sker i alla riktningar.

#### 1.32 Spegelreflekterande ytor

En helt blank yta är speglande. Detta innebär att en stråle som når ytan reflekteras i en enda riktning. Denna riktning ligger i samma plan som den infallande strålen, i infallsplanet, och bildar samma vinkel med ytnormalen som denna. Reflexionsvinkeln är lika med infallsvinkeln.

Som exempel på speglande ytor kan nämnas blanka glas- ytor, lugna vattenytor och målade ytor där pigmentskiktet ligger under ett blankt skikt av bindemedel.

I dessa fall reflekteras inte all strålning vid ytan, eftersom materialet är mer eller mindre transparent. En del av strålningen transmittteras genom ytan, varvid strålen brytes, se FIG. 1.32a.

Vid beräkning av hur stor del av strålningen som reflekteras,  $I_r/I$ , resp. transmittteras,  $(I-I_r)/I$ , kan vanligen förutsättas att den infallande strålningen är opolariserad. Detta innebär att svängningsamplituden är lika stor i alla mot strålningsriktningen vinkelräta riktningar (strålningen från klar himmel kan dock i verkligheten vara ganska starkt polariserad).

Vid reflexionen och brytningen vid ytan polariseras strålningen. Man tänker sig den polariserade strålningen uppdelad i två komponenter. Svängningarna i den ena komponenten sker parallellt med infallsplanet, i den andra vinkelrätt mot detta plan. Är  $I_{//}$  och  $I_{\perp}$  intensiteten hos den reflekterade strålningens komponenter gäller enligt Fresnel

$$I_{//} = \frac{I}{2} \frac{\operatorname{tg}^2(i-b)}{\operatorname{tg}^2(i+b)} \quad (1.40)$$

och

$$I_{\perp} = \frac{I}{2} \frac{\sin^2(i-b)}{\sin^2(i+b)} \quad (1.41)$$

Intensiteten hos den reflekterade strålningen är summan av komponenterna  $I_{//}$  och  $I_{\perp}$ :

$$I_r = I_{//} + I_{\perp} \quad (1.42)$$

För beräkning av brytningsvinkeln  $b$  gäller brytningslagen:

$$\sin b = \frac{n_1}{n_2} \sin i \quad (1.43)$$

där  $n_1$  är brytningsindex hos materialet 1 och  $n_2$  är brytningsindex hos materialet 2.

Vid vinkelrätt infallande strålning är

$$I_{//} = I_{\perp} = \frac{I}{2} \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (1.44)$$

Eftersom i detta fall  $I_{//} = I_{\perp}$  är den reflekterade strålen helt opolariserad.

Vid en viss infallsvinkel är  $I_{//} = 0$ , dvs. den reflekterade strålen är helt polariserad vinkelrätt mot infallsplanet. Detta inträffar enligt ekv. (1.40) då  $i + b = 90^\circ$ , eftersom nämnaren i ekvationen då går mot oändligheten. Den reflekterade och den brutna strålen är härvid vinkelräta mot varandra. Värdet på infallsvinkeln erhålles då enligt ekv. (1.43):

$$\operatorname{tg} i = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.45)$$

Om materialet 1 är luft kan man sätta  $n = 1$ , det värde som gäller för vakuum. Uttryckes reflekterad del av strålningen i form av en reflexionsfaktor, så att  $r = I_r/I$ ,  $r_{//} = 2I_{//}/I$ ,  $r_{\perp} = 2I_{\perp}/I$ , varvid enligt ekv. (1.42)

$$r = \frac{r_{//} + r_{\perp}}{2} \quad (1.46)$$

ger ekv. (1.40), (1.41) och (1.43), om  $n_2 = n$ :

$$r_{//} = \left( \frac{n^2 \cos i - \sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{n^2 \cos i + \sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right)^2 \quad (1.47)$$

$$r_{\perp} = \left( \frac{\cos i - \sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\cos i + \sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \right)^2 \quad (1.48)$$

I FIG. 1.32b har värden på reflexionsfaktorer uppriktats, beräknade enligt ekv. (1.46)-(1.48), för  $n = 1,520$ . Detta värde på brytningsindex är enligt Pleijel (1958) vanligt för fönsterglassorter som används i Sverige, vid strålning från sol och himmel.

Det är tillämpligt också för vanliga bindemedel i målarfärg. För natriumljus med våglängden  $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$  ligger nämligen värdet för sådana bindemedel mellan 1,4 och 1,6, enligt Rødahl (1962).

Vid vinkelrätt infallande strålning, dvs. då  $i = 0$ , är  $r_{\parallel} = r_{\perp} = r = 0,043$  när  $n = 1,520$  (ekv. (1.44)). Vid  $i = 56,7^{\circ}$  är den reflekterade strålningen helt polariserad vinkelrätt mot infallsplanet (ekv. (1.45)). Av FIG. 1.32b framgår att reflexionen ökar med infallsvinkeln, dvs. vid snett infallande strålning, och att den reflekterade strålen är starkt polariserad också vid lägre värden på  $i$ .

Vid en vattenyta är brytningsindex för direkt solstrålning 1,33, ett lägre värde än vid fönsterglas. I TAB. 1.32a anges de värden på reflexionsfaktorn man får, då ekv. (1.40)-(1.42) används. Hänsyn har här inte tagits till eventuell reflexion vid botten. Infallsvinkeln har i tabellen bytts ut mot solhöjden ( $h = 90^{\circ} - i$ ).

### 1.33 Ytor av mark och byggnader

Ytan hos vanliga byggnadsmaterial är i allmänhet inte helt matt eller helt blank, även om man vid de flesta beräkningar approximativt brukar anta att ytan är diffust reflekterande. Som exempel kan nämnas en oljemålad yta med ett övre, blankt och transparent bindemedelsskikt och ett undre pigmentiskt med matt yta. En infallande stråle spegelreflekteras delvis vid den fria ytan. Den del som transmitteras där tränger ner genom bindemedelsskiktet och reflekteras delvis diffust vid pigmentytan, där en annan del absorberas. Den diffust reflekterade strålningen passerar åter till viss del den fria ytan, där den överlagras med den spegelreflekterade strålningen. Man får som resultat en fördelning av den reflekterade strålningen som schematiskt åskådliggöres i FIG. 1.33a.

Vid byggnadsmaterial som har en mera matt yta får man inte en så tydlig speglingskomponent som i FIG. 1.33a. Man kan dock få en ökning av den diffusa reflexionen, mest i reflexionsvinkelns riktning, FIG. 1.33b. Glättat papper ger sådan reflexion.

Ojäмна, korrugerade eller mönstrade ytor ger en tredje typ av reflexion, FIG. 1.33c. Av figuren ser man att reflexionen kan bli störst i den infallande strålens riktning.

Det är tydligt att i fall som dessa, där reflexionen inte sker enligt cosinuslagen, den reflekterade delen av strålningsenergin varierar med både infallsvinkelns storlek och det håll från vilket strålningen kommer. Absorptionen och därmed uppvärmningen av ytmaterialet blir beroende av solens orientering i förhållande till ytan.

Solstrålningens absorption är beroende av solhöjden. Detta framgår av att absorption och reflexion varierar med strålningens våglängd, se t.ex. FIG. 1.13f, och att våglängden varierar med solhöjden. När solen står lågt är ju våglängden genomsnittligt större hos den direkta solstrålningen, se 1.14.

Huvuddelen av våglängdsområdet hos den direkta solstrålningen ligger mellan 0,3 och 2,5  $\mu\text{m}$ , hos himmelsstrålningen (vid klar himmel) mellan 0,3 och 1,0  $\mu\text{m}$ . Absorptionen av himmelsstrålningen kan därför skilja sig från absorptionen av direkt solstrålning.

De värden på absorptionsfaktorer som uppges i olika handböcker etc. avser ofta nya, rena ytor, och man har inte tagit hänsyn till den inverkan som väder och vind har, särskilt i stads- och industriområden. Rødahl ger som exempel på atmosfärens inverkan att absorptionsfaktorn för en vit yta i Pittsburgh var 0,51 då ytan var nymålåd, medan den var 0,68 efter två månader. I ett annat fall ökade absorptionsfaktorn hos vit asbestcement från 0,42 till 0,71 under ett år. Mätningar som gjordes



i Köpenhamn från februari till augusti 1951 visade, att absorptionsfaktorn hos cinnoberrött ökade från 0,49 till 0,87, hos koboltblått från 0,6 till 0,7 och hos zinkgult från 0,35 till 0,42.

Vid jämförelse mellan absorptionsfaktorer enligt olika källor finner man att värdena ofta skiljer sig mycket från varandra. För vit färg uppges t.ex. värden mellan 0,2 och 0,7. Detta kan bero på skillnader i kulören hos de färger man provat i avseende på absorptionen, men också andra faktorer kan åstadkomma dessa variationer.

Rødahl ger en beskrivning av hur ett skikt bindemedel (olja) på en pigmentyta inverkar på färgens strålningsabsorption, då en stråle träffar en målad yta. Vid små infallsvinklar är reflexionen vid den fria ytan mycket liten. Oljefärgen är då en bättre absorberare än ett torrt pigmentkikt, på grund av den inre reflexion som sker vid oljans gränssytor, den större inträngning av strålningen i pigmentkiktet som oljan åstadkommer då den fyller ut mellanrummen mellan pigmentkornen och slutligen absorptionen i själva oljan. Vid laboratorieförsök fick man vid nära vinkelrät instrålning en absorptionsfaktor för torr zinkoxid av 0,18. Vid zinkoxid i olja fick man 0,32. Absorptionen minskar ju vid ökande infallsvinkel (eftersom reflexionen ökar), och man kan teoretiskt beräkna att det först är vid infallsvinklar över  $80^\circ$  som oljefärgen absorberar lika litet som det torra pigmentet.

Man bör hålla i minnet att strålningen från solen sällan faller in under små vinklar mot en lodrät fasad. Infallsvinkeln den 1 juli på  $60^\circ$ N latitud varierar vid sydfasader mellan  $53^\circ$  och  $90^\circ$  och vid ostfasader mellan  $23^\circ$  och  $90^\circ$ . Det vägda medelvärdet under året på infallsvinkeln med solstrålningsintensiteten som vikt ligger mellan  $30^\circ$  och  $40^\circ$ , oberoende av väderstrecket. Reflexionen kan då vara större än som angivits för instrålning vinkelrätt mot ytan.

Vid tunt målade ytor påverkas reflexionen av den underliggande ytans egenskaper. Vid ljus färg på ett mörkare underlag kan ytan se ljus ut. Det mörkare underlaget kan emellertid absorbera mera än färgen på ytan gör av strålning med större våglängd än det synliga ljusets. Infraröd strålning har större förmåga att tränga igenom färgskiktet på ytan.

Om ett fasadmaterial är täckt med glas kan ytan i strålningshänseende behandlas som ett enkelfönster, se 3.41. Genom glaset transmitterad strålning träffar materialet, som reflekterar en del av strålningen. Hela den reflekterade strålningen transmitteras ej ut genom glaset, och vid mörka material, som ju ofta används, utgörs den totalt av fasaden absorberade energin praktiskt taget av summan av den strålning som glaset absorberar och den strålning som glaset transmittar. Vad som reflekteras totalt är då den reflekterade strålningen från ett enkelglas, ca 10 % vid  $i = 40^\circ$ . Fasaden absorberar då 90 % av strålningsenergin vid denna infallsvinkel.

I TAB. 1.33a ges några värden på reflexionsfaktorer avseende markytor och byggnaders ytterytor. De flesta värdena är hämtade ur Threlkeld (1962) och Introduction to the Utilization of Solar Energy (1963).

En omfattande samling värden på absorptionsfaktorer ges i Gubareff, Janssen & Torborg (1960): Thermal Radiation Properties Survey. Oftast torde det inte vara möjligt att få mera noggranna uppgifter om absorption och reflexion vid ytor utomhus, med hänsyn till de många, nyss nämnda faktorer som påverkar värdena. I de flesta fall är det inte heller nödvändigt. Den solenergi som absorberas vid en byggnads ytterytor och som transmitteras genom väggar och tak är vanligen liten jämfört med den energi som tränger in genom fönster. Den strålning som träffar fönstren utgörs sällan till någon större del av reflekterad strålning, bortsett från det fall då snötäckta ytor förekommer i omgivningen.

TAB. 1.21a. Maximivärden och medelvärden av direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen i cal/cm<sup>2</sup>min under klara dagar enligt sju års registrering i Helsingfors (efter Lunelund, 1936).

Månad	Värde	2,5°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Jan	Max	0,355	0,675	0,980	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,305	0,570	0,875	-	-	-	-	-	-	-	-
Febr	Max	0,375	0,655	0,985	1,190	1,295	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,335	0,567	0,812	1,004	1,120	-	-	-	-	-	-
Mars	Max	0,440	0,690	1,040	1,190	1,276	1,332	1,365	-	-	-	-
	Medel	0,360	0,565	0,841	0,998	1,116	1,215	1,287	-	-	-	-
April	Max	0,410	0,680	1,002	1,194	1,298	1,360	1,400	1,419	1,419	1,419	-
	Medel	0,335	0,555	0,818	0,985	1,100	1,170	1,221	1,260	1,292	1,310	-
Maj	Max	0,370	0,590	0,870	1,070	1,172	1,240	1,300	1,340	1,375	1,400	1,419
	Medel	0,316	0,517	0,752	0,915	1,024	1,102	1,164	1,210	1,251	1,289	1,332
Juni	Max	0,375	0,645	0,945	1,131	1,218	1,280	1,320	1,347	1,370	1,390	1,405
	Medel	0,304	0,516	0,760	0,927	1,031	1,103	1,158	1,200	1,230	1,257	1,285
Juli	Max	0,370	0,610	0,890	1,071	1,174	1,230	1,276	1,300	1,332	1,348	1,372
	Medel	0,290	0,490	0,719	0,882	0,990	1,059	1,120	1,170	1,207	1,238	1,268
Aug	Max	0,370	0,610	0,871	1,033	1,152	1,244	1,310	1,360	1,392	1,416	-
	Medel	0,282	0,473	0,700	0,874	0,998	1,079	1,142	1,194	1,222	1,238	-
Sept	Max	0,357	0,635	0,980	1,184	1,280	1,330	1,358	1,370	-	-	-
	Medel	0,298	0,500	0,750	0,930	1,060	1,140	1,200	1,235	-	-	-
Okt	Max	0,410	0,705	1,050	1,210	1,306	1,356	-	-	-	-	-
	Medel	0,325	0,552	0,831	1,023	1,150	1,217	-	-	-	-	-
Nov	Max	0,470	0,705	0,994	1,150	-	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,422	0,595	0,845	1,035	-	-	-	-	-	-	-
Dec	Max	0,470	0,717	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Medel	0,375	0,595	-	-	-	-	-	-	-	-	-
År	Max	0,398	0,660	0,964	1,142	1,241	1,296	1,331	1,353	1,372	1,389	1,398
	Medel	0,329	0,541	0,791	0,957	1,066	1,136	1,185	1,211	1,240	1,266	1,295

TAB. 1.21b. Intensiteten hos direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen klara dagar vid varierande solhöjd, enligt Lunelund (1936) och enligt de ekvationer som uppställts för beräkningsändamål på grundval av Lunelunds värden.

Sol- höjd $h^{\circ}$	Värden enligt Lunelund				Värden enligt ekv. (1.22)-(1.25)				Differens %			
	Årsmedelvärdet $I$ W/m <sup>2</sup>	Vintermedelvärdet okt-april $I_{WL}$ W/m <sup>2</sup>	Sommarmedelvärdet maj-sept $I_{SL}$ W/m <sup>2</sup>	Vintermedelvärdet okt-april $I_{WL}$ W/m <sup>2</sup>	Sommarmedelvärdet maj-sept $I_{SL}$ W/m <sup>2</sup>	Vinter okt-april $I_{WE}$ W/m <sup>2</sup>	Sommar maj-sept $I_{SE}$ W/m <sup>2</sup>	$\frac{I_{WE}-I_{WL}}{I_{WL}} \cdot 100$	$\frac{I_{SE}-I_{SL}}{I_{SL}} \cdot 100$			
2,5	230	245	292	1,19	208	257	1,24	1,18	245	208	0	0
5	378	461	481	1,22	348	431	1,24	1,15	399	348	0	0
10	552	673	704	1,22	514	636	1,24	1,14	584	514	0	0
15	668	797	828	1,19	632	766	1,21	1,11	703	626	- 0,1	- 0,9
20	744	866	903	1,16	712	837	1,18	1,10	779	713	- 0,5	+ 0,1
25	793	904	942	1,14	765	882	1,15	1,10	828	771	- 1,2	+ 0,8
30	827	929	965 a)	1,12	807	916	1,14	1,08	861	811	- 1,6	+ 0,5
35	845	944	990 b)	1,12	839	937	1,12	1,05	886	841	+ 0,8	+ 0,2
40	865	957	990 b)	1,11	857	954	1,11	1,05	904	863	+ 0,2	+ 0,7
45	883	969	990 b)	1,10	876	969	1,11	1,04	918	880	+ 0,4	+ 0,5
50	904	976	-	1,08	904	976	1,08	-	929	893	-	- 1,2
55	-	-	-	-	-	-	-	-	938	899	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-	944	912	-	-

a) Värden uppmätta enbart under mars och april

b) Värden uppmätta enbart under april

TAB. 1.21c. Den direkta solstrålningens intensitet  $I_{DN}$  enligt ekv. (1.27) (medelmaximivärden) och dess minskning per mm Hg ökning av luftfuktigheten enligt ekv. (1.28), vid några olika solhöjder.

h	m	$I_{DN}$	$\Delta I_{DN}$	$\frac{\Delta I_{DN}}{I_{DN}} \cdot 100$
		W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	%
10°	5,600	585	16,0	2,74
15°	3,816	713	13,7	1,92
20°	2,904	790	12,4	1,57
25°	2,357	854	11,7	1,37
30°	1,995	895	11,2	1,25
40°	1,553	949	10,7	1,13
50°	1,304	982	10,3	1,05

TAB. 1.21d. Temperatur och absolut luftfuktighet (g/kg torr luft) i Helsingfors och Stockholm.

Månad	Helsingfors		Stockholm	
	Temp.	Fukt.	Temp.	Fukt.
1	- 6,8	1,89	- 2,5	2,63
2	- 7,4	1,76	- 2,6	2,55
3	- 4,1	2,08	- 0,4	2,90
4	2,2	3,52	3,6	3,61
5	9,0	4,13	9,2	4,75
6	14,3	6,47	13,8	6,38
7	17,1	8,50	16,9	8,39
8	15,6	8,55	15,2	8,18
9	10,4	6,66	11,2	6,68
10	4,8	4,74	6,4	5,00
11	0,6	3,50	1,6	3,65
12	- 3,2	2,62	- 1,3	2,94
5-9	13,3	6,86	13,3	6,88
10-4	- 2,0	2,87	0,7	3,33

TAB. 1.21e. Medelvärden av direkt solstrålning vid klart väder enligt mätningar i Melbourne ( $I_{Sp}$ ) och Helsingfors ( $I'_{SL}$ ). Mätvärdena för Helsingfors är Lunelunds medelvärden för maj-september, för jämförelses skull omräknade att gälla vid medelavstånd till solen. Måttenhet  $W/m^2$ .

Solhöjd	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$I_{Sp}$	315	523	662	753	813	854	889	914	936	952
$I'_{SL}$	357	527	648	730	784	827	860	878	898	927
$\frac{I_{Sp} - I'_{SL}}{I_{Sp}} \cdot 100$	- 13,3	- 0,8	2,1	3,1	3,6	3,2	3,3	3,9	4,1	2,6

TAB. 1.21f. Värden på  $I_{DN}$  dels enligt Rao & Seshadri (FIG. 1.21d) vid en stofthalt av 300 partiklar per  $cm^3$  och en mängd utfällbart vatten av 10 respektive 3,5 mm, dels enligt Lunelunds mätningar. Lunelunds värden har bearbetats så att  $I'_{SL}$  i tabellen anger medelvärden under maj-september,  $I'_{WL}$  medelvärden under oktober-april, för jämförelses skull omräknade att gälla vid medelavstånd till solen. Måttenhet  $W/m^2$ .

Solhöjd	$I_{R+S}$ w = 10 mm	$I'_{SL}$	$\frac{I_{R+S} - I'_{SL}}{I'_{SL}} \cdot 100$	$I_{R+S}$ w = 3,5 mm	$I'_{WL}$	$\frac{I_{R+S} - I'_{WL}}{I'_{WL}} \cdot 100$
	10	502	527	- 5	593	574
20	725	730	- 1	830	770	+ 8
30	835	827	+ 1	935	875	+ 9
40	907	878	+ 3	1001	911	+ 9
50	950	927	+ 2	1047	-	-

TAB. 1.32a. Reflekterad del av direkt solstrålning vid en lugn vattenyta, som funktion av solhöjden.

h	0°	2°	4°	6°	8°	10°	15°	20°	30°	50°	70°	90°
r	1,00	0,79	0,65	0,53	0,43	0,35	0,21	0,13	0,06	0,02	0,02	0,02

TAB. 1.33a. Reflexionsfaktorer vid solstrålning mot markyta och byggnaders yttertor.

Yta	Reflexionsfaktor r
Nysnö	0,85
Äldre snö	0,7
Ljusa färger, gult och ljusrött tegel	0,5
Ny betong, asbestcement, mörkare rödtegel, visset gräs och vissna buskar	0,3
Äldre betong, gräs, buskar och lövskog, ljus sand	0,25
Sand, makadam, ljus skiffer	0,20
Oljegrus, barrskog	0,15
Asfaltbeläggning, mörkgrå takpapp, skiffer, fuktig obevuxen mark	0,10

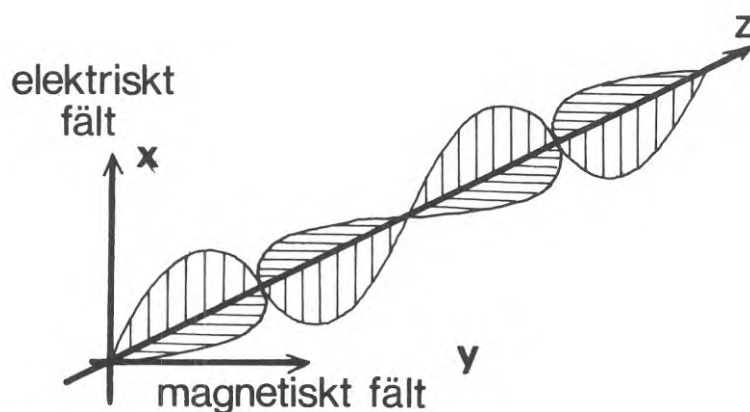


FIG. 1.1a. Värmestrålningen kan betraktas som en svängningsrörelse. Svängningen sker normalt vid opolariserad strålning i alla riktningar som är vinkelräta mot strålningsriktningen. I figuren visas svängningar i två plan som är vinkelräta mot varandra.

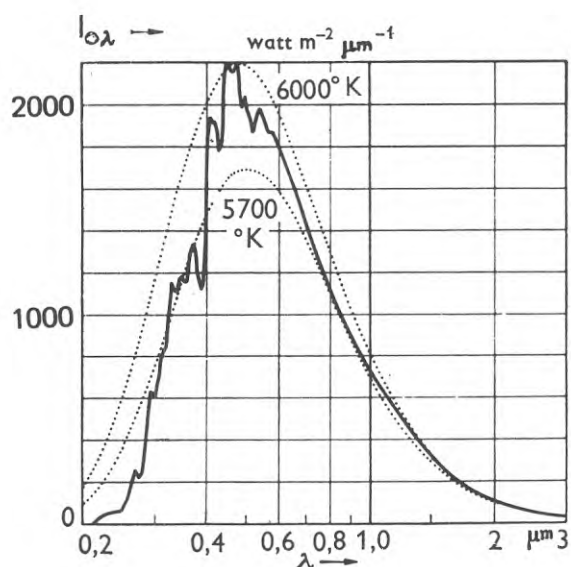


FIG. 1.11a. Intensiteten av solstrålningen vid olika våglängder, utanför jordatmosfären och vid genomsnittligt avstånd mellan solen och jorden. De streckade kurvorna visar strålningen från en absolut svart kropp, då dess temperatur är 6000 resp 5700<sup>o</sup>K. Ordinata är intensiteten av strålningen i W/cm<sup>2</sup> inom ett våglängdsområde med utsträckningen 1  $\mu\text{m}$ . (Efter Johnson (1954).)



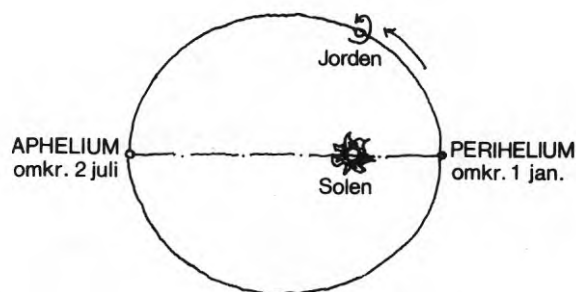


FIG. 1.11b. Jordens bana kring solen är elliptisk. Solen befinner sig i en av ellipsens brännpunkter.

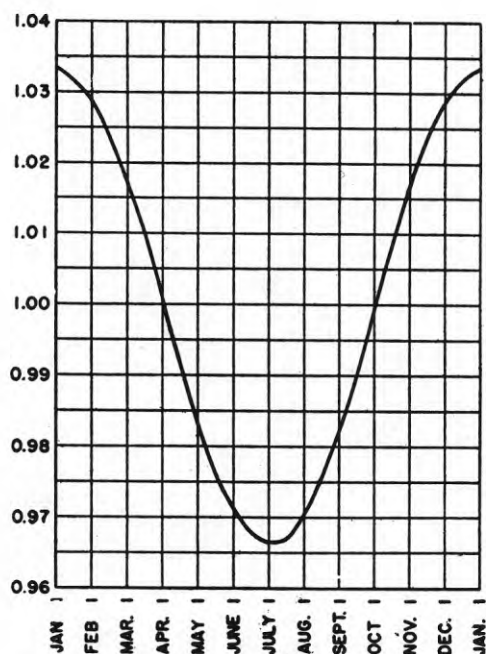


FIG. 1.11c. Intensiteten av solstrålningen utanför atmosfären vid olika årstider i förhållande till intensiteten vid medelavstånd, dvs i förhållande till solarkonstanten. När jorden är närmast solen, omkring 1 januari, är intensiteten störst.

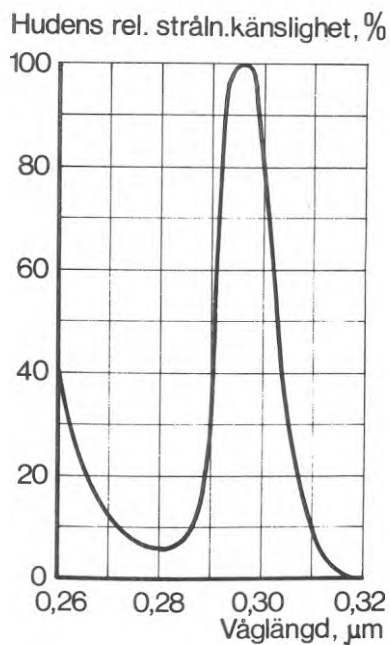


FIG. 1.12a. Hudens strålningskänslighet inom erytemområdet (maximal känslighet satt = 100 %). (Efter Pleijel (1954).)

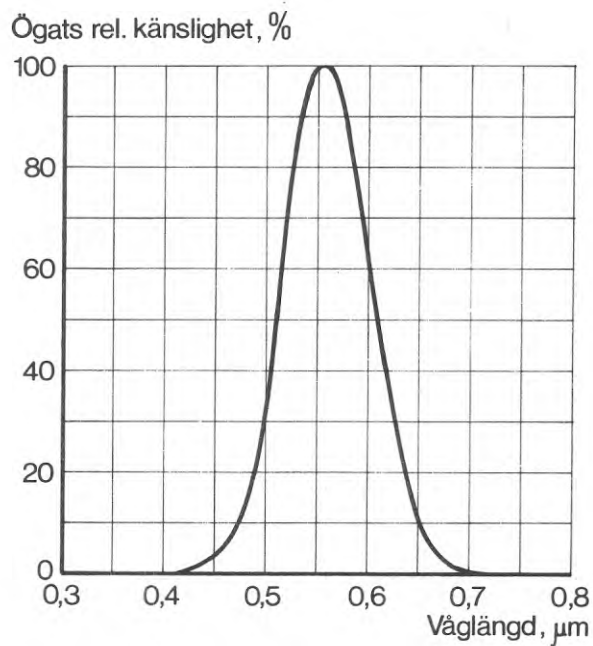


FIG. 1.12b. Ögats strålningskänslighet vid olika våglängder. Maximal känslighet satt = 100 %.

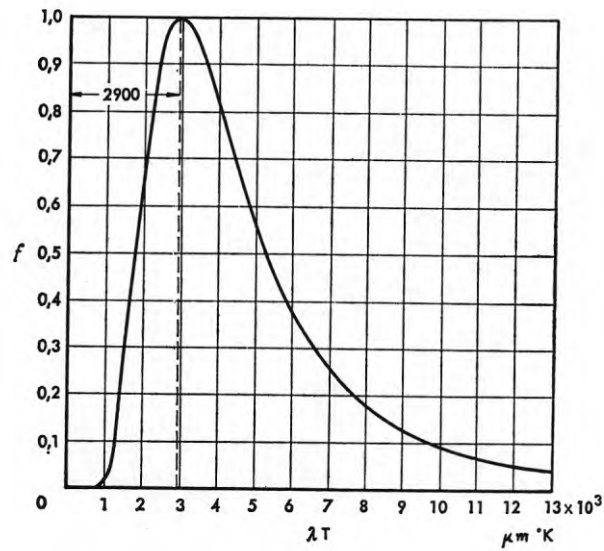


FIG. 1.13a. Relativ spektral intensitet hos strålning från en svart kropp, enligt ekv (1.5), som funktion av produkten  $\lambda T$ , där  $T$  är kroppens temperatur och  $\lambda$  är en godtyckligt vald våglängd.

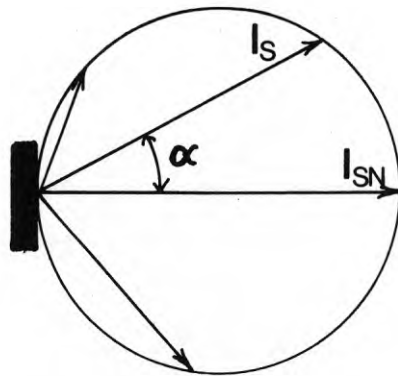


FIG. 1.13b. Svart strålnings intensitet i olika riktningar enligt Lamberts cosinuslag.

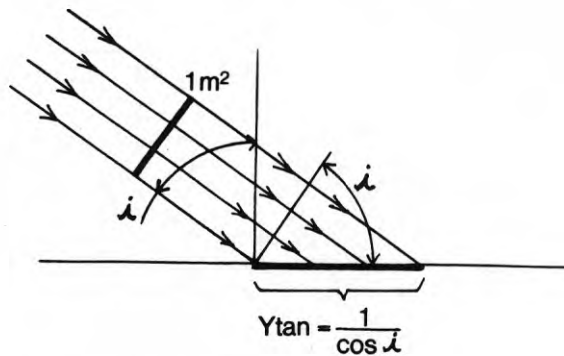


FIG. 1.13c. Strålning mot snedställd yta.

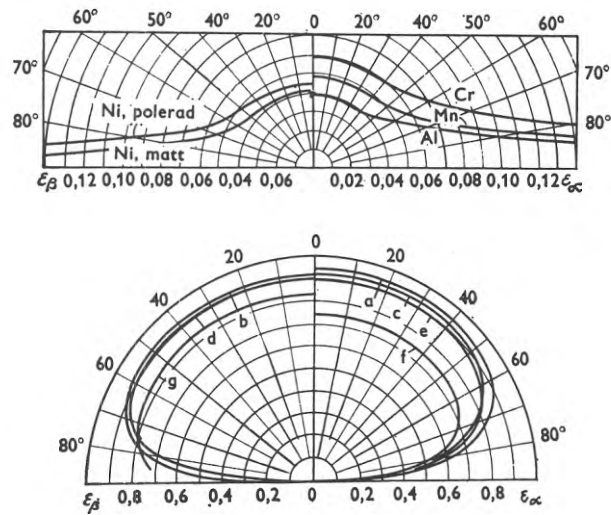


FIG. 1.13d. Emissionsfaktorer i olika riktningar för några olika material. a) våt is b) trä c) glas d) papper e) lera f) kopparoxid g) rå korund (aluminiumoxid). Temperaturen hos de strålände metallytorna var ca  $150^{\circ}\text{C}$ , hos de icke metalliska ytorna mellan  $0$  och  $90^{\circ}\text{C}$  (enligt E Schmidt och E Eckert, Forsch. Gebiete Ingenieurw., 6:175-183 (1935)).

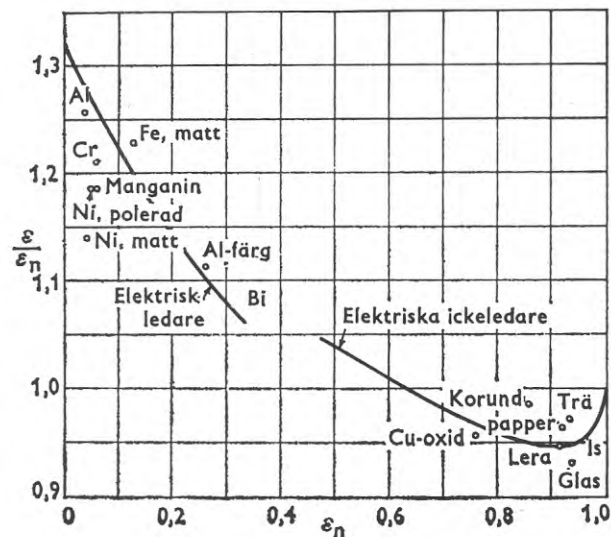


FIG. 1.13e. Teoretiskt (kurvorna) och experimentellt (punkterna) bestämda värden på förhållandet mellan den halvsfäriska emissionsfaktorn och emissionsfaktorn för utstrålning vinkelrätt mot ytan (enligt E Schmidt och E Eckert, Forsch. Gebiete Ingenieurw., 6:175-183 (1935)).

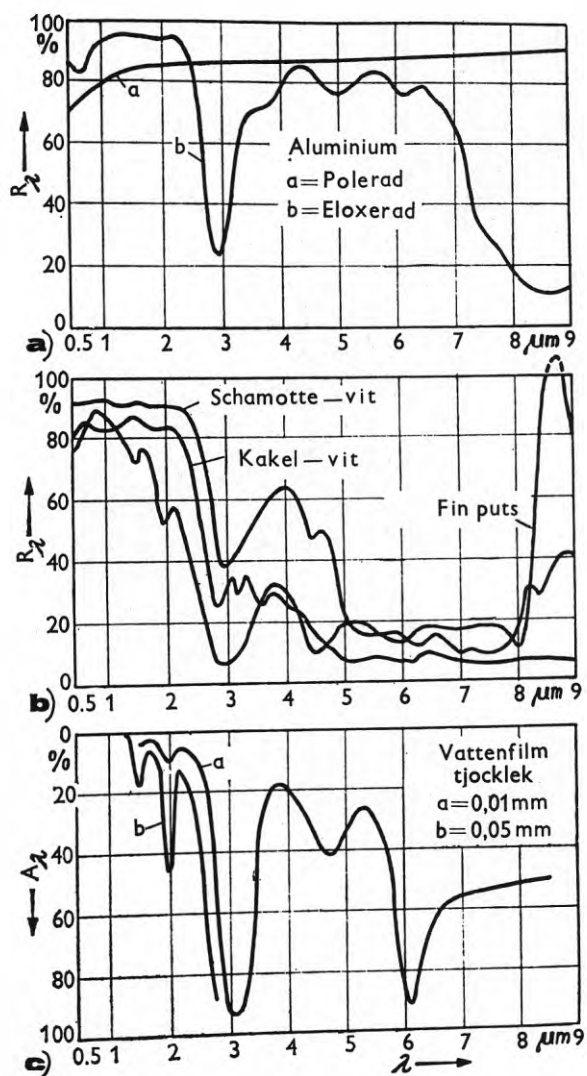


FIG. 1.13f. Reflexion och absorption vid monokromatisk strålning mot olika ytor (enligt W Sieber):  
 a) reflexionsfaktor vid aluminium  
 b) reflexionsfaktor vid icke metalliska ytor  
 c) absorptionsfaktor vid tunna vattenskikt.

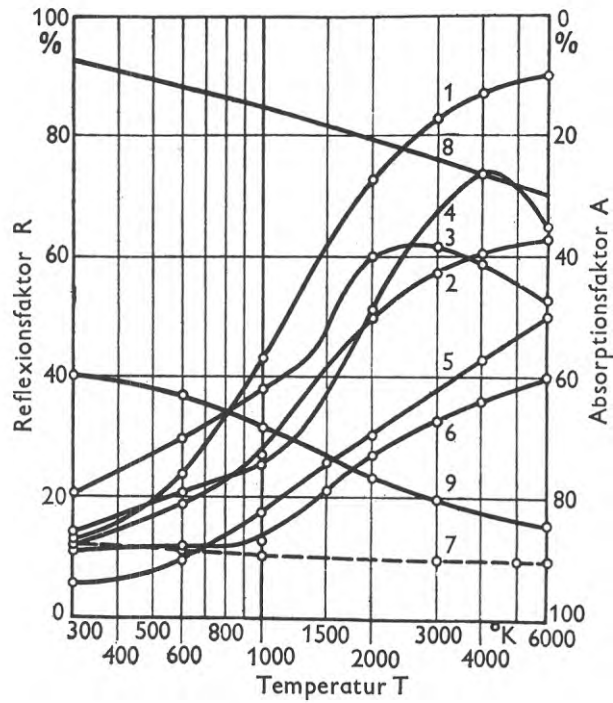


FIG. 1.13g. Reflexions- och absorptionsfaktor hos olika ytor vid strålning från en svart kropp med temperaturen  $T$  (enligt W Sieber):  
 1. vit schamotte 2. asbestpapp 3. kork  
 4. trä 5. porslin 6. betong 7. takpapp, skiffer 8. polerad aluminium 9. grafit.

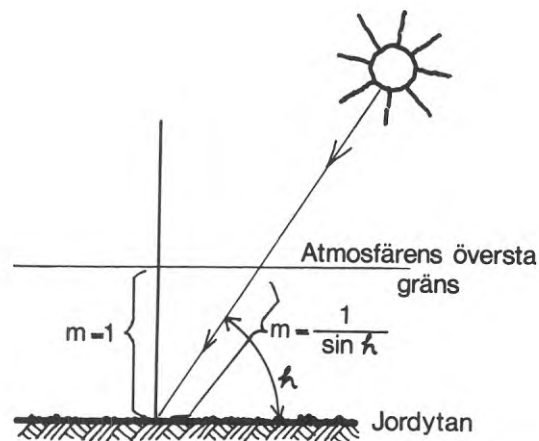


FIG. 1.14a. Variationen med solhöjden hos den  $s$   $k$  luftmassan  $m$ . Lufttrycket förutsättes vara 760 mm Hg.

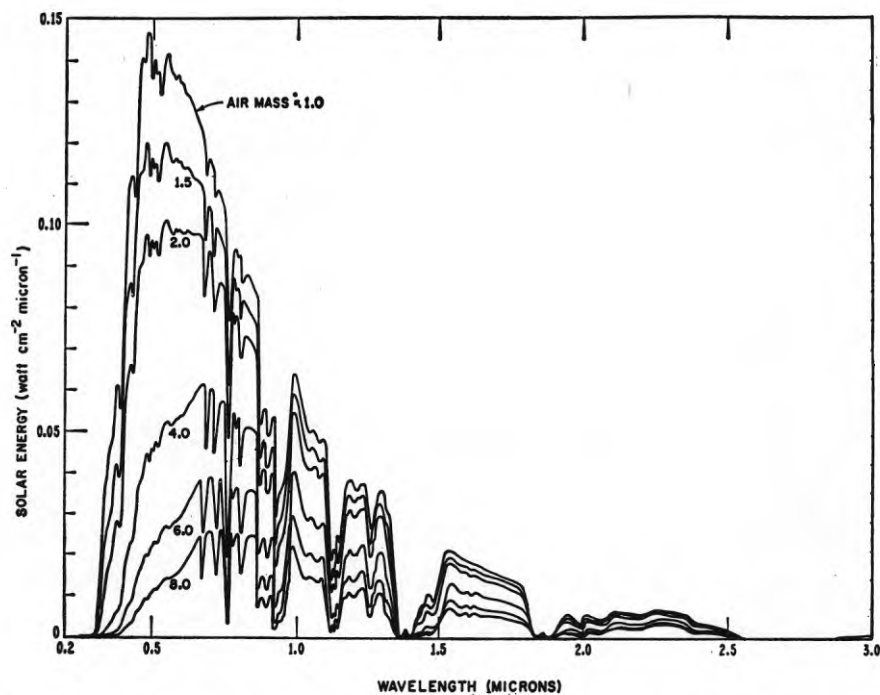


FIG. 1.14b. Spektral fördelning av intensiteten hos direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen, vid olika luftmassor 1-8 och på havets nivå. Mängd utfällbart vatten 10 mm, mängd aerosoler 200 partiklar per  $\text{cm}^3$ , mängd ozon 0,35 cm. Enligt Gates (1966).

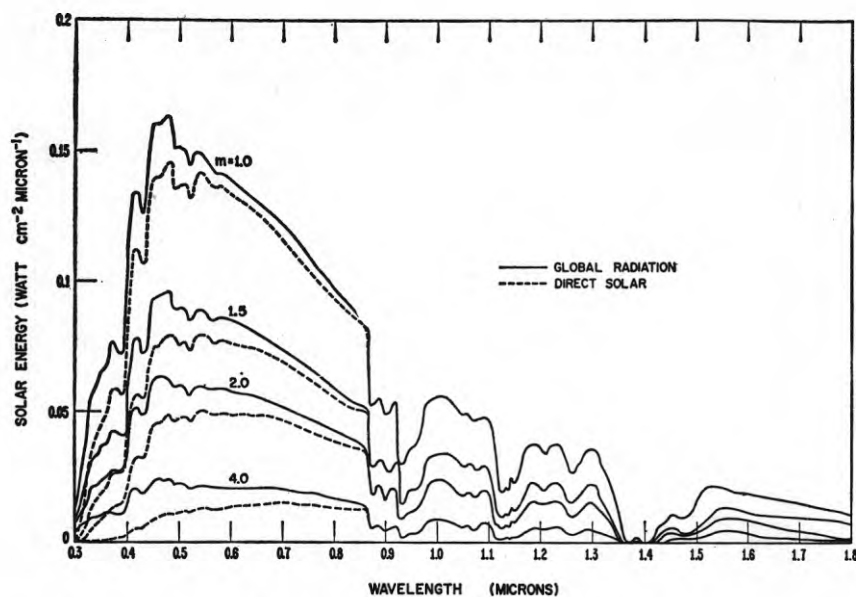


FIG. 1.15a. Spektralfördelning av intensiteten hos global och direkt solstrålning mot en horisontell yta vid olika luftmassor och på havets nivå. Enligt Gates (1966).

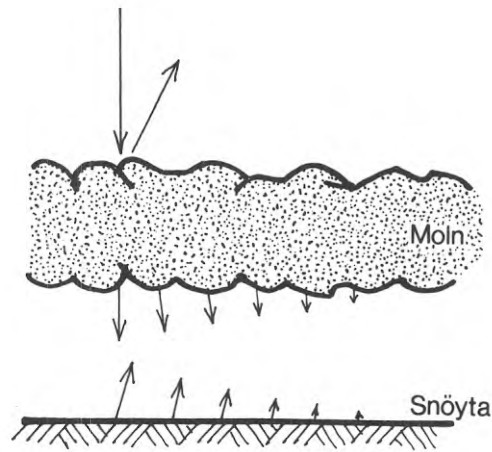


FIG. 1.15b. Vid snötäckt mark fås vid mulen himmel en upprepade reflexion mellan snöyta och molnyta. (Efter Liljequist, 1962.)

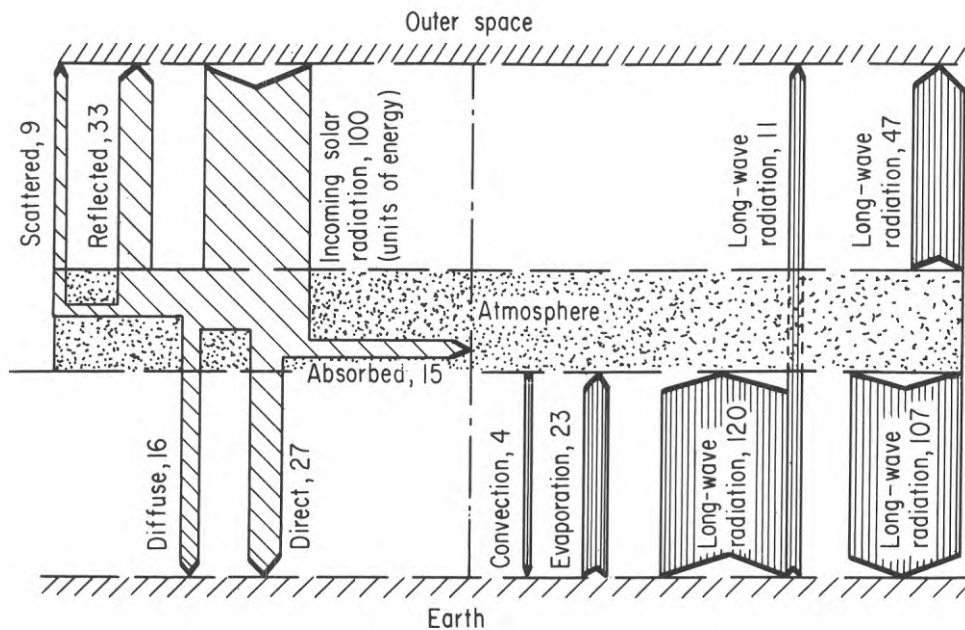


FIG. 1.15c. Värmebalansen för jorden och dess atmosfär. Den vänstra delen av figuren visar hur den infallande solstrålningen fördelas medan den högra visar värmeutbytet mellan jorden och atmosfären och den långvågiga utstrålningen mot rymden. (Efter Threlkeld 1962.)



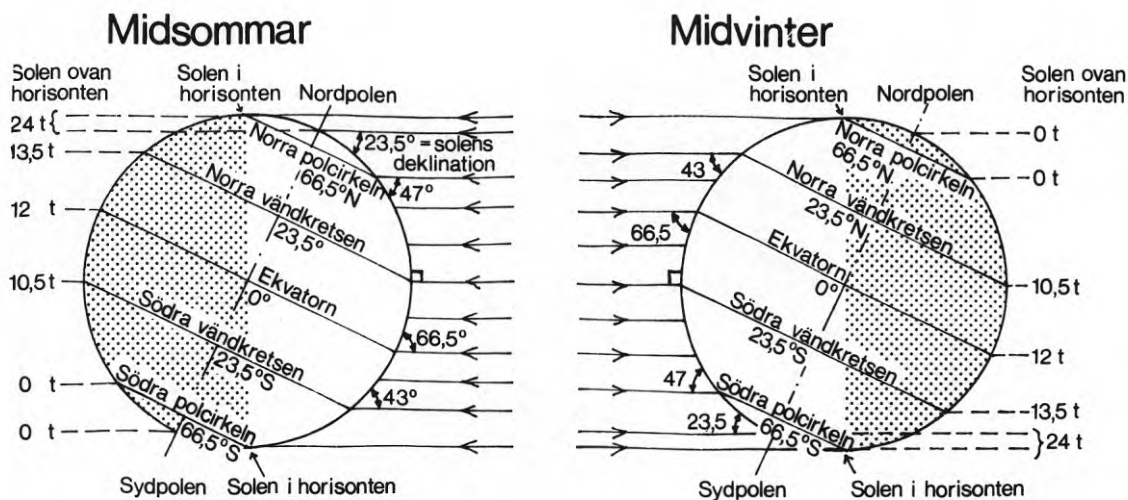


FIG. 1.15d. Jordens läge i förhållande till solen under norra halvklotets midsommar och midvinter. Angivna vinklar vid jordytan visar solhöjden kl 12 sann soltid. Efter Liljequist (1962).

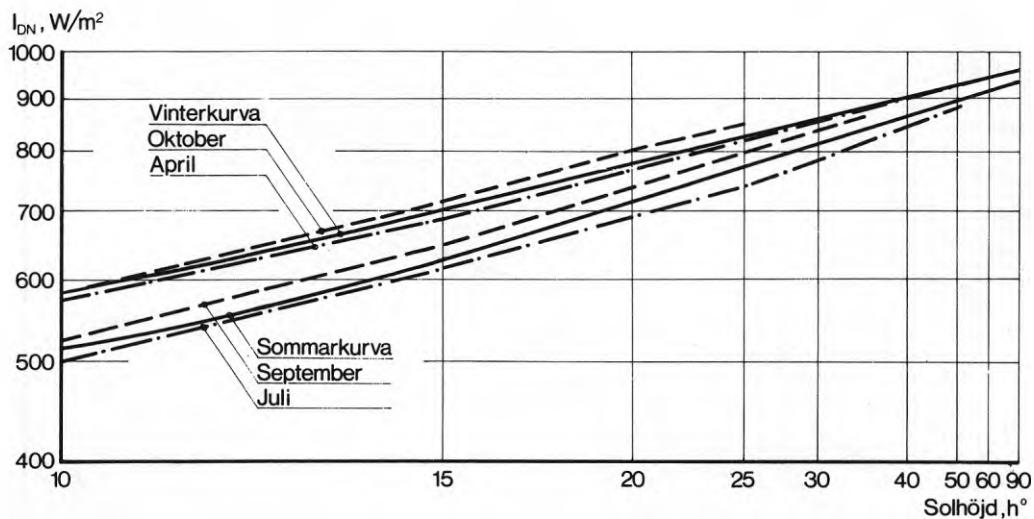


FIG. 1.21a. Intensiteten hos direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen klara dagar som funktion av solhöjden. Kurvorna för angivna månader enligt Lunelund (1936), kurvorna för vinter (oktober-april) och sommar (maj-sept) enligt ekv (1.22)-(1.25).

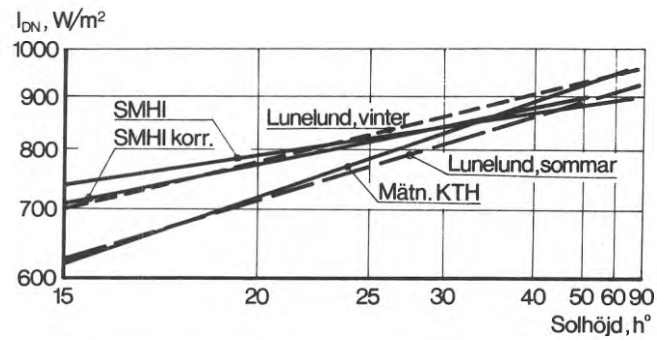


FIG. 1.21b. Solstrålningens intensitet vinkelrätt mot strålningsriktningen,  $I_{DN}$ , enligt Lunelunds sommar- resp vintervärden och mätningar vid KTH resp SMHI. Kurvan "SMHI korr" anger SMHI:s värden efter multiplikation med en faktor  $K = 1,5/(1 + \sin h)$ . Härigenom kommer en mindre del av globalstrålningen att hänföras till direkt solstrålning vid låga solhöjder.

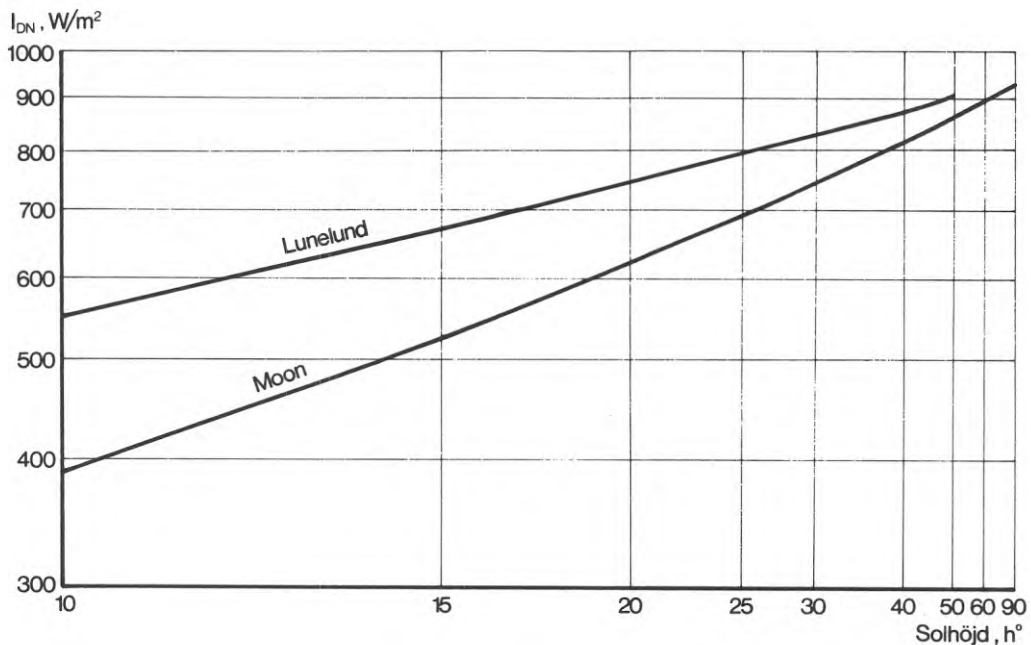


FIG. 1.21c. Intensiteten hos direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen klara dagar som funktion av solhöjden, enligt Lunelunds mätningar (årsmedelvärden) och enligt Moons beräkningar.

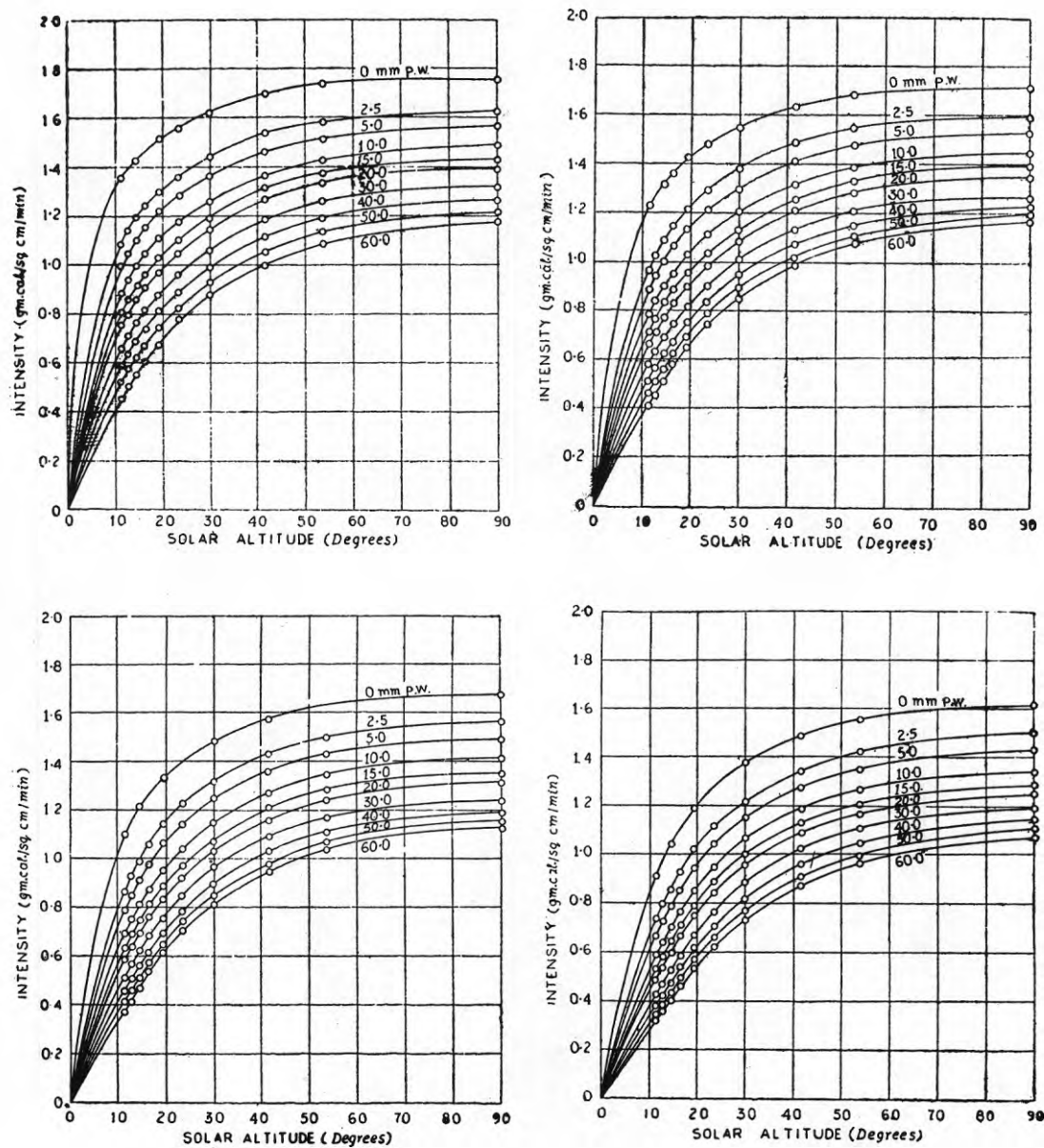


FIG. 1.21d. Intensiteten hos direkt solstrålning mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen klara dagar som funktion av solhöjden vid 760 mm lufttryck och vid olika stofthalter och mängd utfällbart vatten, enligt Rao & Seshadri (1961). Måttenhet  $\text{gcal/cm}^2 \text{ min.}$

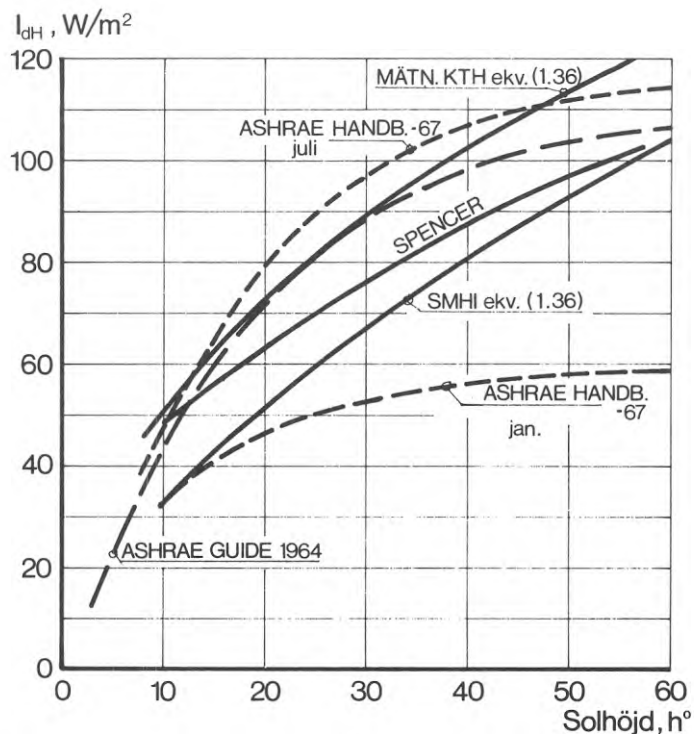


FIG. 1.22a. Himmelsstrålningens intensitet mot horisontell yta,  $I_{dH}$ , enligt olika källor.

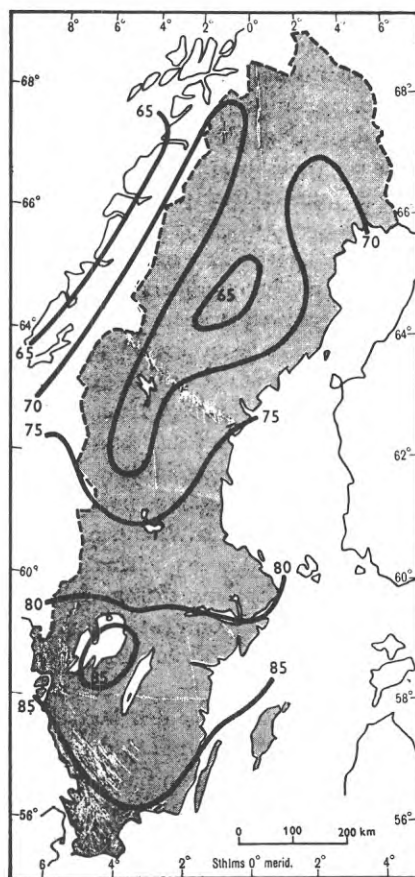


FIG. 1.23a. Fördelningen av den årliga instrålningen från sol och himmel över Sverige. Enhet  $kcal/cm^2$ . (Efter Ångström, 1958.)

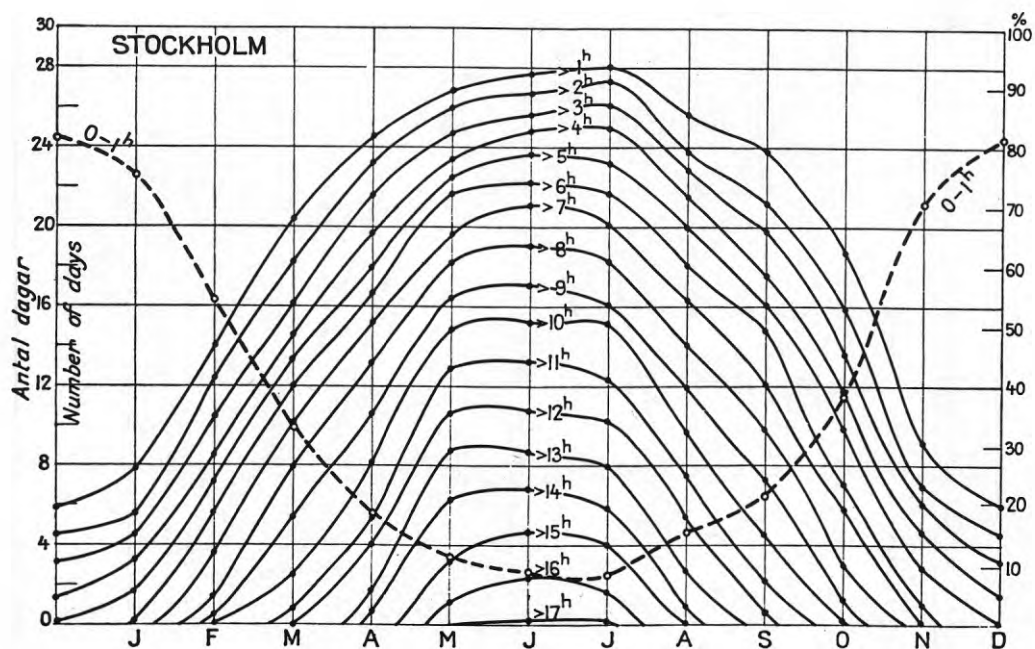


FIG. 1.23b. Medelfrekvensen av den dagliga varaktigheten av solsken i Stockholm enligt Lindholm (1955).

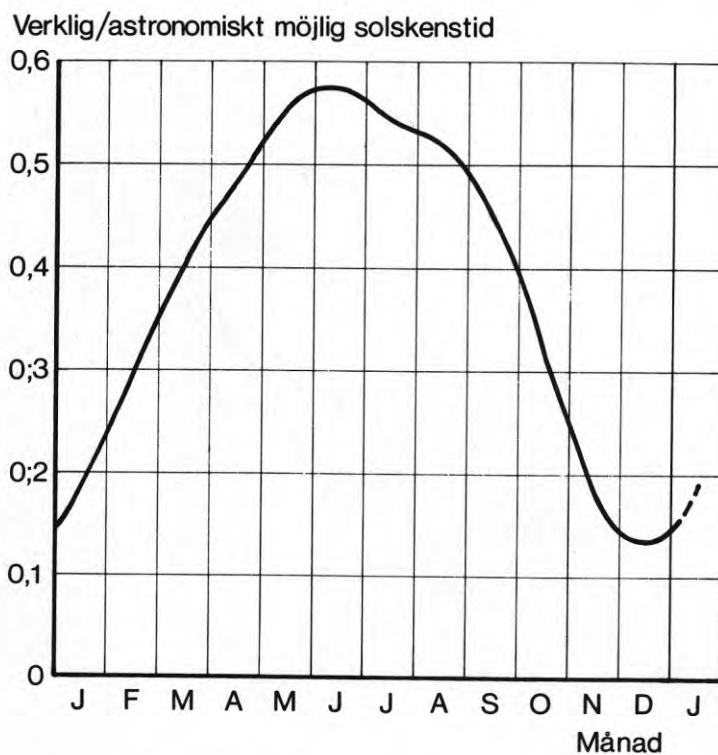


FIG. 1.23c. Månadsmedelvärden för Stockholm av registrerad solskenstid dividerad med astronomiskt möjlig solskenstid (SMHI 1931-60).

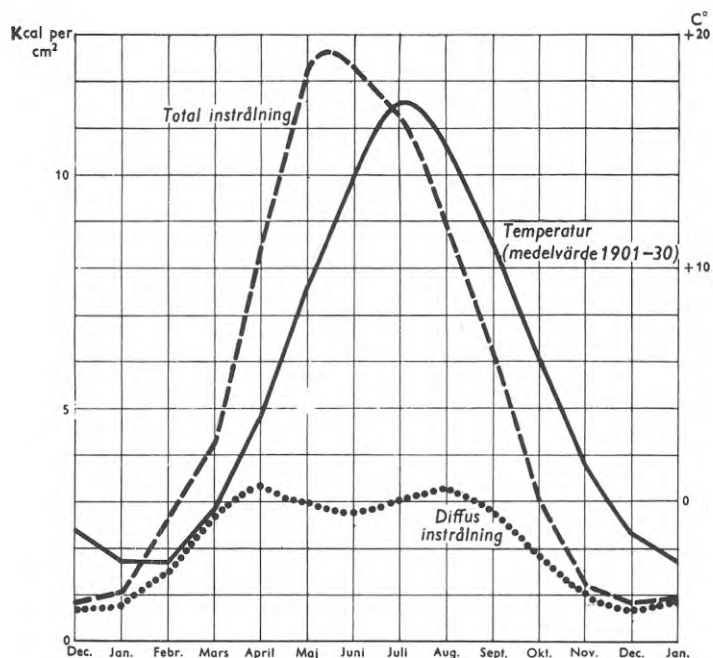


FIG. 1.23d. Instrålning från sol och himmel samt enbart himmel under årets olika månader i Stockholm. För jämförelse har även lufttemperaturens månadsmedelvärden inritats. (Efter Ångström, 1958.)

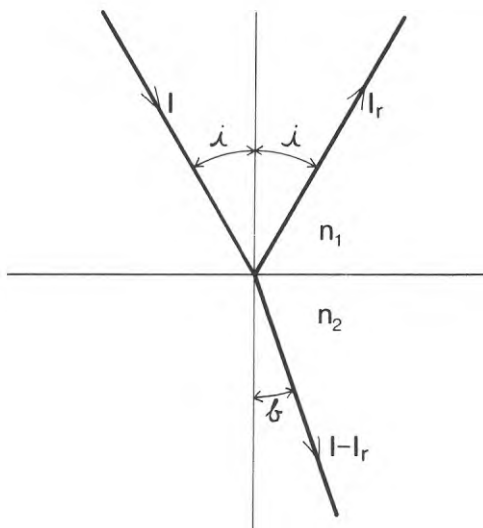


FIG. 1.32a. En stråles reflexion och brytning vid en speglande yta av transparent material.

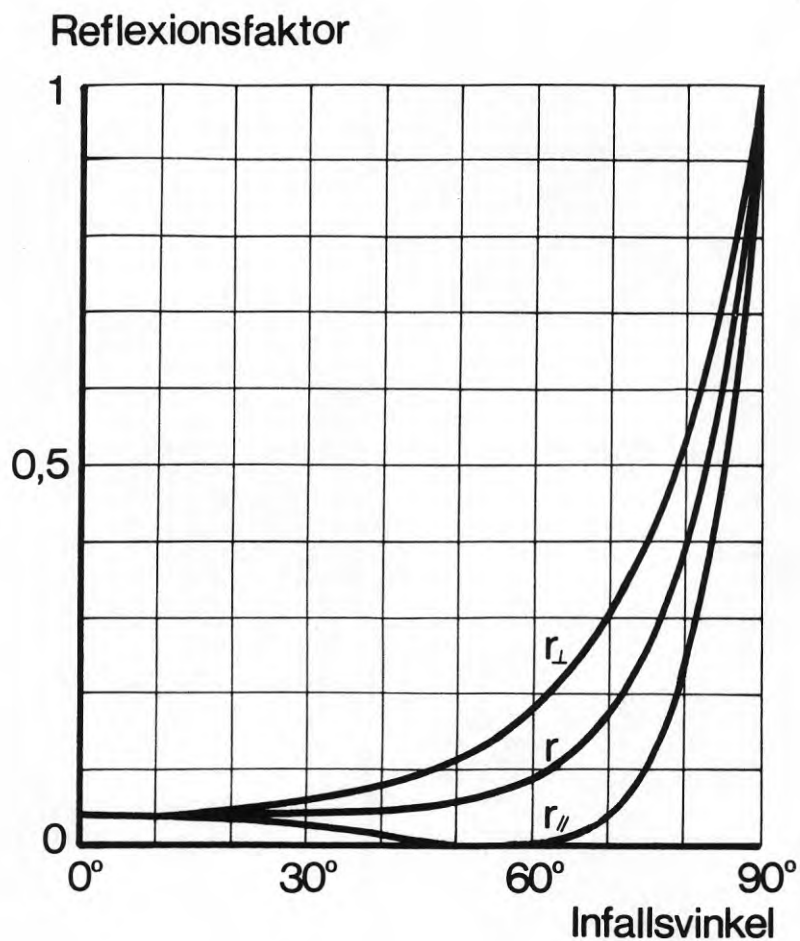


FIG. 1.32b. Reflekterad del  $r$  av opolariserad strålning mot speglande yta av ett material med brytningsindex 1.520, t ex glas eller bindemedel. Den reflekterade strålningen sammansätts av två komponenter polariserade parallellt med resp vinkelrätt mot infallsplanet. Deras reflektionsfaktorer har betecknats med  $r_{\parallel}$  och  $r_{\perp}$ . Ur dem har  $r$  beräknats enligt ekv  $r = (r_{\parallel} + r_{\perp})/2$ .

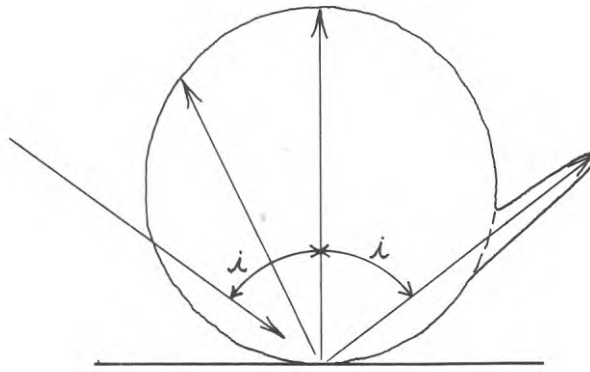


FIG. 1.33a. Reflexion vid målad, blank yta.

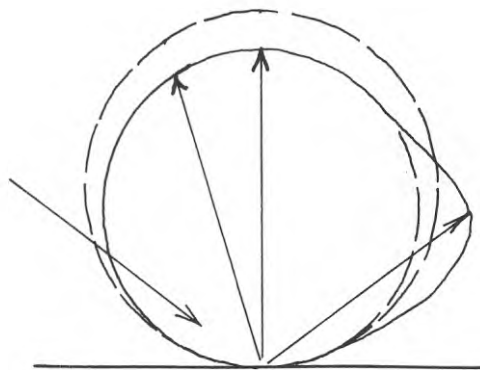


FIG. 1.33b. Reflexion vid halvmatt yta.

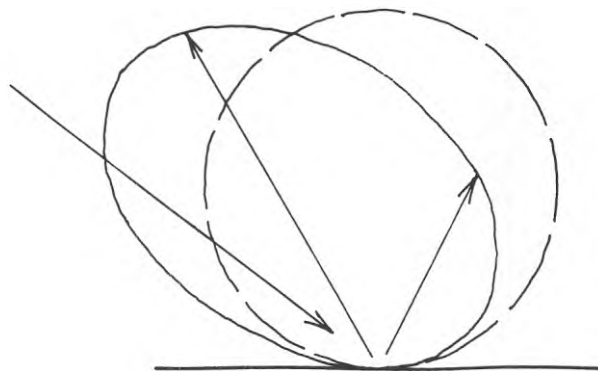


FIG. 1.33c. Reflexion vid ojäm, korrugerad eller mönstrad yta.



## KAP. 2 BESTÄMNING AV STRÅLNING FRÅN SOL OCH HIMMEL MOT BYGGNADERS YTTERYTOR

### INNEHÅLL

Beteckningar, använda i kap. 2	84
Denominations	86
Captions	88
2.1 Solens läge	92
2.11 Definition av vinklar	92
2.12 Ekvationer för solhöjd och solasimut	92
2.13 Sann soltid och normalt看	93
2.14 Tabeller, diagram och datorprogram för sollägesbestämning	95
2.2 Ekvationer för strålning mot ytor	96
2.21 Snett infallande stråle	96
2.22 Diffus strålning	97
2.221 Jämnt lysande himmel	97
2.222 Omgivningsreflekterad strålning	100
2.3 Diagram för strålning mot lutande ytor	105
2.4 Diagram för bestämning av solinstrål- ning klara dagar mot vertikala ytor	107
2.41 Direkt solstrålning	107
2.42 Himmelsstrålning	107
2.43 Strålning från sol, himmel och mark	108
2.5 Datorprogram för beräkning av strålning klara dagar mot horisontella och vertikala ytor	109
2.6 Solbestrålningstider och skuggors form vid avskärmningar	110
2.61 Numerisk bestämning av solbestrålningstider	110
2.611 Beräkning för en punkt	110
2.612 Beräkning för flera punkter	114
2.613 Datorberäkning av vandrande skuggor på fasader	115
2.62 Bestämning av solbestrålningstider med skärmlinjediagram	117
2.63 Skuggors form	118
2.631 Bestämning med skärmlinjediagram	118
2.632 Bestämning med projektionsmetod	119
Tabeller	122
Figurer	124

## BETECKNINGAR ANVÄNDA I KAP. 2

- A area,  $m^2$
- a solasimut, grader
- H höjdvinkel, grader
- h solhöjd; vinkel mellan strålningsriktningen och horisontalplanet, grader
- $h_n$  skärmvinkel, grader; skuggvinkel, grader
- $h_s$  höjdvinkel för en skärmkant, sedd i det väderstreck solen står, grader
- I strålningsintensitet,  $W/m^2$
- i infallsvinkel, grader
- K klockslag, h
- k tidskorrektion, min
- L,  $M_1$ ,  $M_2$  sträckor (FIG. 2.61a), m
- N antal
- p återstående del av strålning från delvis avskärmd himmel, dimensionslös
- r reflexionsfaktor, dimensionslös
- t timvinkel, grader
- v väggasimut, grader
- $x_0$ ,  $z_0$  koordinater (FIG: 2.61h), m
- z höjdläge hos skärmkant, m
- $\alpha$  vinkeln mellan två normalplan mot en lutande yta: det i vilket den betraktade strålen ligger och det som ger en horisontell skärning med den lutande ytan, grader

$\beta$	horisontalvinkel, grader (definieras i 2.11)
$\beta_i, \beta_j$	vinklar (FIG. 2.22c), grader
$\beta', \beta_1, \beta_2$	vinklar (FIG. 2.61a), grader
$\gamma$	vinkeln mellan ytnormalen och horisontalplanet vid lutande yta, grader
$\delta$	solens deklination, grader
$\varphi$	latitud, grader; vinkelkoefficient, dimensionslös
$\omega$	rymdvinkel, sr

Index enligt följande anger att storheten gäller:

för diffus strålning	d
för strålning polariserad parallellt med infallsplanet	//
för strålning polariserad vinkelrätt mot infallsplanet	⊥
för yta vinkelrätt mot strålningsinriktningen	N
för lutande yta	L
för horisontell yta	H
för vertikal yta	V
för markyta	g
för strålningsutbytande ytor $A_i, A_j$	i, j

Denominations used in chap. 2

A	area, m
a	solar azimuth, degrees
H	altitude angle, degrees
h	solar altitude; angle between sun's rays and the horizontal plane, degrees
$h_n$	screen angle, degrees; profile angle, degrees
$h_s$	altitude angle for an edge of screen, seen within the current orientation of the sun, degrees
I	solar intensity, $W/m^2$
i	incident angle, degrees
K	hour, h
k	time correction, minutes
L, $M_1$ , $M_2$	lengths (FIG. 2.61a), m
N	number
p	remaining fraction of radiation from a partly shaded sky, dimensionless
r	reflectivity of an interface, dimensionless
t	hour angle, degrees
v	wall azimuth, degrees
$x_o$ , $z_o$	coordinates (FIG: 2.61h), m

$z$	altitude of an edge of screen, m
$\alpha$	angle, degrees
$\beta$	wall-solar azimuth, degrees (defined in 2.11)
$\beta_i, \beta_j$	angles (FIG. 2.22c), degrees
$\beta', \beta_1, \beta_2$	angles (FIG. 2.61a), degrees
$\gamma$	the angle between the horizontal plane and the perpendicular of an inclined surface, degrees
$\delta$	declination of the sun, degrees
$\phi$	latitude, degrees; view factor, dimensionless
$\omega$	solid angle, sr

Index as shown in the following indicates that the unit refers to:

diffuse radiation	d
radiation polarized parallel to the plane of incidence	//
radiation polarized perpendicular to the plane of incidence	⊥
surface perpendicular to the sun's rays	N
inclined surface	L
horizontal surface	H
vertical surface	V
ground surface	g
surfaces exchanging radiation $A_i, A_j$	i, j

## CAPTIONS

- TAB. 2.13a. Annual variation of equation of time (i.e. the difference between apparent solar time and standard time).
- TAB. 2.13b. Correction factors, in minutes, to achieve Swedish standard time from apparent solar time at different time of the year, (all values are calculated on the basis of the Swedish calendar) for some Swedish towns, and the latitude of the same towns.
- FIG. 2.11a. Definition of angles at a sunlit wall.
- FIG. 2.12a. Definition of latitude  $\varphi$ , hour-angle  $t$ , and declination  $\delta$ , P in the figure indicates the geographical position of the observation post, O indicates the centre of the earth. The line a-b and the arrows, which indicate the direction of solar radiation, are situated on the plane: earth axis - sun.
- FIG. 2.14a. Application areas for values of solar position and irradiation as tabulated in the Building Research Report R19:1969.
- FIG. 2.21a. Determination of the angle of incidence on inclined surfaces.
- FIG. 2.22a. Determination of sky radiation on a horizontal surface.
- FIG. 2.22b. Short wave radiation towards a point on a vertical surface.

FIG. 2.22c. Determination of angle factors for radiation between two surfaces.

FIG. 2.22d.

FIG. 2.22e.

FIG. 2.42a. Ratio of sky radiation towards a vertical surface,  $I_{dV}$ , to radiation towards a horizontal surface,  $I_{dH}$ , on a clear day as a function of  $\cos i$  ( $i$  = angle of incidence).

FIG. 2.61a. Oblique shade with the edge  $z$  m above P.

FIG. 2.61b. Edge of shade parallel to facade,  $z$  m above P.

FIG. 2.61c. Edge of shade at right angle to facade,  $z$  m above P and to the right of P.

FIG. 2.61d. Edge of shade at right angle to facade,  $z$  m above P and to the left of P.

FIG. 2.61e. Vertical shade with top edge  $z$  m above P.

FIG. 2.61f. Horizontal shade  $z$  m above P (example 2 and 4).

FIG. 2.61g. Shade whose position is given in respect to origin of coordinates on the facade surface. The edge of the shade is  $z$  m above origo. P coordinates:  $(x_0, 0, z_0)$ .

FIG. 2.61h. Perspective drawing of a shade parallel to the facade and divided into three parts of different height.

FIG. 2.61i. For a computer calculation of the shadow from house 4 on house 3 in Hötorgscity, Stockholm. Shadow equations from each of the shades 1, 2 and 3 were used.

FIG. 2.61k. Sunlit (1) and shadowed (0) windows on the south facade of house 3 in Hötorgscity at  $11^{\circ}$ ,  $12^{\circ}$  and  $13^{\circ}$  on April 15, clear weather. The right column gives the number of sunlit windows on each storey.

FIG. 2.62a. Shade line chart.

FIG. 2.62b. The shade in FIG. 2.61e and graph of the sun's position on August 1 in Stockholm. The figure is based on a shade line chart and diagram for the sun's position. It has been assumed that the shade was placed right east of P. The figure shows that P is shadowed by the shade between approximately 4h08 and 8h33.

FIG. 2.62c. The shade of FIG. 2.61f and sun position graph of May 1 in Stockholm. The figure is based on a shade line chart and diagram of the sun's position. It has been assumed that the line PE of FIG. 2.61f was directed towards the south east, seen from P towards E. The figure shows that P is shadowed by the shade from noon until 4 p.m.

FIG. 2.62d. P situated behind a window, (example 5).

FIG. 2.62e. The figure has been established with the help of shade line chart and diagram for the sun's position based on the data of example 5 and shows that P (FIG. 2.62d) is sunlit from a few minutes past noon until a few minutes past 4 p.m.

FIG. 2.63a. The shadow from a horizontal shade on a vertical wall is determined by the width of the shade  $L$ , the profile angle  $h_n$  and the wall-solar azimuth  $\beta$ .



- FIG. 2.63b. Shadow from a vertical pole, when the entire shadow hits the ground.
- FIG. 2.63c. Shadow from a vertical pole when part of the shadow hits a vertical wall.
- FIG. 2.63d. Shadow on ground and facade of a shade with horizontal top edge and vertical side edges.
- FIG. 2.63e. Shadow on ground and facade from an inclined shade.
- FIG. 2.63f. Example showing the shadow from a L-shaped building hitting another part of the same building, (example 6).

## 2. BESTÄMNING AV STRÅLNING FRÅN SOL OCH HIMMEL MOT BYGGNADERS YTTERYTOR

### 2.1 Solens läge

#### 2.11 Definition av vinklar

Vid bestämning av riktningen av strålningen från solen (eller en punkt på himlen) mot en punkt på en vertikal vägg kan man använda de vinklar som visas i FIG. 2.11a.

Väggens väderstrecksorientering är bestämd genom väggnormalens riktning i förhållande till söder. Denna riktning anges genom väggasimuten  $v$ .

Väderstrecken räknas positiva medsols från söder, så att sydlig riktning anges med  $v = 0^\circ$ , västlig med  $v = +90^\circ$  och östlig med  $v = -90^\circ$ . Norr kan anges antingen med  $v = +180^\circ$  eller  $v = -180^\circ$ .

Solens höjd över horisontalplanet anges genom solhöjden  $h$ , dess väderstreck genom solasimuten  $a$ . Solens läge i horisontalplanet i förhållande till väggnormalens riktning är bestämt genom horisontalvinkeln  $\beta$ . I allmänhet är  $\beta = a - v$ . Om  $a$  och  $v$  har sådana värden att absolutvärdet av  $a - v$  är större än  $180^\circ$ , dvs.  $|a - v| > 180^\circ$ , gäller emellertid att  $\beta = 360 - |a - v|$ .

Solstrålningens infallsvinkel,  $i$ , är vinkeln mellan strålningsriktningen och ytans normal och kan beräknas ur  $h$  och  $\beta$ , se 2.21.

#### 2.12 Ekvationer för solhöjd och solasimut

För beräkning av solhöjd och solasimut på en viss ort vid olika klockslag och årstider utgår man från ortens latitud  $\varphi$ , solens deklination  $\delta$  och timvinkeln  $t$ . Beräkningen är ganska omständlig. Tabeller och diagram samt datamaskinprogram som ger solläget direkt har därför utarbetats, och till dem (se 2.14) hänvisas de

läsare som inte är intresserade av ifrågavarande ekvationer för beräkningen.

Latituden är vinkelavståndet till ekvatorsplanet, se FIG. 2.12a. Timvinkeln är den vinkel jorden måste vrida sig kring sin axel för att orten P:s meridian skall komma att ligga i samma plan som solen. Vid solens "meridianpassage" är timvinkeln  $0^\circ$ . Det sker vid "sann middag", då "sann soltid" är kl 12. Solen står då högst på himlen och rakt i söder. Timvinkeln anger sålunda i vinkelmått tidpunkten på dagen räknat från sann middag. Under en timme roterar jorden  $360/24 = 15^\circ$ . Exempelvis kl 13 sann soltid motsvaras därför av timvinkeln  $15^\circ$ .

Solens deklination är vinkeln mellan solstrålningens riktning och ekvatorsplanet vid sann middag (se också FIG. 1.15d). Deklinationen ändras under året. Den anges för varje dag i Den svenska almanackan. För ett visst datum är deklinationen ej exakt densamma från år till år, men variationerna är så obetydliga att de saknar intresse vid tekniska beräkningar. Maximivärdet,  $23^\circ 27'$ , uppnås vid sommarsolståndet (21 juni), minimivärdet,  $-23^\circ 27'$ , vid vintersolståndet (22 dec.); vid vår- och höstdagjämningarna (20 mars och 23 sept.) är deklinationen  $0^\circ$  (data inom parentes avser år 1969).

För beräkning av  $h$  och  $a$  gäller ekvationerna:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t \quad (2.1)$$

$$\sin a = \cos \delta \sin t / \cos h \quad (2.2)$$

Det värde på  $h$  som ekv. (2.1) ger är höjden av solskivans centrum över horisontalplanet utan hänsyn till inverkan av refraktionen (se 1.14).

### 2.13 Sann soltid och normaltid

Stockholm ligger på longituden  $18^\circ$ , Göteborg på longituden  $12^\circ$ . Longitudskillnaden är alltså  $6^\circ$ . Eftersom

det tar 24 h för jorden att rotera ett varv, dvs.  $360^\circ$ , är skillnaden mellan de tidpunkter då solen står rätt i söder i Stockholm och Göteborg  $6 \times 24 / 360 = 24 / 60$  h, dvs. 24 minuter.

Endast orter som är belägna på samma longitud (meridian) har samma sanna soltid. Av praktiska skäl har man infört enhetliga tider, "normal"- eller "zon"-tider för större områden. I Sverige används sålunda "medel-europeisk tid", här också kallad "Sveriges gemensamma borgerliga tid" eller svensk borgerlig tid. Den överensstämmer genomsnittligt under året med sann soltid på orter belägna på "Sveriges tidsmeridian", som är dragen  $15^\circ$  eller 1 h öster om tidsmeridianen genom observatoriet i Greenwich i England.  $15^\circ$ -longituden går ungefär mitt genom Sverige nära Karlshamn, Eksjö, Motala, Nora, Leksand och Östersund. "Medelsoltiden" för dessa orter sammanfaller m.a.o. med normaltiden, dvs. den tid våra klockor visar.

Sann soltid på en ort och svensk normaltids skiljer sig från varandra inte bara med det antal minuter som bestäms av skillnaden mellan ortens longitud och Sveriges tidsmeridian. Härtill kommer den s.k. "tidsekvationen", som anger skillnaden mellan sann soltid och medelsoltid. Den varierar under året, se TAB. 2.13a, men är densamma överallt på jorden. Variationen beror på att jordens bana runt solen inte är en cirkel utan en ellips och att denna bana inte ligger i ekvatorplanet. Eftersom medelsoltiden är den sanna soltidens årsmedelvärde är tidsekvationens årsmedelvärde noll.

Ur TAB. 2.13b får man direkt skillnaden mellan svensk normaltids och sann soltid för vissa svenska städer vid olika tider på året. Av den sista kolumnen ser man att normaltids och medelsoltids nära överensstämmer i Växjö, Örebro och Östersund. Dessa städer ligger nära Sveriges tidsmeridian. Korrektionen är störst för Haparanda, Sveriges östligaste stad. Den 1 nov. inträffar där sann soltid 53 minuter före svensk normaltids. Solen står då i söder redan 7 minuter över 11.

Då solens höjd och asimut skall beräknas med hjälp av ekv. (2.1) och (2.2) för en ort som är upptagen i TAB. 2.13b kan timvinkeln först beräknas ur

$$t = \left( K - \frac{k}{60} - 12 \right) \cdot 15^\circ \quad (2.3)$$

där K betecknar klockslaget och k korrektionen i minuter enligt tabellen.

#### 2.14 Tabeller, diagram och datorprogram för sollägesbestämning

Ekv. (2.1)-(2.3) har programmerats (i programspråket Algol) på sådant sätt att solens läge på himlen kan beräknas för valfri ort och tidpunkt. Programmet är anpassat till maskinen IBM 360/75 vid Stockholms Data-maskincentral för högre utbildning och forskning, men kan anpassas till andra maskiner. Ingångsdata är latitud och longitud för orten samt månad, dag och klockslag. Beräkningsresultatet ges i form av tabeller visande solens höjd och asimut vid önskade tidpunkter.

Med hjälp av detta program har tabeller och diagram utarbetats, som ger solens läge för olika latituder och orter i Sverige.

Sollägestabellerna är samlade i Byggforskningens rapport 19/1969: "Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar. Tabeller och diagram".

Från denna rapport är Sverigekartan i FIG. 2.14a hämtad. För de nio orter som visas på den har värden på solens höjd och asimut beräknats och tabellerats för varje timme (normaltid) den 15 i varje månad. Värdena för en ort kan anses gälla inom den zon som omger orten på kartan. I rapporten ges också solläget för varje timme (sann soltid) den 15 i varje månad på latituderna 56, 60, 64 och 68°N.

Sollägesdiagrammen, som sammanställts i en figurbilaga (BIL. I), ger solens höjd och asimut i Stockholm, Göteborg och Malmö den 1 och 15 i varje månad. Man ser t.ex. i FIG. I:3, att i Göteborg den 1 april kl 10 (normaltid) solhöjden är  $30,5^\circ$  och solasimuten  $-40^\circ$ .

## 2.2 Ekvationer för strålning mot ytor

### 2.21 Snett infallande stråle

För beräkning av strålningen mot en yta vars normal bildar vinkeln  $i$  med strålningsriktningen gäller ekvationen

$$I = I_N \cos i \quad (2.4)$$

där  $I \text{ W/m}^2$  är strålningens intensitet mot ytan och  $I_N \text{ W/m}^2$  är strålningens intensitet i strålningsriktningen, se FIG. 1.13c. Här är  $i$  strålningens infallsvinkel.

Man kan beräkna  $\cos i$  med hjälp av vinklarna  $\gamma$ ,  $h$  och  $\beta$ . Här är  $\gamma$  vinkeln mellan ytans normal och horisontalplanet,  $h$  är vinkeln mellan strålningsriktningen och horisontalplanet och  $\beta$  är horisontalvinkeln, dvs. vinkeln mellan ytnormalens och strålningsriktningens projektioner i horisontalplanet.

Orten för alla strålar som faller in mot en punkt  $P$  på en yta under vinkeln  $i$  är en kon som har spetsen i  $P$  och vars toppvinkel är  $2i$ . Läger man en halvsfär med radien 1 och med centrum i  $P$  över ytan blir skärningen mellan halvsfären och konen en cirkel vars centrumavstånd från  $P$  blir  $\cos i$ , se FIG. 2.21a.

Den övre delen av figuren är ett vertikalsnitt innehållande konens centrumlinje (normalen mot ytan i  $P$ ). Cirkeln avbildas här som en sträcka, medan den i figurens undre del, som är en horisontalvy, blir en ellips vars större halvaxel är  $\sin i$ .

Den betraktade strålens riktning definieras genom vinklarna  $h$  och  $\beta$ . Riktningen kan också definieras genom vinklarna  $i$  och  $\alpha$ , där  $i$  är infallsvinkeln och  $\alpha$  är vinkeln mellan det normalplan genom  $P$  i vilket strålen ligger och det normalplan genom  $P$  som ger en horisontell skärningslinje med den lutande ytan. Vinkeln  $A'O'B'$  är horisontalprojektion av  $\alpha$ .

Med hjälp av figuren får man ekv.

$$\cos i \cos \gamma = \cos h \cos \beta + \sin i \sin \alpha \sin \gamma \quad (2.5)$$

$$\sin h = \cos i \sin \gamma + \sin i \sin \alpha \cos \gamma \quad (2.6)$$

Genom att eliminera  $\alpha$  får man

$$\cos i = \sin h \sin \gamma + \cos h \cos \beta \cos \gamma \quad (2.7)$$

I de två viktiga specialfallen vertikal yta ( $\gamma = 0^\circ$ ) och horisontell yta ( $\gamma = 90^\circ$ ) erhålles

$$\cos i = \cos h \cos \beta \quad (2.8)$$

resp.

$$\cos i = \sin h \quad (2.9)$$

Eftersom för strålning mot vertikal yta  $I_V = I_N \cos h \cos \beta$  och för strålning mot horisontell yta  $I_H = I_N \sin h$  ger ekv. (2.7) för strålning mot lutande yta sambandet

$$I_L = I_H \sin \gamma + I_V \cos \gamma \quad (2.10)$$

## 2.22 Diffus strålning

### 2.221 Jämnt lysande himmel

Vid jämnt lysande himmel är intensiteten av himmelsstrålningen mot en punkt på jordytan lika stor från vilken del av himlen strålningen än kommer. Inom ett litet rymdvinklelement  $d\omega$  sett från punkten ifråga

antas himlen ge  $I_d \cdot d\omega$   $W/m^2$  mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen.

För strålningen mot en horisontell yta från ett rymdvinklelement med höjden  $h^0$  över horisonten gäller för infallsvinkeln  $i$  att  $\cos i = \sin h$ . Per  $m^2$  horisontell yta blir därför himmelsstrålningen

$$dI_{dH} = I_d d\omega \sin h \quad (2.11)$$

Vid beräkning av strålningen mot en horisontell yta från hela himlen vid fri horisont kan man först betrakta strålningen från ett ringformat rymdvinklelement  $h^0$  över horisonten med bredden  $dh$ , se FIG. 2.22a. Sträcker sig elementet runt hela horisonten är dess storlek  $d\omega = 2\pi \cos h dh$ . Vid insättning i ekv. (2.11) får man

$$dI_{dH} = 2\pi I_d \sin h \cos h dh$$

Vid fri horisont är integrationsgränserna 0 och  $\pi/2$ , så att

$$I_{dH} = \pi I_d \int_0^{\pi/2} \sin 2h dh$$

och

$$I_{dH} = \pi I_d \quad (2.12)$$

Är horisonten skyddad runt om upp till en viss höjd kan den del av himmelsstrålningen mot en horisontell yta som återstår beräknas på följande sätt. Antag att denna del är  $p I_{dH}$ , där  $0 < p < 1$ , och att horisontens höjd är  $h_p$ . Då erhålles

$$p I_{dH} = \pi I_d \int_0^{\pi/2} \sin 2h dh$$



så att

$$p I_{dH} = \pi I_d \cos^2 h_p \quad (2.13)$$

Med  $I_{dH} = \pi I_d$  blir

$$p = \cos^2 h_p \quad (2.14)$$

Den strålning som återstår är alltså proportionell mot horisontalprojektionerna av det återstående himmelspartiet,  $\pi \cos^2 h_p$ , jämför FIG. 2.22a.

Ekv. (2.14) kan utnyttjas t.ex. om man vill beräkna höjden för gränserna mellan horisontella, ringformade himmelspartier från vilka strålningen är lika stor. Vid 10 sådana partier får man höjden för de 9 gränserna mellan dem enligt följande:

$p = 0,1$	$0,2$	$0,3$	$0,4$	$0,5$	$0,6$	$0,7$	$0,8$	$0,9$
$h_p = 71,6^\circ$	$63,4^\circ$	$56,8^\circ$	$50,8^\circ$	$45^\circ$	$39,2^\circ$	$33,2^\circ$	$26,6^\circ$	$18,4^\circ$

Detta sätt att dela in himlen i 10 ringformade partier har utnyttjats vid konstruktionen av diagrammen för bestämning av instrålningen mot lutande ytor i FIG. I:9.

Strålningen vid oavskärmat horisont mot en vertikal yta härrör från endast halva himlavalvet. Intensiteten hos himmelsstrålningen mot en sådan yta är därför hälften så stor som mot en horisontell yta:

$$I_{dV} = \frac{\pi}{2} I_d = \frac{1}{2} I_{dH} \quad (2.15)$$

Detta gäller vid jämnt lysande himmel. Vid bestämning av himmelsstrålningen mot en vertikal yta kan man ta hänsyn till att ett parti av himlen i solens närhet lyser med större intensitet än himlen i övrigt, se 2.42.

## 2.222 Omgivningsreflekterad strålning

Den kortvågiga strålningen från sol och himmel reflekteras av markytan och av föremål i omgivningen av en byggnad. Reflexionen sker mer eller mindre diffust. Mera utpräglad spegling förekommer vid vattenytor och glasfasader (se 1.3). I viss utsträckning kan den reflekterade strålningen också bli mer eller mindre polariserad. Här skall emellertid förutsättas att den reflekterade strålningen är opolariserad, samma förutsättning som antogs gälla för himmelsstrålningen, och att reflexionen sker diffust enligt cosinuslagen.

För att lättare förstå de samband som gäller för bestämning av reflekterad strålning mot byggnaders yterytor betraktar vi på t.ex. 50 m avstånd en plan yta av  $1 \text{ m}^2$  storlek, som lutas i varierande vinklar i förhållande till synriktningen. Vi antar att ytan är jämnt lysande, dvs. att intensiteten av reflekterad strålning från ytan är lika stor från vilken punkt av ytan strålningen än kommer. Ytan upptar tydligen störst rymdvinkel om ytnormalen sammanfaller med synriktningen. Om ytnormalen bildar en vinkel  $\eta$  med synriktningen blir strålningen i synriktningen  $\cos \eta$  gånger intensiteten i ytnormalens riktning, enligt cosinuslagen. Å andra sidan blir projektionen av ytan vinkelrätt mot synriktningen  $\cos \eta$  gånger ytans storlek ( $1 \text{ m}^2$ ), så att strålningen synes härröra från motsvarande mindre rymdvinkel. Minskningen av intensiteten på grund av den iakttagna, reflekterade strålningens vinkel med ytnormalen kompenseras av att samma strålning avges inom mindre rymdvinkel.

Inte heller avståndet till ytan påverkar intensiteten av den strålning som träffar ögat. Strålningen per rymdvinkelenhet minskar kvadratisk med avståndet, men rymdvinkeln som ytan upptar minskar också kvadratisk med avståndet.

Intensiteten av den kortvågsstrålning som härrör från en jämnt reflekterande, obegränsad och oskuggad mark-

yta är tydligen densamma, oberoende av mot vilken punkt på markytan man riktar blicken, se FIG. 2.22b. De pilar som symboliserar strålningen från markytan har i figuren getts samma längd. Härigenom antyds att lika mycket strålning kommer från varje rymdvinkelenhet, så länge strålningen härrör från ett parti under horisonten. För himmelsstrålningen, dvs. strålningen från ett parti över horisonten, gäller ju detsamma vid jämnt lysande himmel och fri horisont, fastän himmelsstrålningens intensitet i allmänhet har ett annat värde.

Om markytan träffas av direkt solstrålning med intensiteten  $I_{DH}$  och av himmelsstrålning med intensiteten  $I_{dH}$  reflekterar  $1 \text{ m}^2$  markyta strålningen  $r_g(I_{DH} + I_{dH})$ , om  $r_g$  är markytans reflexionsfaktor. En vertikal vägg med mycket stor höjd träffas av halva strålningen från denna  $\text{m}^2$ . Den andra halvan reflekteras ju mot himlen. Intensiteten av den reflekterade strålningen mot väggen blir därför, om man sätter  $I_{DH} + I_{dH} = I_H$ ,

$$I_{gV} = \frac{1}{2} r_g I_H \quad (2.16)$$

räknat per  $\text{m}^2$  väggyta. Ekv. (2.16) gäller oberoende av höjden över markytan hos det väggparti som man betraktar om markytan har mycket stor utsträckning.

Är väggytan lutande blir ju den markreflekterade strålning som träffar  $1 \text{ m}^2$  av väggytan mindre. I stället för ekv. (2.16) får man

$$I_{gL} = \frac{1}{2} r_g I_H (1 - \sin \gamma) \quad (2.17)$$

om  $\gamma$  är vinkeln mellan ytnormalen och horisontalplanet.

Vinkelkoefficienter. Ibland reflekterar inte hela markytan lika mycket strålning på grund av att olika partier av ytan har olika reflexionsfaktor. Vid bestämning av reflekterad strålning mot en fasad är det då nödvändigt att i ekvationerna införa s.k. vinkelkoefficienter. Detta måste man göra också när det förekommer andra

reflekterande ytor i omgivningen än markytan som man måste ta hänsyn till, t.ex. solbelysta fasader.

Med hjälp av vinkelkoefficienter bestämmer man hur stor del av strålningen från en yta som träffar en annan yta, förutsatt att strålningen från ytan avges diffust enligt cosinuslagen. Har man två ytor  $A_i$  och  $A_j$ , se FIG. 2.22c, mellan vilka det sker ett strålningsutbyte, är vinkelkoefficienten för strålning från  $A_i$  mot  $A_j$

$$\varphi_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \beta_i \cos \beta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i \quad (2.18)$$

och vinkelkoefficienten för strålning från  $A_j$  mot  $A_i$

$$\varphi_{ji} = \frac{1}{A_j} \int_{A_j} \int_{A_i} \frac{\cos \beta_i \cos \beta_j}{\pi r^2} dA_i dA_j \quad (2.19)$$

(beteckningar, se FIG.)

Av uttrycken på  $\varphi_{ij}$  och  $\varphi_{ji}$  framgår att

$$A_i \varphi_{ij} = A_j \varphi_{ji} \quad (2.20)$$

Endast den ena av ekv. (2.18) och (2.19) behöver därför användas även om båda vinkelkoefficienterna måste bestämmas.

Vinkelkoefficienten  $\varphi_{ij}$ , som är den del av strålningen från ytan  $A_i$  som träffar ytan  $A_j$ , är endast beroende av storleken och formen hos  $A_i$  och  $A_j$  och dessa ytors inbördes läge. Endast om  $A_j$  är svart betyder  $\varphi_{ij}$  också den del av strålningen från  $A_i$  som absorberas av  $A_j$ .

Integreringen enligt ekv. (2.18) och (2.19) kan vara besvärlig. Vissa typfall finns emellertid behandlade i litteraturen, och i andra fall kan man erhålla uttryck på vinkelkoefficienterna genom lämpliga kombinationer av de vinkelkoefficienter som gäller för typ-

fallen, se t.ex. Brown (1963). Utöver där nämnd litteratur på området kan hänvisas till Mackey, Wright, Clark and Gay (1943) och Hamilton and Morgan (1952), som ger vinkelkoefficienter för ett antal fall i form av ekvationer, tabeller och diagram.

Vid omgivningsreflekterad strålning mot ett fönster är fönstrets yta i allmänhet liten i förhållande till den yta från vilken den strålning kommer vars bidrag till den totala instrålningen mot fönstret man vill beräkna. Om reflexytan är vinkelrät mot eller parallell med fönsterytan kan diagrammen i FIG. I:7 och I:8 användas för vinkelkoefficientbestämningen. Dessa diagram är uppritade efter Mackey, Wright, Clark och Gay (1943).

Vid bestämning av reflekterad strålning från ett markparti mot ett vertikalt fönster antas att ytan av markpartiet är  $A_j \text{ m}^2$ , att reflexionsfaktorn är  $r_j$  och att vinkelkoefficienten för strålning mot fönstret är  $\varphi_{ji}$ . Är intensiteten av den strålning som träffar marken  $I_H \text{ W/m}^2$  reflekteras mot fönstret

$$P_{jV} = \varphi_{ji} A_j r_j I_H$$

Med hjälp av ekv. (2.20) erhålles

$$P_{jV} = \varphi_{ij} \Delta A_i r_j I_H$$

om  $\Delta A_i \text{ m}^2$  är fönstrets yta. Per  $\text{m}^2$  fönsteryta erhålles då

$$I_{jV} = \varphi_{ij} r_j I_H \quad (2.21)$$

Skillnaden i markreflekterad strålning från  $A_j$  mot fönstret på grund av att  $A_i$  har reflexionsfaktorn  $r_j$  i stället för  $r_g$ , om  $r_g$  är reflexionsfaktorn hos marken i övrigt, är  $\varphi_{ij} (r_j - r_g) I_H \text{ W/m}^2$ .

Exempel. Antag att ett fönster befinner sig 20 m över marken, och att man vill beräkna den reflekterade strålningen från markytan. Denna reflekterar 25 % av strålningen från sol och himmel, bortsett från en plan framför fönstret med storleken 15 x 50 m som reflekterar 40 %, se FIG. 2.22d. Hur stor är den markreflekterade strålningen totalt?

För den del av planen som enligt FIG. 2.22d är 10 x 50 m får man ur diagrammet FIG. I:7, med  $a = 10$  m och  $b = 50$  m att  $\varphi_{ij} = 0,067$ . För delen 5 x 50 m får man att  $\varphi_{ij} = 0,033$ . För hela planen blir därför  $\varphi_{ij} = 0,100$ .

Markreflexionen ökar  $\varphi_{ij}$   $(r_j - r_g)I_H = 0,1(0,40 - 0,25)I_H = 0,015 I_H$  W per  $m^2$  fönsteryta, från den markreflexion man skulle ha haft om planen haft samma reflexionsfaktor som marken i övrigt,  $0,5 \times 0,25 I_H = 0,125 I_H$  W per  $m^2$  fönsteryta. Den totala markreflexionen är därför  $(0,125 + 0,015)I_H = 0,140 I_H$  W per  $m^2$  fönsteryta.

Exempel. Antag att man skall bestämma vinkelkoefficienten  $\varphi_{ij}$  för att beräkna diffust reflekterad strålning mot ett fönster från en rektangulärt formad plan  $A_j$  som är belägen som FIG. 2.22e visar. Planen sträcker sig inte fram till fasaden, och dessutom ligger den helt och hållet på den ena sidan om det lodräta normalplanet genom fönstret.

För att kunna använda diagrammet i FIG. I:7 för detta fall beräknas vinkelkoefficienterna för rektanglar som alla har ett hörn beläget så att normalen genom hörnet träffar fönsterytan  $\Delta A_i$ . Sedan får man  $\varphi_{ij}$  genom att addera eller subtrahera vinkelkoefficienterna för dessa rektanglar. Man får

$$\varphi_{ij} = \varphi_{i, a+b+c+j} - \varphi_{i, a+b} - \varphi_{i, b+c} + \varphi_{ib}$$

### 2.3 Diagram för strålning mot lutande ytor

Direkt solstrålning mot en lutande yta beräknas ur ekv.

$I_{DL} = I_{DN} \cos i$  W/m<sup>2</sup> (se 2.21), sedan  $\cos i$  bestämts med hjälp av diagrammen i FIG. I:9. Dessa diagram har konstruerats för ytor med lutningarna 10, 30, 50, 70 och 90°, dvs. för höjdvinklarna  $\gamma = 80, 60, 40, 20$  och 0° hos ytnormalen, med hjälp av ekv.  $\sin i_n = \sqrt{0,1 n}$  och ekv. (2.5) och (2.6), där  $n$  är en hjälpstorhet.

Vid bestämning av  $\cos i$  inritas solens läge i diagrammet. I detta är horisontalvinkeln  $\beta$  skillnaden mellan det väderstreck i vilket solen befinner sig, solasimuten  $a$ , och det väderstreck mot vilket den lutande ytan är riktad, väggasimuten  $v$ , så att  $\beta = a - v$ . Om  $|a - v| > 180^\circ$  är dock  $\beta = 360 - |a - v|$ .

I diagrammet avläser man värdet på hjälpstorheten  $n$  genom interpolation mellan de  $n$ -värden som gäller för de båda närmast belägna kurvorna i den skara kurvor, som givits värdena 1-10. Därefter får man  $\cos i$  ur den ena av de båda dubbelskalorna (den andra ger infallsvinkeln  $i$ ). Observera att solen är skymd av den lutande ytan om man får  $n > 10$ .

Himmelsstrålning. Infallsvinkeln  $i$  för de olika, med  $n = 1$  t.o.m. 10 betecknade kurvorna är sådan att strålningen mot den lutande ytan är lika stor från var och en av de 10 partier i vilka himlen tänkes delad av kurvorna. Förutsättningen för detta är att himlen är jämnt lysande och att horisonten är fri. Dessutom tänkes då himlen ovanför ytans plan fortsätta under horisonten ned till detta plan.

Kurvorna i den andra kurvskaran visar skärningen mellan himlavalvet ovanför den lutande ytan och 20 plan på jämnt vinkelavstånd, 9°, från varandra, då planen är lagda genom den lutande ytans normal. Tillsammans delar de båda kurvskarorna himlen ovanför ytans plan i  $10 \times 40 = 400$  rutor, som alla ger lika mycket himmelsstrålning mot ytan.

Är himlen delvis avskärmd kan man se hur mycket himmelsstrålning som den återstående oavskärmade delen av himlen ger genom att räkna antalet kvarvarande rutor.

Är detta antal  $N$  är himmelsstrålningen mot den lutande ytan

$$I_{dL} = \frac{N}{400} I_{dH} \quad (2.22)$$

där  $I_{dH}$  är himmelsstrålningen mot en horisontell yta vid fri horisont.

Vid en lutande yta gäller också, om himlen är jämnt lysande och horisonten är fri, att ytan skärmar av så mycket av himlen att den återstående delen av himmelsstrålningen är

$$p = \frac{1}{2} (1 + \sin \gamma) \quad (2.23)$$

Vid lutningarna 10, 30, 50, 70 och 90° är  $\sin \gamma = 0,985, 0,866, 0,643, 0,342$  och 0, så att man får  $p = 0,993, 0,933, 0,822, 0,671$  och 0,500. Motsvarande antal kvarvarande rutor är då 397, 373, 329, 268 och 200.

I stället för strålningen från den avskärmade delen av himlen får man markreflekterad strålning, som vid jämnt reflekterande, obegränsad och oskuggad markyta beräknas enligt ekv. (2.17) :  $I_{gL} = \frac{1}{2} r_g I_H (1 - \sin \gamma)$ .

Exempel. Beräkna strålningen från sol, himmel och mark mot en lutande yta vid fri horisont en klar sommardag, om ytans lutning är 30°, väggasimuten 90° (väster), solasimuten -5°, solhöjden 38° och markytans reflexionsfaktor 0,20. Himlen antas vara jämnt lysande.

Vid solhöjden 38° ger TAB. II:1  $I_{DN} = 855$ ,  $I_{dH} = 97$  och  $I_H = 623 \text{ W/m}^2$ . Med  $\beta = -95^\circ$  får man ur FIG. I:9 att  $n = 7,5$ ,  $\cos i = 0,50$ , så att  $I_{DL} = 855 \cdot 0,50 = 427 \text{ W/m}^2$ . Vid 30° lutning är  $p = 0,93$ , så att  $I_{dL} = 90 \text{ W/m}^2$ , och marken reflekterar  $I_{gL} = \frac{1}{2} 0,20 \cdot 623 (1 - 0,866) = 8 \text{ W/m}^2$ . Den totala instrålningen mot den lutande ytan är därför  $427 + 90 + 8 = 525 \text{ W/m}^2$ .



## 2.4 Diagram för bestämning av solinstrålning klara dagar mot vertikala ytor

### 2.41 Direkt solstrålning

Instrålningen från solen mot en vertikal yta beror av dess läge i höjd- och sidled i förhållande till ytan. Högre solstånd ger högre instrålningsvärden vinkelrätt mot strålningsriktningen. Den större infallsvinkeln som en större solhöjd ger, medför däremot en mindre komponent mot ytan. Maximal instrålning erhålles vid en solhöjd strax under  $30^\circ$ . Detta framgår av BIL. I:10-11. Kurvorna i dessa figurer utgör sammanbindningslinjer mellan punkter med samma instrålning (nivåkurvor) i ett rätvinkligt koordinatsystem med horisontalvinkeln  $\beta$  som abscissa och solhöjden  $h$  som ordinata. BIL. I:10 grundas på Lunelunds sommarvärden, BIL. I:11 på vintervärdena.

### 2.42 Himmelsstrålning

I BIL. II:1 anges intensiteten av himmelsstrålningen mot en horisontell yta,  $I_{dH}$ . Om alla delar av himlen strålade med samma intensitet skulle strålningen mot en vertikal yta,  $I_{dV}$ , bli hälften så stor som mot en horisontell yta, eftersom det bara är hälften av himlen som strålar mot den vertikala ytan. Vid klart väder strålar emellertid ett parti runt solen starkare än vad andra delar av himlen gör. Himmelsstrålningens intensitet blir därför beroende av solens läge i förhållande till fasaden. Man får det samband mellan kvoten  $I_{dV}/I_{dH}$  och den direkta solstrålningens infallsvinkel  $i$  som visas i FIG. 2.42a (efter Threlkeld, 1962). När solen står bakom fasaden blir kvoten mindre än 0,5. Dess värde stiger emellertid snabbt när solen börjat lysa på fasaden ( $i \leq 90^\circ$ ). Maximivärdet inträffar när infallsvinkeln är 0 dvs när strålningen från partiet kring solen har väggnormalens riktning.

BIL. I:12 grundar sig på värdena på  $I_{dH}$  enligt BIL. II:1 och på sambandet mellan  $I_{dV}$  och  $I_{dH}$  enligt FIG. 2.42a.

### 2.43 Strålning från sol, himmel och mark

BIL. I:13 visar nivåkurvor för summan av direkt solstrålning sommartid, himmelsstrålning samt markreflekterad strålning. Marken har antagits ha oändlig utsträckning och diffust reflektera 25 % av globalstrålningen ( $I_H$ ). Den maximala instrålningen  $870 \text{ W/m}^2$  erhålles när solen står rakt framför fasaden på en höjd av ca  $32^\circ$ . Detta inträffar under sommaren i öst-västliga väderstreck och under vår och höst i sydliga väderstreck.

Av diagrammet framgår att höga solhöjder ger låg instrålning. Detta innebär att man på sydliga breddgrader, där solen står högt under större delen av dagen, inte har samma starka instrålning mot vertikala ytor som på mera nordliga breddgrader där solbanan under en längre tid kan ligga närmare maximivärdet i diagrammet.

Instrålningsdiagrammen är ritade på transparent papper för att de bekvämt skall kunna användas i kombination med sollägesdiagrammen BIL. I:1-6, varvid instrålningen timme för timme direkt kan avläsas.

Beroende på väggens orientering förskjuter man diagrammen i förhållande till varandra. Om t ex väggasimuten är  $-90^\circ$  (öster) läggs instrålningsdiagrammet så att horisontalvinkeln  $\beta = 0$  sammanfaller med sollägesdiagrammets solasimut  $a = -90^\circ$ . Den starkaste instrålningen kommer härigenom, som sig bör, att uppträda under dagens tidiga timmar.

## 2.5 Datorprogram för beräkning av strålning klara dagar mot horisontella och vertikala ytor

De i 2.1 och 2.2 redovisade ekvationerna för solens läge och instrålningens intensitet används i ett ALGOL-program som ger instrålning i  $W/m^2$  timme för timme (sann soltid), dygnssummor vid horisontavskärningarna  $0^\circ$  (fri horisont),  $5^\circ$  och  $10^\circ$  för den 15:e i varje månad och för var 15:e grads orientering. Lunelunds sommar- eller vintervärden väljs med ledning av den aktuella månadens nummer (1-12). Himmelsstrålningen beräknas med hjälp av sambandet enligt FIG. 2.42 och värdena på  $I_{dH}$  angivna i BIL. II:1. Markreflekterad strålning beräknas med hjälp av den aktuella markreflektionen med förutsättningen att markytan har oändlig utsträckning och reflekterar globalstrålningen diffust. Även solens läge vid varje klockslag erhålles. TAB. 2 i Byggforskningens rapport nr 19:1969 har framställts med detta program (Brown & Isfält, 1969).

Programmet kan höras för godtycklig latitud. Det finns disponibelt vid Institutionen för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik vid KTH för körning på IBM/360/75. Beskrivning över ingångsdata finns i BIL. III.

## 2.6 Solbestrålningstider och skuggors form vid avskärmningar

Vid bestämning av hur instrålningen från sol och himmel påverkar ljus- och värmeförhållandena i ett rum måste man ofta undersöka, hur skuggorna faller på fönster och fasader från byggnader etc. i omgivningen eller från speciellt anordnade solskydd vid fönster i form av fasta skärmar. I detta avsnitt ges numeriska, grafiska och rittekniska metoder som kan användas då man vill veta om en punkt på en fasad eller i ett rum är solbelyst eller skuggad, eller då man vill konstruera konturen av en skugga på en fasad eller på marken.

Har man många fönster för vilka man skall bestämma solbelysningstiderna är en datamaskinbehandling av problemet lämplig. Program för detta har utarbetats, och ett exempel på resultatet av en beräkning visas.

En horisontell eller vertikal, fast skärm vid ett fönster ger en minskning av instrålningen från sol och himmel genom fönstret som beror av solens läge på himlen och av det väderstreck mot vilket fönstret vetter. Denna effekt av sådana skärmar behandlas i 4.2 och 4.3.

### 2.61 Numerisk bestämning av solbestrålningstider

#### 2.611 Beräkning för en punkt

Vid bestämning av skärmskuggor förutsätts att man känner solhöjden  $h$  och horisontalvinkeln  $\beta$  för den yta på vilken den punkt är belägen vars skuggning skall bestämmas ( $\beta$  definieras i 2.3).

I FIG. 2.61a ser man betydelsen av beteckningarna för de olika storheter som används vid beräkningarna. I horisontalprojektion visas kanten av en vertikal skärm, vars avstånd är  $L$  m från den punkt  $P$  för vilken solbelysningstiden skall bestämmas.  $P$  tänkes ligga på en yta vars normal (eller projektion av normalen i horisontal-

planet om ytan inte är vertikal) visas i figuren. A är den punkt på skärmen (eller dess förlängning) i vilken normalen från P mot skärmen träffar skärmen. Vinkeln  $\beta'$ , som är vinkeln mellan denna normal och normalen mot ytan i P, räknas liksom  $\beta$  positiv till höger om normalen mot ytan i P.

Skärmkanten, dvs. skärmens över- eller underkant, antas vara horisontell, sidokanterna vertikala. Skärmkantens höjd över P,  $z$  m, är given, likaså avstånden från A till sidokanterna, som är absolutbeloppen av storheterna  $M_1$  och  $M_2$  (är kanten belägen till vänster om A är storheten negativ). Skärmens längd är då alltid  $M_2 - M_1$ .

Sett från P ses skärmkanten i riktning mot A under en vinkel  $h_n$ , som vi kan kalla skärmvinkel. Denna kan beräknas ur

$$\operatorname{tg} h_n = \frac{z}{L} \quad (2.24)$$

eftersom höjden  $z$  ses på avståndet  $L$ . I andra riktningar ses skärmkanten på ett större avstånd och därför under en mindre vinkel. I den riktning solen står är avståndet till skärmen  $L/\cos(\beta-\beta')$ , och den vinkel  $h_s$  som skärmkanten ses under i denna riktning kan därför beräknas ur

$$\operatorname{tg} h_s = \frac{z}{L} \cos(\beta-\beta') \quad (2.25)$$

Vidare framgår av FIG. 2.61a att

$$\operatorname{tg}(\beta_1-\beta') = \frac{M_1}{L} \quad (2.26)$$

$$\operatorname{tg}(\beta_2-\beta') = \frac{M_2}{L} \quad (2.27)$$

Om inte  $L$  och  $z$  är givna utan  $h_n$ , t.ex. då skärmen är belägen på stort avstånd från P, får man  $h_s$  ur

$$\operatorname{tg} h_s = \operatorname{tg} h_n \cos(\beta-\beta') \quad (2.25')$$

Skärmen kan ha oändlig utsträckning åt ena eller båda hållen. Är t.ex.  $M_1 = -\infty$  blir  $\operatorname{tg}(\beta_1 - \beta') = -\infty$  så att  $\beta_1 = \beta' - 90^\circ$ . Observera att om P ligger på en lodrät yta är absolutbeloppen av  $\beta_1$  och  $\beta_2 < 90^\circ$ .

Vid en skärmkant parallell med fasaden (FIG. 2.61b) är  $\beta' = 0$ . Ekv. (2.25)-(2.27) ger  $\operatorname{tg} h_s = \frac{z}{L} \cos\beta$ ,  $\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{M_1}{L}$ ,  $\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{M_2}{L}$ .

Vid en skärmkant vinkelrät mot fasaden är  $\beta' = +90^\circ$  eller  $-90^\circ$ . Vid  $\beta' = +90^\circ$  (FIG. 2.61c) får man  $\operatorname{tg} h_s = \frac{z}{L} \sin\beta$ ,  $\operatorname{tg}(90 - \beta_1) = -\frac{M_1}{L}$ ,  $\operatorname{tg}(90 - \beta_2) = -\frac{M_2}{L}$ . Vid  $\beta' = -90^\circ$  (FIG. 2.61d) får man  $\operatorname{tg} h_s = -\frac{z}{L} \sin\beta$ ,  $\operatorname{tg}(90 + \beta_1) = \frac{M_1}{L}$ ,  $\operatorname{tg}(90 + \beta_2) = \frac{M_2}{L}$ .

De nämnda ekvationerna gäller både när skärmkanten avser överkanten på en skärm (som takåsen på ett hus på andra sidan gatan sett från ett fönster genom vilket strålningen skall bestämmas) eller underkanten (som underkanten på en balkong eller en markis över fönstret).

Är det fråga om en överkant ligger P i skugga av skärmen om  $h < h_s$  och samtidigt  $\beta_1 < \beta < \beta_2$ . Är kanten en underkant skuggas P om  $h > h_s$  och  $\beta_1 < \beta < \beta_2$ . Vid en skärm med både över- och underkant skuggas P om  $h < h_s$  för överkanten och  $h > h_s$  för underkanten och samtidigt  $\beta_1 < \beta < \beta_2$ . Om skärmen inte är vertikal kan villkoren för att P skall ligga i skugga bli något mer komplicerade, se ex. 2.

Ekvationerna kan också användas när man vill undersöka om en punkt inne i ett rum är solbelyst. Så är fallet om  $h < h_s$  för fönstrets överkant och  $h > h_s$  för fönstrets underkant, då samtidigt  $\beta$  ligger mellan de vinklar som linjer dragna i horisontalplanet från punkten till fönstrets sidokanter eller deras förlängningar bildar med normalen genom punkten mot fönstrets plan.

Exempel 1

Ange när skärmen i FIG. 2.61e skuggar punkten P.

Ekv. (2.25)-(2.27) ger

$$\operatorname{tg} h_s = \frac{2}{2,5} \cos\beta = 0,8 \cos\beta$$

$\operatorname{tg} \beta_1 = -1,5/2,5 = -0,6$ , dvs.  $\beta_1 = -31^\circ$  (vinkeln kan bestämmas ur värdet på tangenten med hjälp av skalorna i FIG. 2.62a)

$$\operatorname{tg} \beta_2 = 2,5/2,5 = 1, \text{ dvs. } \beta_2 = 45^\circ$$

P skuggas när  $h < \operatorname{arc} \operatorname{tg}(0,8 \cos\beta)$  och därvid  $-31^\circ < \beta < 45^\circ$ .

Exempel 2

Ange när skärmen ABCD i FIG. 2.61f skuggar punkten P.

P ligger i skugga av skärmen om

$$h_{AB} < h < h_{AD} \text{ då } \beta_A < \beta < \beta_B$$

$$h_{BC} < h < h_{AD} \text{ då } \beta_B < \beta < \beta_C$$

$$h_{CD} < h < h_{AD} \text{ då } \beta_C < \beta < \beta_D$$

där  $h_{AB}$ ,  $h_{BC}$ ,  $h_{CD}$  och  $h_{AD}$  är de vinklar under vilka man ser resp. kantlinjer från punkten P. Dessa vinklar beräknas enligt ekv. (2.25) ur:

$$\operatorname{tg} h_{AB} = -\frac{4}{3} \sin\beta$$

$$\operatorname{tg} h_{BC} = \frac{4}{7} \cos\beta$$

$$\operatorname{tg} h_{CD} = \frac{4}{5} \sin\beta$$

$$\operatorname{tg} h_{AD} = \frac{4}{3} \cos\beta$$

Ekv. (2.26) och (2.27) ger

$$\operatorname{tg} \beta_A = -\frac{3}{3} \text{ dvs. } \beta_A = -45^\circ$$

$$\operatorname{tg} \beta_B = -\frac{3}{7} \text{ dvs. } \beta_B = -23,2^\circ$$

$$\operatorname{tg} \beta_C = \frac{5}{7} \text{ dvs. } \beta_C = 35,6^\circ$$

$$\operatorname{tg} \beta_D = \frac{5}{3} \text{ dvs. } \beta_D = 59,0^\circ$$

## 2.612 Beräkning för flera punkter

Ibland vill man veta när flera punkter på en fasad är skuggade av skärmar i omgivningen. Det kan vara fråga om att bestämma när olika fönster i fasaden ligger i skugga av omgivande byggnader. Om det inte är många tidpunkter för vilka man vill göra undersökningen och inte heller antalet punkter på fasaden är stort kan bestämningen lämpligen göras med hjälp av projektionsmetoden enligt avsnitt 2.632. En numerisk beräkning med hjälp av dator kan annars vara att föredra.

Vid en numerisk beräkning bör läget av punkterna på fasaden anges med hjälp av ett koordinatsystem. Origo kan lämpligen förläggas till fasadens nedre vänstra hörn, inifrån sett.

Om skärmens läge hänförs till origo enligt FIG. 2.61g blir de ekvationer som motsvarar ekv. (2.25)-(2.27) följande:

$$\operatorname{tg} h_s = \frac{z - z_o}{L - x_o \sin \beta} \cos(\beta - \beta') \quad (2.28)$$

$$\operatorname{tg}(\beta_1 - \beta') = \frac{M_1 - x_o \cos \beta'}{L - x_o \sin \beta'} \quad (2.29)$$

$$\operatorname{tg}(\beta_2 - \beta') = \frac{M_2 - x_o \cos \beta'}{L - x_o \sin \beta'} \quad (2.30)$$

Är skärmens överkant inte vågrät utan lutar med vinkeln  $\zeta$  ändras ekv. (2.28) till



$$\operatorname{tg} h_s = \frac{z - z_0 + \{x \cos\beta' + (L - x_0 \sin\beta') \operatorname{tg}(\beta - \beta')\} \operatorname{tg}\zeta}{L - x_0 \sin\beta' \cos(\beta - \beta')} \quad (2.31)$$

om kantens höjd är  $z$  i punkten A och ökar åt höger.

Varierar skärmkantens höjd mera oregelbundet kan man ibland tänka sig skärmen delad i flera på sådant sätt att kanten hos varje skärm kan betraktas som vågrät. I FIG. 2.61h ser man en sådan skärm parallell med fasaden. Med beteckningar härledda ur figuren ser man att P ligger i skugga av skärmen om

$$h < h_{CD} \text{ då } \beta_C < \beta < \beta_D$$

$$h < h_{DE} \text{ då } \beta_D < \beta < \beta_E$$

$$h < h_{EF} \text{ då } \beta_E < \beta < \beta_F$$

Är fasaden omgiven av flera skärmar spelar det vid en datamaskinberäkning ingen roll om punkten P ligger i skuggan av två eller flera skärmar samtidigt. Programmet för maskinberäkningen kan utföras så att hänsyn tas till varje skärm även om dessa delvis ligger bakom varandra sett från P. Man inför en storhet som anger att P är skuggad om för någon av skärmarna de villkoren är uppfyllda att solhöjden  $h$  är mindre än  $h_s$  och horisontalvinkeln  $\beta$  ligger mellan horisontalvinklarna för skärmens vertikala kanter.

#### 2.613 Datorberäkning av vandrande skuggor på fasader

De i 2.612 angivna ekvationerna har programmerats för dator i programmeringsspråket ALGOL. Den fasad som skall undersökas uppdelas i ett rutnät med 1 meters maskvidd. Skuggande föremåls konturer projiceras på fasaden. I resultatutskriften erhålles en bild från radskrivare för varje timme som fasaden är solbelyst. Skugga markeras med en asterisk (\*).

Hörnpunkterna hos de skuggande föremålen numreras godtyckligt. Koordinaterna för de olika punkterna jämte uppgifter om vilka punkter som förbinds med räta linjer, ges som ingångsdata. Användningen av detta program beskrivs i BIL. III.

Som exempel på en beräkning med datamaskin kan nämnas en undersökning av när de olika fönstren på söderfasaderna av höghusen 3 och 4 i Hötorgscity i Stockholm skuggas av höghusen 4 och 5. Beräkningen gjordes för att man ville studera hur belastningen hos husens uppvärmnings- och ventilationsanläggningar varierar klara dagar under året på grund av solinstrålningen.

Av perspektivskissen i FIG. 2.61i ser man att höghus 4 ligger söder om höghus 3, men att fasadnormalen är riktad  $26^{\circ}$  åt öster från söder räknat. Höghus 4 har sådan form att skuggan av huset på fasaden av höghus 3 blir densamma som skuggan av tre "skärmar" parallella med varandra och fasaden, som antyds på figuren. Höghus 3 har 16 våningar med 35 fönster i varje våning och en våning överst i huset med 7 fönster. Datamaskinberäkningen upplyste om ifall mittpunkten av varje fönster ligger i sol eller skugga varje helt klockslag när solen är uppe den 15 i varje månad.

FIG. 2.61k visar en sida av de tabeller som erhöles vid en beräkning. Man ser exempelvis att kl 11 endast 1 fönster i de nedre våningarna är solbelyst, vid fasadens östra del. Skärm 3 skuggar vissa fönster i våning 10. Kl 12 är flera av fönstren i de nedre våningarna solbelysta, vid västra delen av fasaden, och solen står så högt att skuggan av skärm 3 inte längre faller på fasaden. Kl 13 är endast ett mindre antal fönster ännu i skugga.

## 2.62 Bestämning av solbestrålningstider med skärmlinjediagram

Ett skärmlinjediagram visas i FIG. 2.62a. Kurvorna anger hur den vinkel under vilken man ser en horisontell skärmkant parallell med en vertikal yta (fasad) varierar med  $\beta$ . Varje kurva gäller för ett visst värde på  $h_n$ , den vinkel under vilken man ser skärmkanten då man riktar blicken vinkelrätt mot skärmen. Eftersom skärmen tänkes parallell med fasaden är  $\beta' = 0$ . För kurvorna gäller därför ekvationen  $\text{tg } h_s = \text{tg } h_n \cos \beta$ , dvs. ekv. (2.25) med  $\beta' = 0$ .

Man kan omedelbart rita in konturen av en skärm i diagrammet om man känner värdena på  $h_n$ ,  $\beta_1$  och  $\beta_2$  för skärmen. Annars beräknar man  $\text{tg } h_n$ ,  $\text{tg } \beta_1$  och  $\text{tg } \beta_2$  ur  $z$ ,  $L$ ,  $M_1$  och  $M_2$  enligt kv. (2.24), (2.26) och (2.27) och kan sedan utnyttja tangentskalan till höger i diagrammet för att bestämma vinklarna.

Det kan vara praktiskt att lägga ett transparent papper ovanpå skärmlinjediagrammet och rita in skärmkonturen på detta papper. Man kan sedan lägga papperet ovanpå ett sollägesdiagram (BIL. I:1-I:6) och rita in solens läge den aktuella dagen (om man inte i stället hämtar uppgifterna om solläget ur en tabell<sup>1)</sup>) för att se under vilket tidsintervall solen är skydd denna dag.

Är en skärmkant inte parallell med fasaden (dvs.  $\beta' \neq 0$ ) skall man vid användning av skärmlinjediagrammet flytta det transparenta papperet så att kurvan för  $h_n$  i diagrammet får sitt maximum vid  $\beta = \beta'$  och inte vid  $\beta = 0$ . Detta tillämpas i ex. 4 och 5.

### Exempel 3

Bestäm med hjälp av sollägesdiagram för Stockholm när under 1 augusti skärmen i FIG. 2.61e skuggar punkten P, förutsatt att normalen genom P mot skärmen är riktad mot öster.

Resultatet framgår av FIG. 2.62b.

<sup>1)</sup> Se Byggforskningens rapport 19:1969.

Exempel 4

Bestäm med hjälp av sollägesdiagram för Stockholm när under 1 maj skärmen i FIG. 2.61f skuggar punkten P, förutsatt att linjen PE i FIG. 2.61f är riktad mot sydväst, sett från P mot E.

Resultatet framgår av FIG. 2.62c. För skärmkanterna AB och CD är  $\beta' = -90^\circ$  resp.  $+90^\circ$ , så att maximivärdena för de kurvor som i figuren representerar dessa kanter, fås vid  $\beta = -90^\circ$  resp.  $+90^\circ$ .

Exempel 5

Bestäm med hjälp av sollägesdiagram när en punkt P är solbelyst vid klart väder den 1 april i Stockholm, då P är belägen som FIG. 2.62d visar 1,5 m innanför ett fönster. Fönstrets normal är riktad  $30^\circ$  mot väster från söder räknat ( $v = 30^\circ$ ). En flygelbyggnad skjuter ut från fasaden i rät vinkel mot denna 10 m till vänster om fönsternormalen genom P. Dess längd är 25 m räknat från fasadens utsida, och höjden hos dess takkant över fönstrets underkant är 15 m.

Resultatet framgår av FIG. 2.62e.

## 2.63 Skuggors form

## 2.631 Bestämning med skärmlinjediagram

Skärmlinjediagrammet i FIG. 2.62a kan också användas för att bestämma skuggvinkeln, dvs. solhöjden projicerad i vertikalplanet vinkelrätt mot vägg- eller fönstertytan.

I FIG. 2.63a är triangeln ABC projicerad i detta plan (triangeln ADC). Eftersom sträckan  $AB = L/\cos\beta$  gäller för triangelnarnas gemensamma sida AC, som anger skuggans utsträckning i vertikalled, att

$$l = L \operatorname{tg} h_n = \frac{L}{\cos\beta} \operatorname{tg} h$$

När  $\operatorname{tg} h_n$  erhållits med hjälp av skärmlinjediagrammet är det lätt att konstruera skuggan av skärmen, se figuren.

Är t.ex.  $L = 2 \text{ m}$ ,  $h = 30^\circ$ ,  $\beta = 40^\circ$  ger skärmlinjediagrammet  $h_n = 37^\circ$  och  $\operatorname{tg} h_n = 0,75$ , så att  $l = 2 \times 0,75 = 1,5 \text{ m}$ . Vidare ger tangentskalan i skärmlinjediagrammet att  $\operatorname{tg} \beta = 0,84$  så att  $k = 2 \cdot 0,84 = 1,68 \text{ m}$  (betydelsen av  $k$  framgår av FIG. 2.63a).

### 2.632 Bestämning med projektionsmetod

Skuggan på marken och på en vertikal fasad av en skärm kan konstrueras med hjälp av en vanlig projektionsmetod. Man utför då konstruktionen i en horisontalprojektion (markplanet) och en vertikalprojektion parallell med fasadplanet.

Vid konstruktionen av skuggan av en vertikal stång på marken söker man först skuggan i horisontalprojektionen. När skuggan inte fram till fasaden får man ju ingen skugga på denna.

Detta fall visas i FIG. 2.63b. Stången avbildas i vertikalprojektionen genom sträckan AB och i horisontalprojektionen genom punkten D. Avståndet från D till A är avståndet från stången till fasaden. Skuggan avbildas av sträckan DE i horisontalprojektionen. Den bildar där vinkeln  $\beta$  med normalen mot fasaden, eftersom ju solstrålningen har denna riktning.

Längden av sträckan DE är avståndet mellan stången och den punkt där strålen som passerat stångens övre ända vid B träffar marken. Strålens lutning mot marken är solhöjden  $h$ . För att finna sträckan DE ritar man triangeln ABC, där vinkeln som står mot AB är  $h$ . Sträckan  $DE =$  sträckan AC.

Inritningen av triangeln ABC gör man i vertikalprojektionen eftersom AB är inritad där, trots att triangeln

ligger i solstrålningens plan och inte är parallell med fasadplanet. Vid konstruktionen kan man rita en vinkel med det ena benet horisontellt och det andra med lutningen  $h$  och med vinkelhake dra en linje med denna lutning genom B ned till markplanet.

Finner man vid inritningen av DE i markplanet att E ligger ovanför skärningslinjen mellan fasadplanet och markplanet faller en del av skuggan av stången på fasaden (FIG. 2.63c).

Denna skugga måste vara vertikal och börja i punkten F, där skuggan i markplanet slutar. För att finna skuggans övre ända söker man först vertikalprojektionen av strålen som passerat stångens övre ända vid B. Funnes inte fasaden vore hela sträckan DE strålens projektion i horisontalplanet och BG i vertikalplanet. G finner man genom att dra en vertikal linje från E ned till skärningslinjen mellan vertikal- och horisontalprojektionerna. Skuggans övre ändpunkt är skärningspunkten H mellan vertikalen från F och linjen BG.

Observera att lutningen hos linjen BG just är skuggvinkeln  $h_n$ , som man därför alternativt kan bestämma med hjälp av skärmlinjediagrammet.

I FIG. 2.63d visas konstruktionen av skuggan på mark och fasad av en vertikal skärm med horisontell överkant och vertikala sidokanter. Skuggan av skärmkanten AB har konstruerats som i FIG. 2.63b och skuggan av skärmkanten A'B' som i FIG. 2.63c. Linjen EE' skär skärningslinjen mellan horisontal- och vertikalprojektionerna i punkten I. Skärmens överkant BB' ger skugglinjen EIH'.

I FIG. 2.63e är skärmen inte vertikal. Skuggan av skärmens hörn kan man emellertid finna på samma sätt som förut. Skuggan av kanten AD får man genom att i horisontalprojektionen dra en linje från D' parallell med AD fram till skärningslinjen mellan horisontal- och vertikalprojektionerna. Man kommer då till punkten G. Skuggan av kanten CD finner man på liknande sätt.

Exempel 6

En byggnad belägen i Stockholm har den form som visas i FIG. 2.63f. Den består av en lägre och en högre del. Den högre delen kastar skugga på den lägres söderfasad ( $v = 10^\circ$ ) och tak på förmiddagarna. Skuggans form den 15 mars kl 10 skall bestämmas.

Ur tabell erhålles  $a = -32,4^\circ$  och  $h = 24,4^\circ$ . Horisontalvinkeln blir  $\beta = a - v = -32,4 - 10^\circ = -42,4^\circ$ .

Resultatet framgår av FIG. 2.63f.

TAB. 2.13a Årlig variation hos tidsekvationen (dvs. skillnaden mellan sann soltid och normaltid).

Datum	Tidsekv. minuter	Datum	Tidsekv. minuter
1 jan	- 3	1 juli	- 4
15 jan	- 9	15 juli	- 6
1 febr	- 14	1 aug	- 6
15 febr	- 14	15 aug	- 4
1 mars	- 12	1 sept	0
15 mars	- 9	15 sept	+ 5
1 april	- 4	1 okt	+ 10
15 april	0	15 okt	+ 14
1 maj	+ 3	1 nov	+ 16
15 maj	+ 4	15 nov	+ 15
1 juni	+ 2	1 dec	+ 11
15 juni	0	15 dec	+ 5



TAB. 2.13b Korrektion i minuter för erhållande av svensk normaltid ur sann soltid vid olika tider på året (värdena beräknade med hjälp av Den svenska almanackan) för vissa städer i Sverige, samt dessa städers latitud.

Ort	Latitud on	Medel- värde																								
		1.1	15.1	1.2	15.2	1.3	15.3	1.4	15.4	1.5	15.5	1.6	15.6	1.7	15.7	1.8	15.8	1.9	15.9	1.10	15.10	1.11	15.11	1.12	15.12	
Borås	57° 43'	+11	+17	+22	+22	+20	+17	+12	+8	+5	+4	+6	+8	+12	+14	+14	+12	+8	+3	-2	-6	-8	-7	-3	+3	+8
Eskestuna	59 22	-3	+3	+8	+8	+6	+3	-2	-6	-9	-10	-8	-6	0	0	-2	-6	-11	-16	-20	-22	-21	-17	-11	-6	
Falun	60 36	0	+6	+11	+11	+9	+6	+1	-3	-6	-7	-5	-3	+1	+3	+3	+1	-3	-8	-13	-17	-19	-18	-14	-8	-3
Gällivare	67 8	-20	-14	-9	-9	-11	-14	-19	-23	-26	-27	-25	-23	-19	-17	-17	-19	-23	-28	-33	-37	-39	-38	-34	-28	-23
Gävle	60 40	-6	0	+5	+5	+3	0	-5	-9	-12	-13	-11	-9	-5	-3	-3	-5	-9	-14	-19	-23	-25	-24	-20	-14	-9
Göteborg	57 42	+15	+21	+26	+26	+24	+21	+16	+12	+9	+8	+10	+12	+16	+18	+18	+16	+12	+7	+2	-2	-4	-3	+1	+7	+12
Halmstad	56 40	+12	+18	+23	+23	+21	+18	+13	+9	+6	+5	+7	+9	+13	+15	+15	+13	+9	+4	-1	-5	-7	-6	-2	+4	+9
Haparanda	65 50	-34	-28	-23	-23	-25	-28	-33	-37	-40	-41	-39	-37	-33	-31	-33	-37	-42	-47	-51	-53	-52	-48	-48	-42	-37
Jönköping	57 47	+6	+12	+17	+17	+15	+12	+7	+3	0	-1	+1	+3	+7	+9	+9	+7	+3	-2	-7	-11	-13	-12	-8	-2	+3
Kalmar	56 40	-2	+4	+9	+9	+7	+4	-1	-5	-8	-9	-7	-5	-1	+1	+1	-1	-5	-10	-15	-19	-21	-20	-16	-10	-5
Karlskrona	56 10	+1	+7	+12	+12	+10	+7	+2	-2	-5	-6	-4	-2	+2	+4	+4	+2	-2	-7	-12	-16	-18	-17	-13	-7	-2
Karlstad	59 23	+9	+15	+20	+20	+18	+15	+10	+6	+3	+2	+4	+6	+10	+12	+12	+10	+6	+1	-4	-8	-10	-9	-5	+1	+6
Kristianstad	56 2	+6	+12	+17	+17	+15	+12	+7	+3	0	-1	+1	+3	+7	+9	+9	+7	+3	-2	-7	-11	-13	-12	-8	-2	+3
Linköping	58 25	+1	+7	+12	+12	+10	+7	+2	-2	-5	-6	-4	-2	+2	+4	+4	+2	-2	-7	-12	-16	-18	-17	-13	-7	-2
Luleå	65 35	-26	-20	-15	-15	-17	-20	-25	-29	-32	-33	-31	-29	-25	-23	-23	-25	-29	-34	-39	-43	-45	-44	-40	-34	-29
Malmö	55 36	+11	+17	+22	+22	+20	+17	+12	+8	+5	+4	+6	+8	+12	+14	+14	+12	+8	+3	-2	-6	-8	-7	-3	+3	+8
Nyköping	58 45	-5	+1	+6	+6	+4	+1	-4	-8	-11	-12	-10	-8	-4	-2	-2	-4	-8	-13	-18	-22	-24	-23	-19	-13	-8
Skara	58 23	+9	+15	+20	+20	+18	+15	+10	+6	+3	+2	+4	+6	+10	+12	+12	+10	+6	+1	-4	-8	-10	-9	-5	+1	+6
Stockholm	59 21	-9	-3	+2	+2	0	-3	-8	-12	-15	-16	-14	-12	-8	-6	-6	-8	-12	-17	-22	-26	-28	-27	-23	-17	-12
Strömstad	58 56	+18	+24	+29	+29	+27	+24	+19	+15	+12	+11	+13	+15	+19	+21	+21	+19	+15	+10	+5	+1	-1	0	+4	+10	+15
Sundsvall	62 23	-6	0	+5	+5	+3	0	-5	-9	-12	-13	-11	-9	-5	-3	-3	-5	-9	-14	-19	-23	-25	-24	-20	-14	-9
Umeå	63 49	-18	-12	-7	-7	-9	-12	-17	-21	-24	-25	-23	-21	-17	-15	-15	-17	-21	-26	-31	-35	-37	-36	-32	-26	-21
Uppsala	59 51	-7	-1	+4	+4	+2	-1	-6	-10	-13	-14	-12	-10	-6	-4	-4	-6	-10	-15	-20	-24	-26	-25	-21	-15	-10
Varberg	57 6	+14	+20	+25	+25	+23	+20	+15	+11	+8	+7	+9	+11	+15	+17	+17	+15	+11	+6	+1	-3	-5	-4	0	+6	+11
Visby	57 38	-10	-4	+1	+1	-1	-4	-9	-13	-16	-17	-15	-13	-9	-7	-7	-9	-13	-18	-23	-27	-29	-28	-24	-18	-13
Vänersborg	58 23	+8	+14	+19	+19	+17	+14	+9	+5	+2	+1	+3	+5	+9	+11	+11	+9	+5	0	-5	-9	-11	-10	-6	0	+5
Västervik	57 46	-4	+2	+7	+7	+5	+2	-3	-7	-10	-11	-9	-7	-3	-1	-1	-3	-7	-12	-17	-21	-23	-22	-18	-12	-7
Västerås	59 37	-3	+3	+8	+8	+6	+3	-2	-6	-9	-10	-8	-6	-2	0	0	-2	-6	-11	-16	-20	-22	-21	-17	-11	-6
Vaxjö	56 53	+4	+10	+15	+15	+13	+10	+5	+1	-2	-3	-1	+1	+5	+7	+7	+5	+1	-4	-9	-13	-15	-14	-10	-4	+1
Örebro	59 16	+2	+8	+13	+13	+11	+8	+3	-1	-4	-5	-3	-1	+3	+5	+5	+3	-1	-6	-11	-15	-17	-16	-12	-6	-1
Örnsköldsvik	63 17	-12	-6	-1	-1	-3	-6	-11	-15	-18	-19	-17	-15	-11	-9	-9	-11	-15	-20	-25	-29	-31	-30	-26	-20	-15
Östersund	63 11	+4	+10	+15	+15	+13	+10	+5	+1	-2	-3	-1	+1	+5	+7	+7	+5	+1	-4	-9	-13	-15	-14	-10	-4	+1

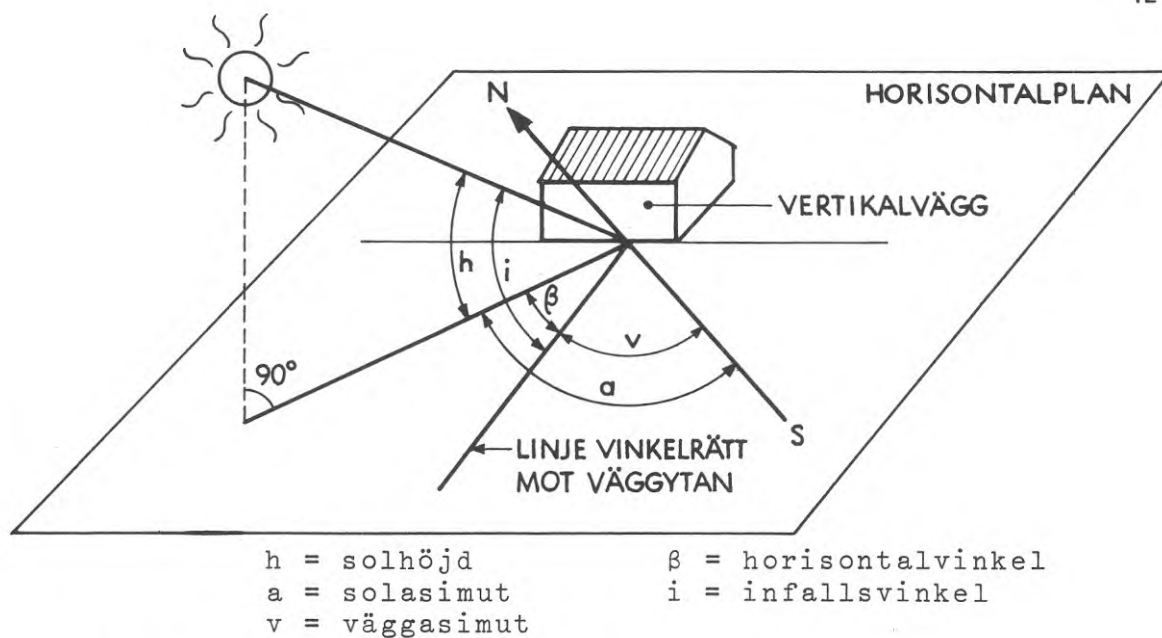


FIG. 2.11a Definition av vinklar vid solbelyst vägg.

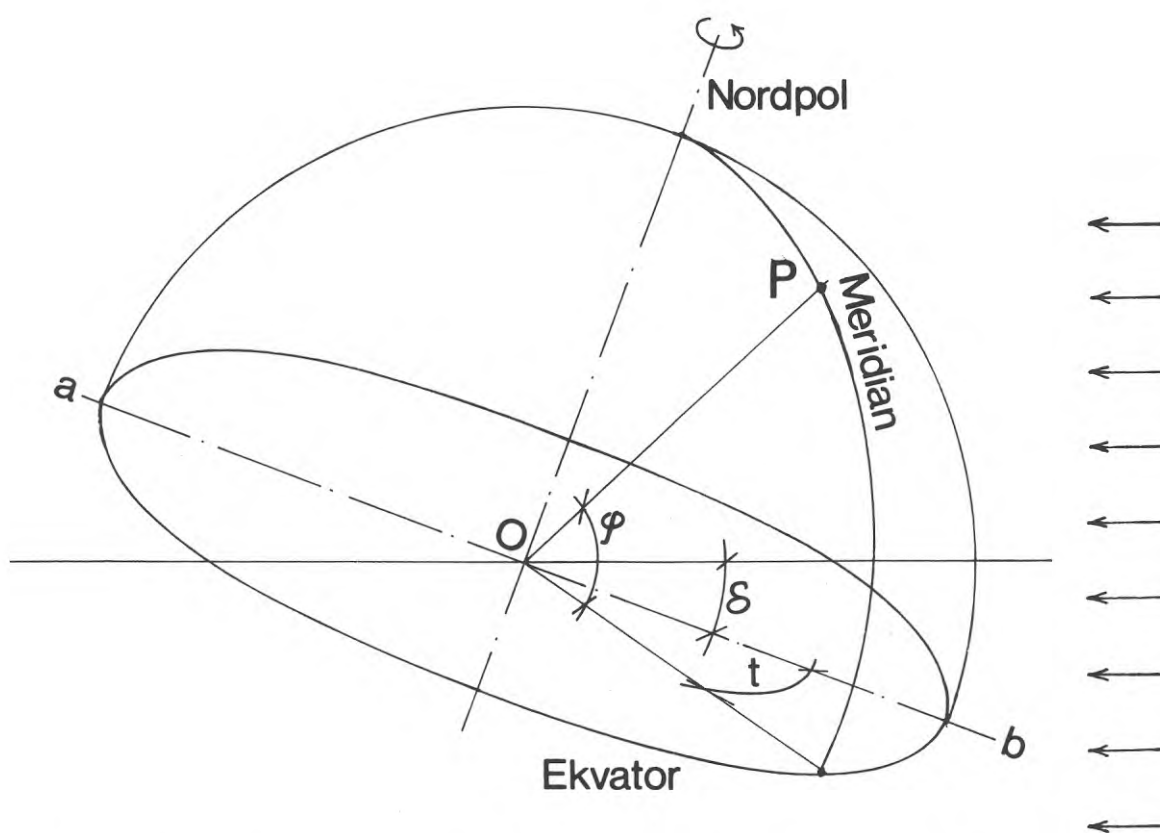


FIG. 2.12a Definition av latitud  $\varphi$ , timvinkel  $t$  och deklination  $\delta$ . I figuren visar P observationsortens läge på jordytan, O jordens medelpunkt. Linjen  $a$ - $b$  och pilarna, som anger solstrålningens riktning, ligger i planet genom jordaxeln och solen.

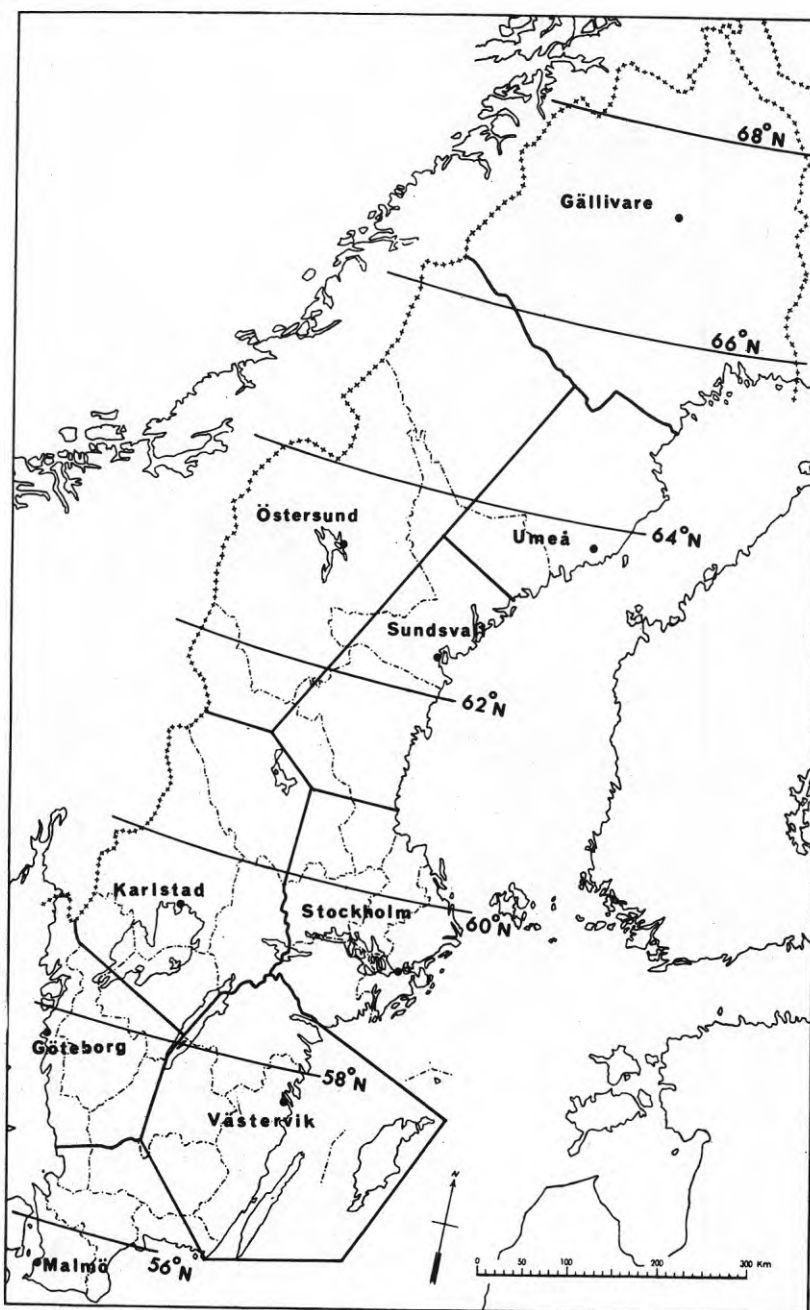


FIG. 2.14a Tillämpningsområden för värden på solläge och instrålning tabellerade i Byggeforskningens rapport 19/1969.



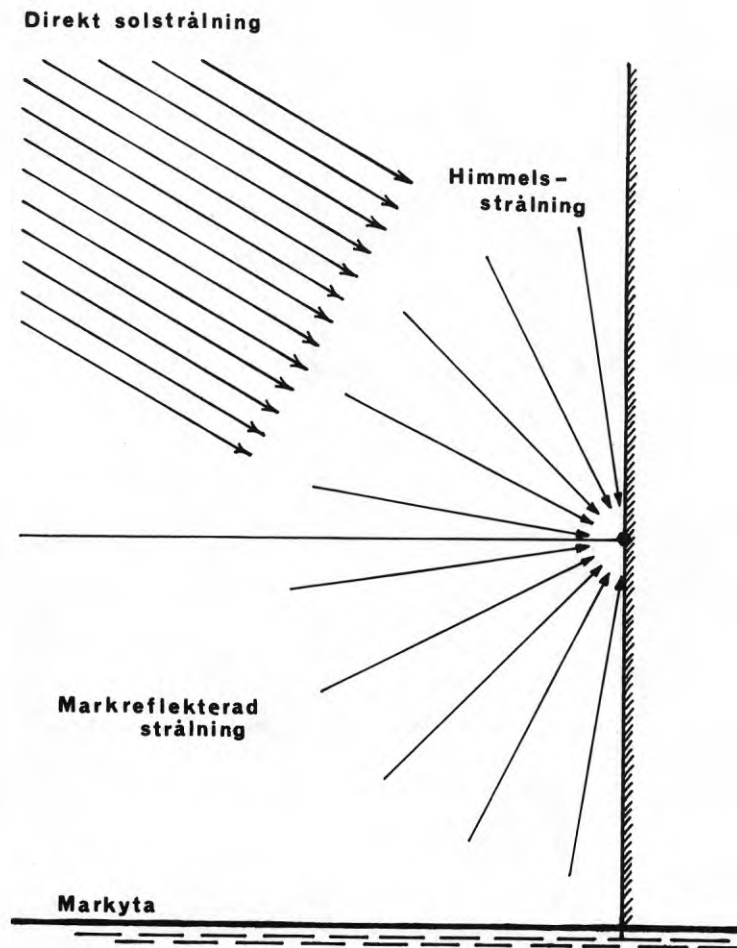


FIG. 2.22b Kortvågig strålning mot en punkt på en vertikal yta.

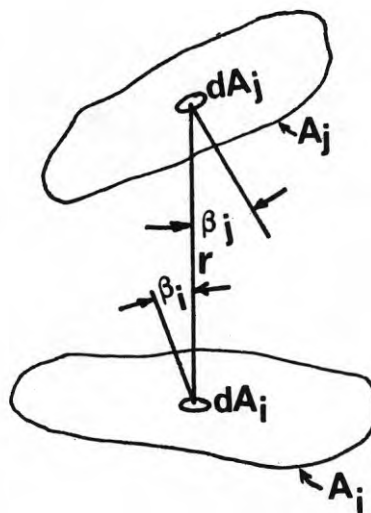


FIG. 2.22c Bestämning av vinkelkoefficienter för strålning mellan två ytor.

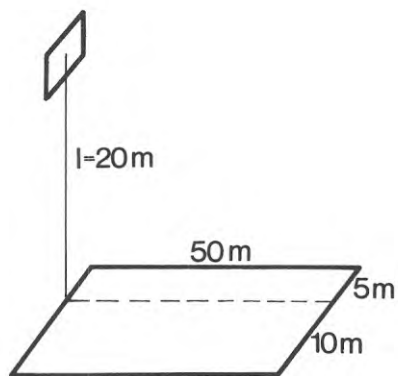


FIG. 2.22d

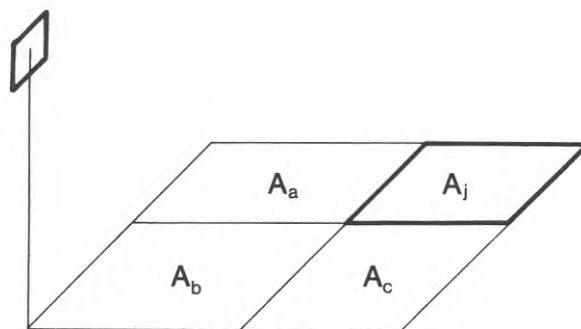


FIG. 2.22e

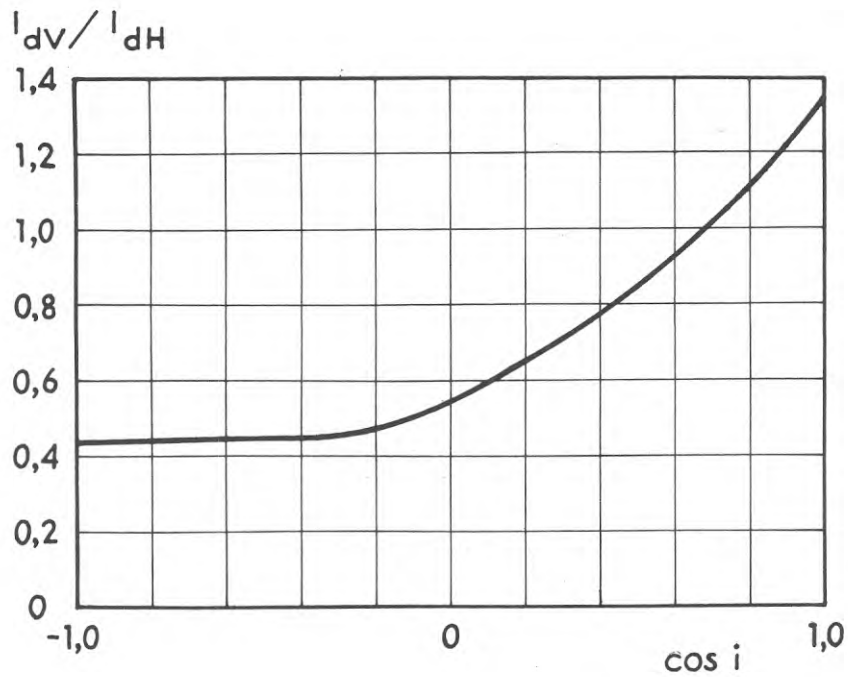


FIG. 2.42a. Förhållandet mellan himmelsstrålningen mot vertikal yta,  $I_{dV}$ , och mot horisontell yta,  $I_{dH}$ , vid klart väder som funktion av  $\cos i$  ( $i$  = infallsvinkeln).

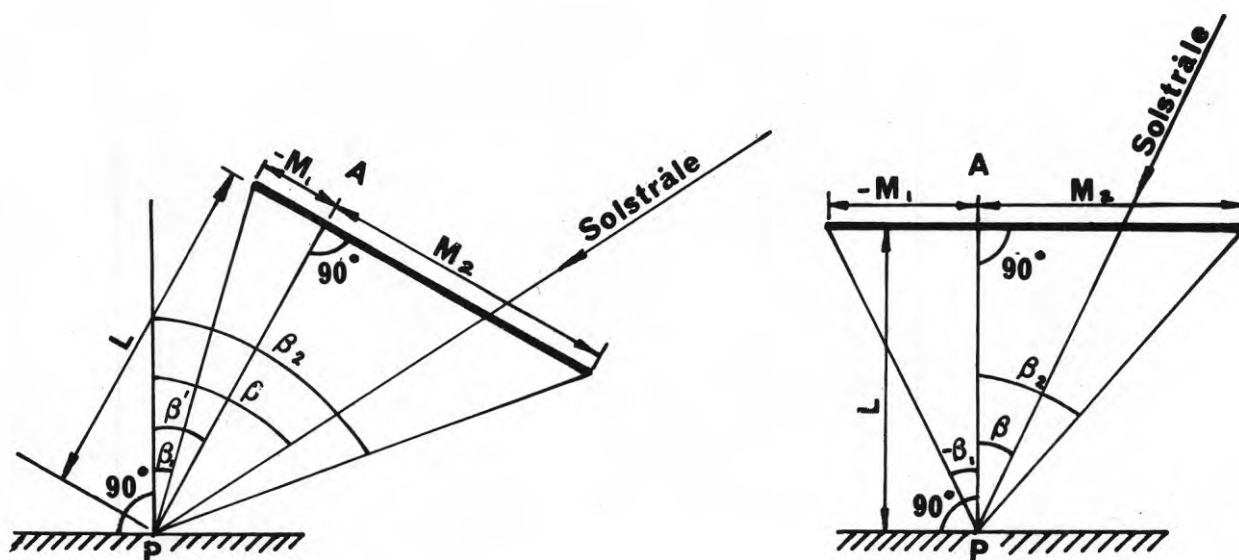


FIG. 2.61a Snett ställd skärm med kanten  $z$  m över P.

FIG. 2.61b Skärmkant parallell med fasaden,  $z$  m över P.

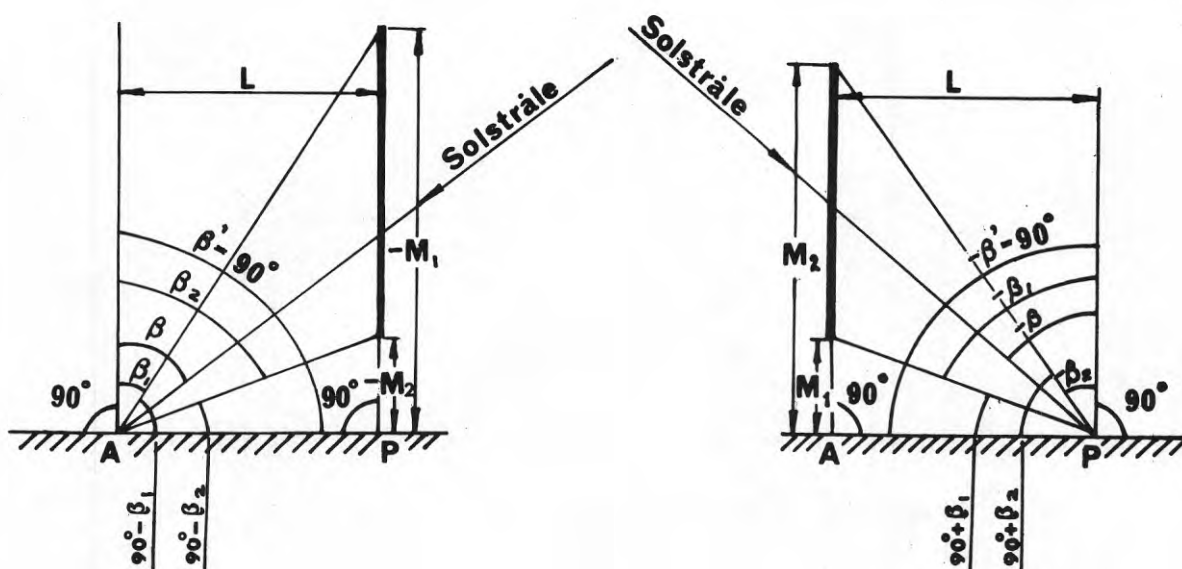


FIG. 2.61c Skärmkant vinkelrät mot fasaden,  $z$  m över P och till höger om P.

FIG. 2.61d Skärmkant vinkelrät mot fasaden,  $z$  m över P och till vänster om P.

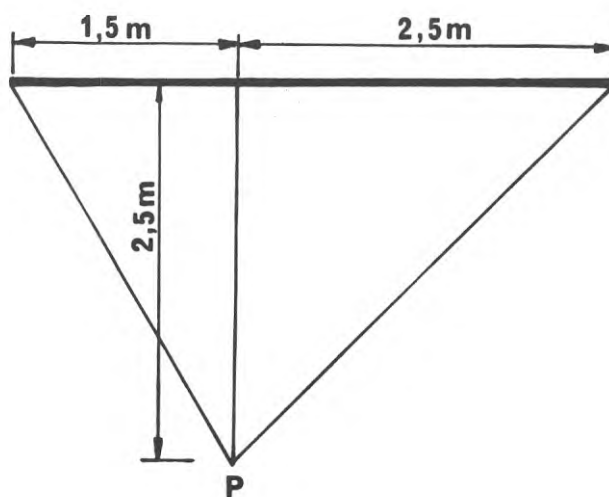


FIG. 2.61e Vertikal skärm med överkanten 2 m över P.

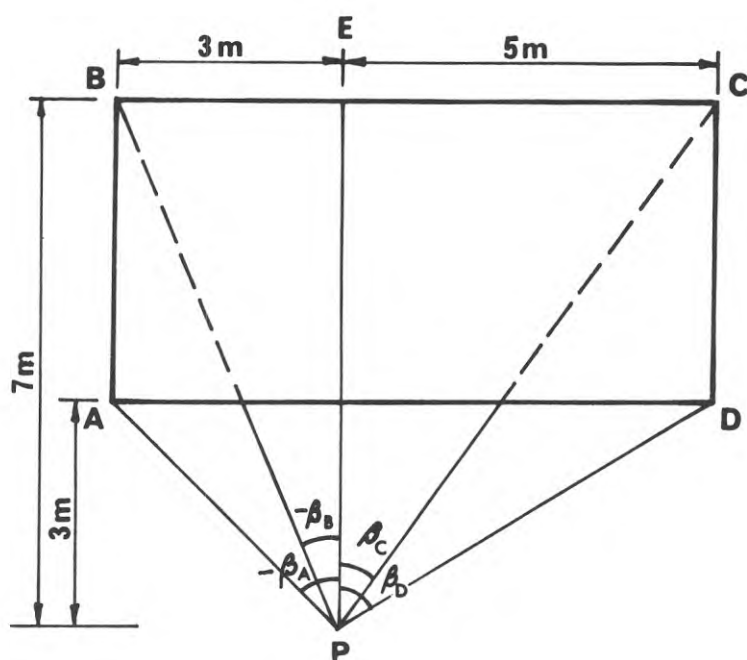


FIG. 2.61f Horisontell skärm 4 m över P (ex. 2 och 4).



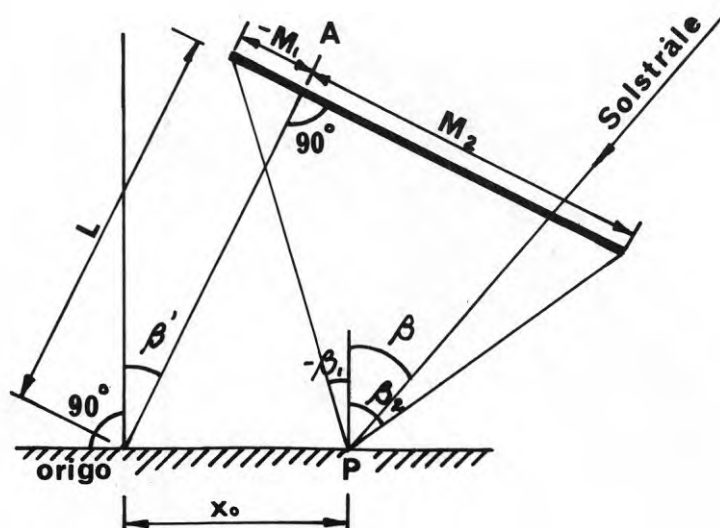


FIG. 2.61g Skärm vars läge är angivet i förhållande till ett origo på fasadytan. Skärmkanten ligger  $z$  m över origo. P har koordinaterna  $(x_0, 0, z_0)$ .

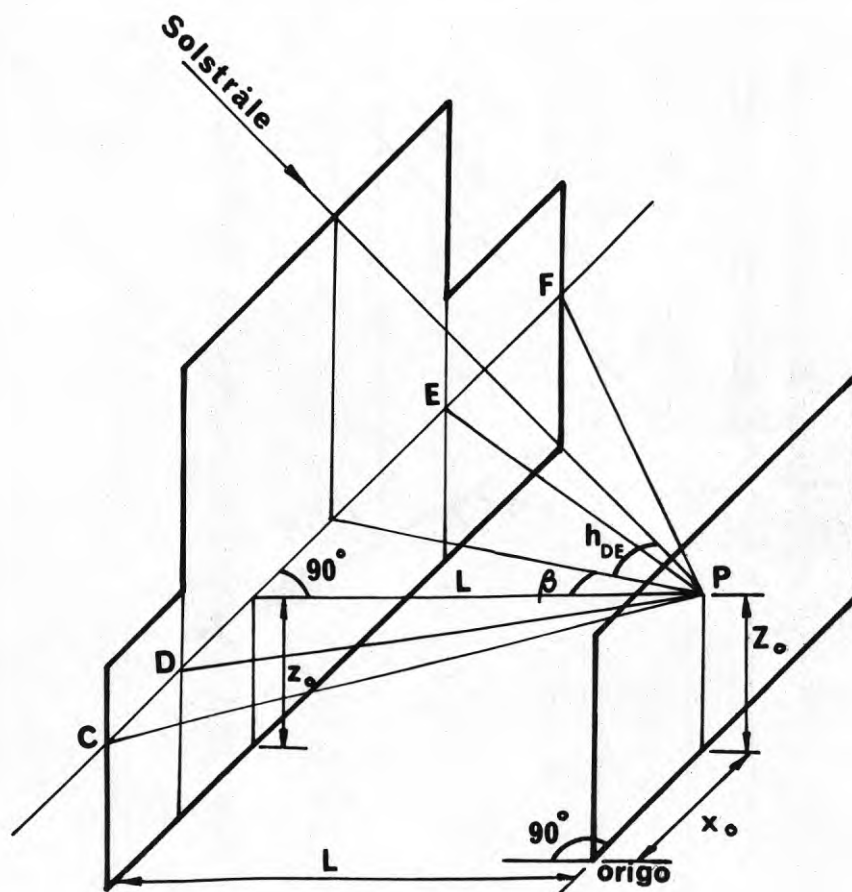


FIG. 2.61h Perspektivfigur av en skärm som är parallell med fasaden och delad i tre partier med olika höjd.

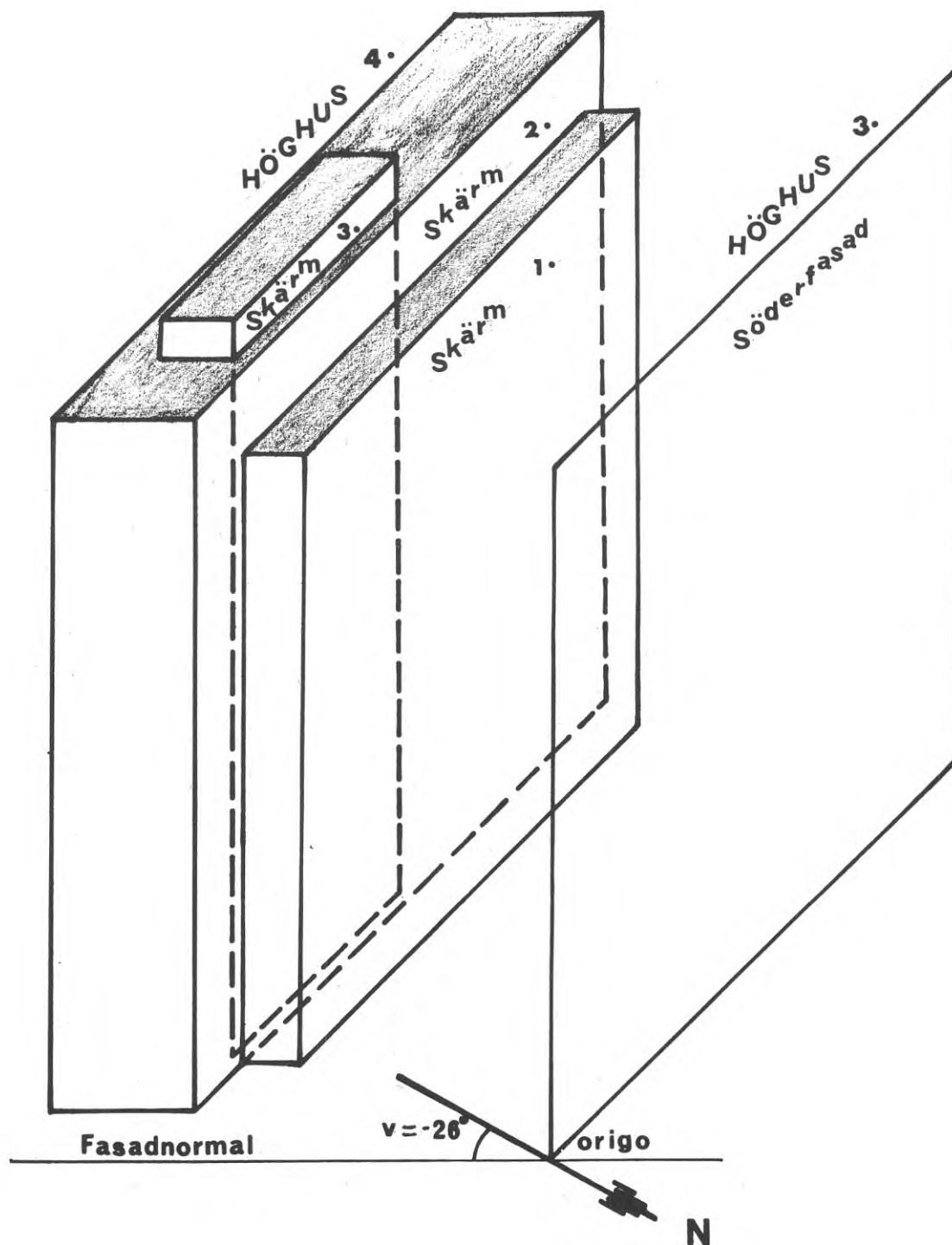


FIG. 2.61i Vid beräkning med dator av skuggan av höghus 4 på söderfasaden av höghus 3 i Hörtorgscity användes ekvationer för skuggan från var och en av "skärmarna" 1, 2 och 3.

DATUM	KL	VÅN	ANTAL
15.04	11	17	7
		16	35
		15	35
		14	35
		13	35
		12	35
		11	35
		10	19
		9	1
		8	1
		7	1
		6	1
		5	1
		4	1
		3	1
		2	1
		1	1

DATUM	KL	VÅN	ANTAL
15.04	12	17	7
		16	35
		15	35
		14	35
		13	35
		12	35
		11	35
		10	35
		9	35
		8	7
		7	7
		6	7
		5	7
		4	7
		3	7
		2	7
		1	7

DATUM	KL	VÅN	ANTAL
15.04	13	17	7
		16	35
		15	35
		14	35
		13	35
		12	35
		11	35
		10	35
		9	35
		8	35
		7	35
		6	20
		5	19
		4	19
		3	19
		2	19
		1	19

FIG. 2.61k Solbelysta och skuggade fönster, betecknade med ettor och nollor, på söderfasaden av höghus 3 i Hötorgscity kl 11, 12 och 13 vid klart väder den 15 april. I kolumnen till höger ges antalet solbelysta fönster i varje våning.

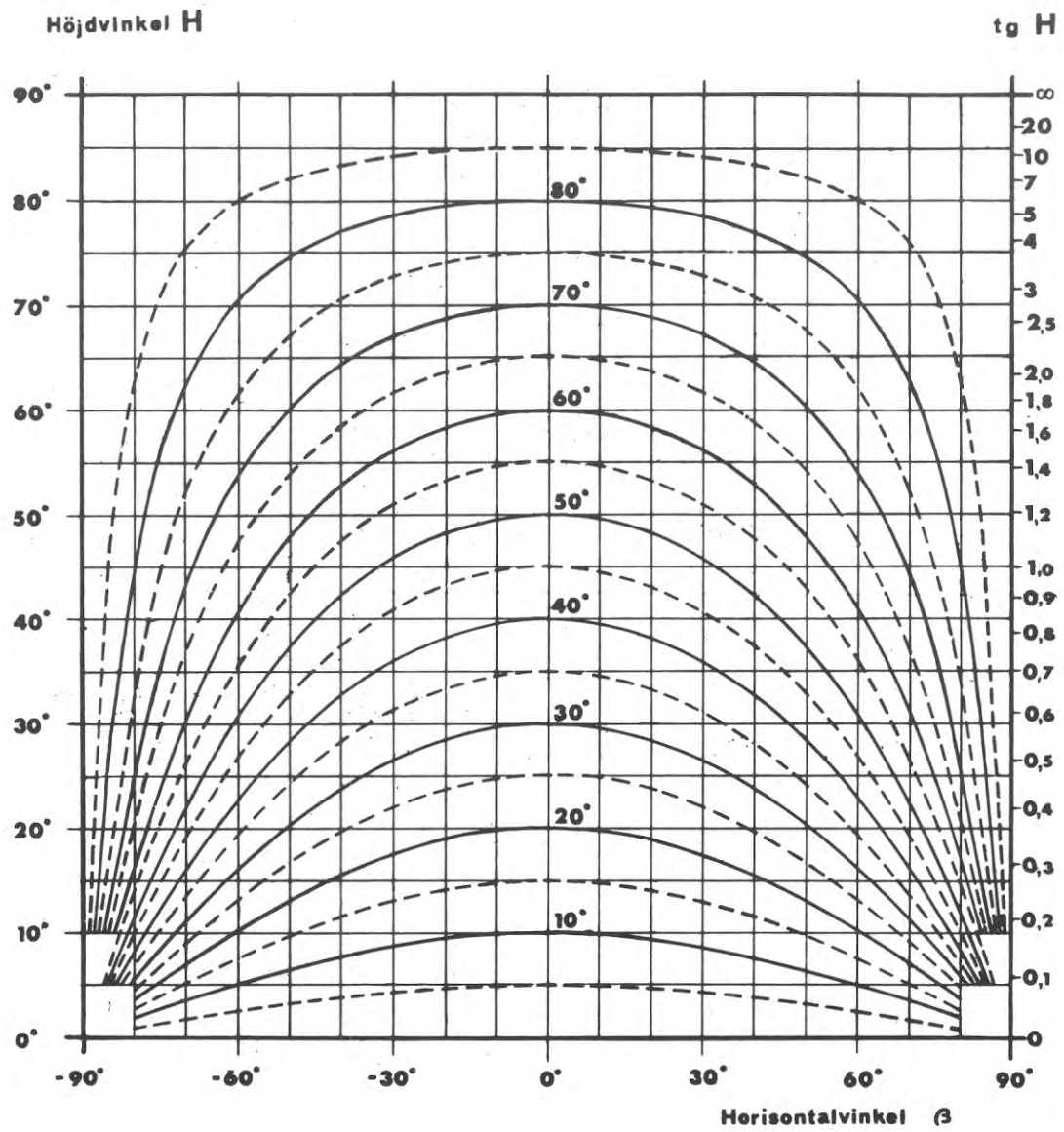


FIG. 2.62a Skärmlinjediagram.

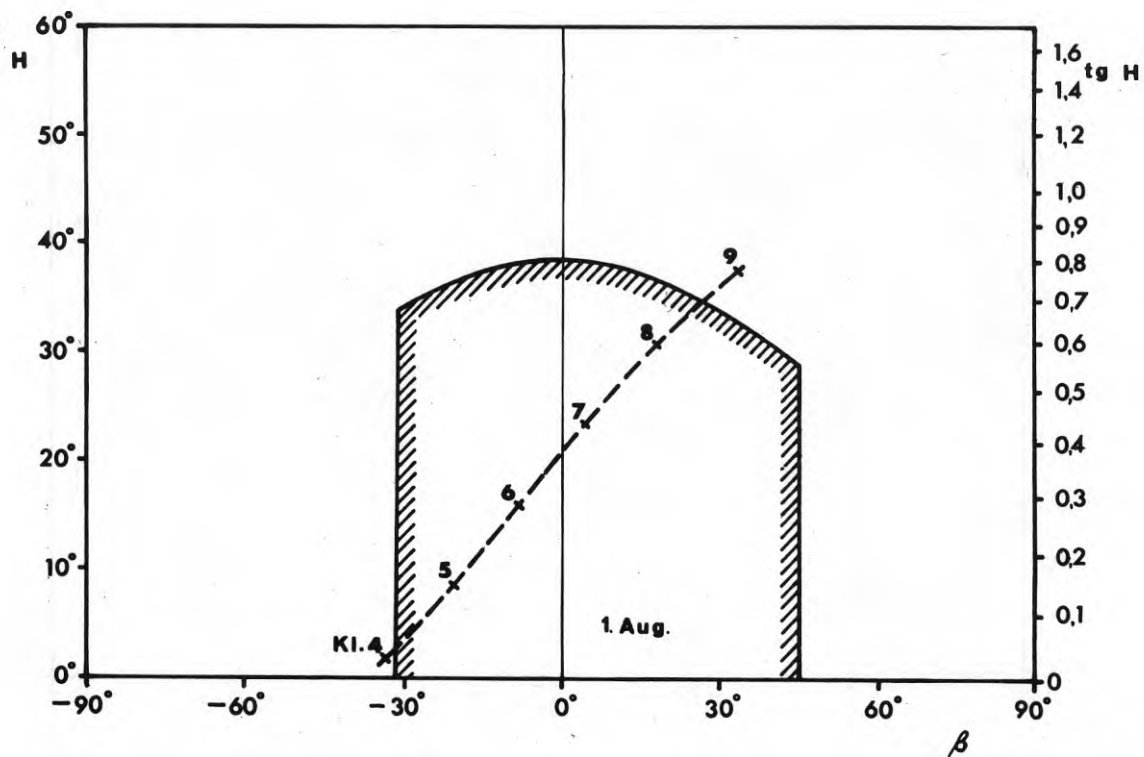


FIG. 2.62b Skärmen i FIG. 2.61e och sollägeskurvan för 1 augusti i Stockholm har ritats in i figuren med hjälp av skärmlinjediagram och sollägesdiagram. Därvid förutsattes att skärmen var belägen rätt i öster sett från punkten P. Av figuren ser man att P ligger i skugga av skärmen ungefär från kl 4.08 till kl 8.33.

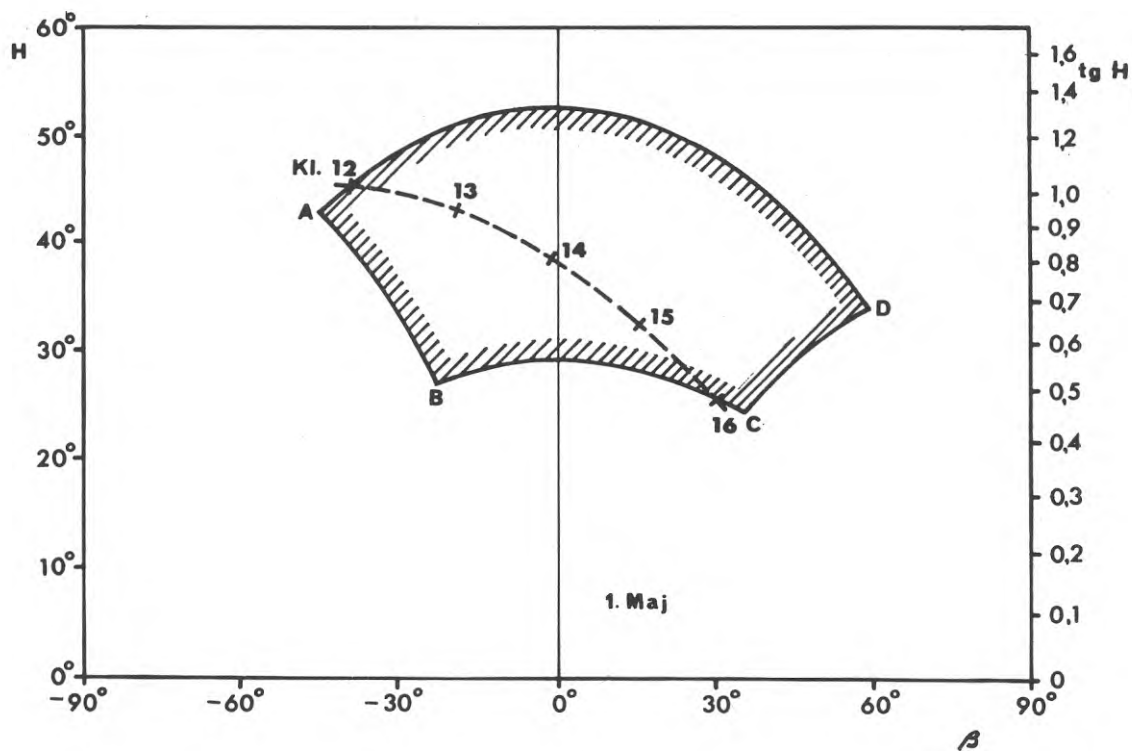


FIG. 2.62c Skärmen i FIG. 2.61f och sollägeskurvan för 1 maj i Stockholm har ritats in i figuren med hjälp av skärmlinjediagram och sollägesdiagram. Därvid förutsattes att linjen PE i FIG. 2.61f var riktad mot sydväst, sett från P mot E. Av figuren ser man att P ligger i skugga av skärmen ungefär från kl 12 till kl 16.

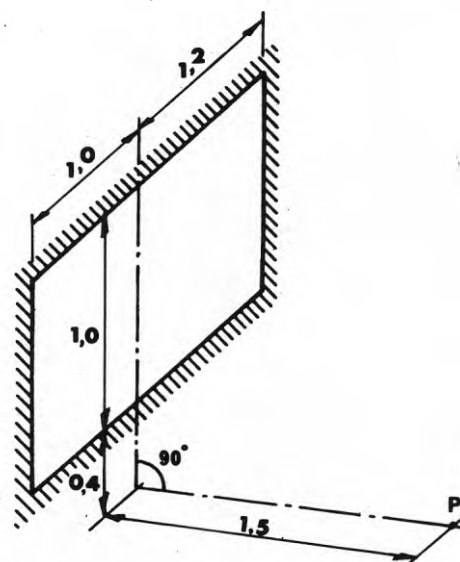


FIG. 2.62d P belägen innanför ett fönster (ex. 5).

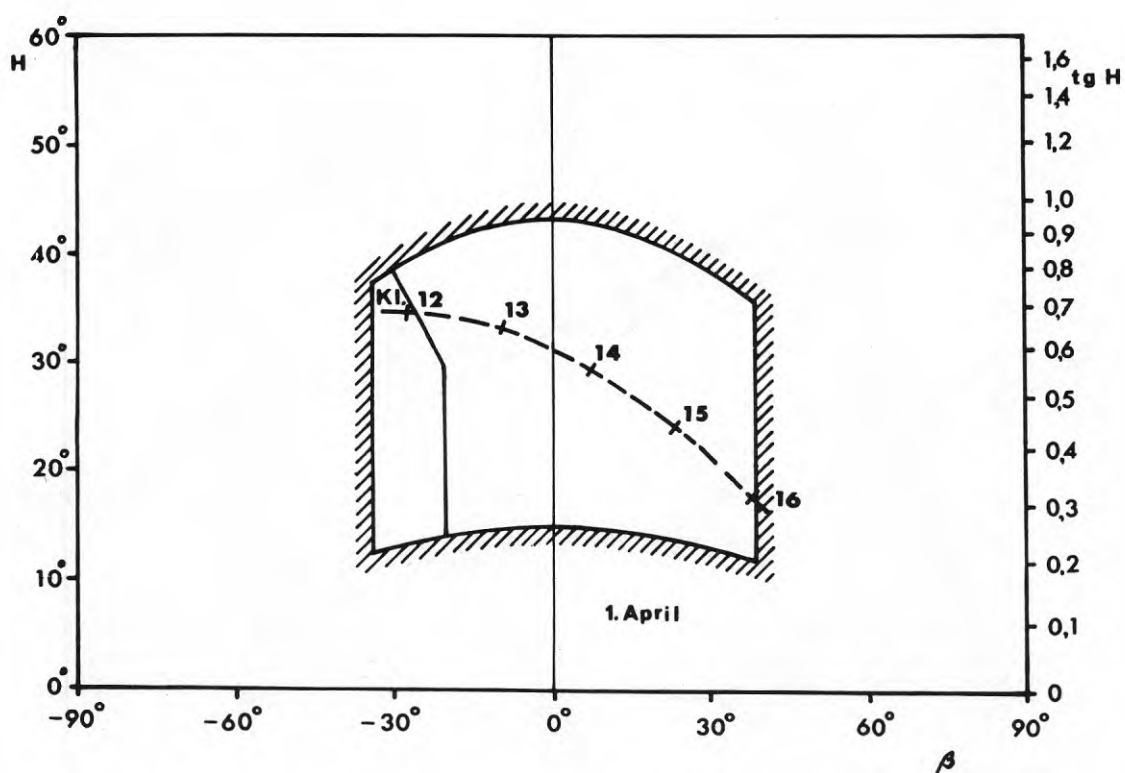


FIG. 2.62e Av figuren, som är ritad med hjälp av skärm-  
linjediagram och sollägesdiagram med data  
i ex. 5 som underlag, ser man att punkten P  
(FIG. 2.62d) är solbelyst från några minu-  
ter över kl 12 till några minuter över  
kl 16.

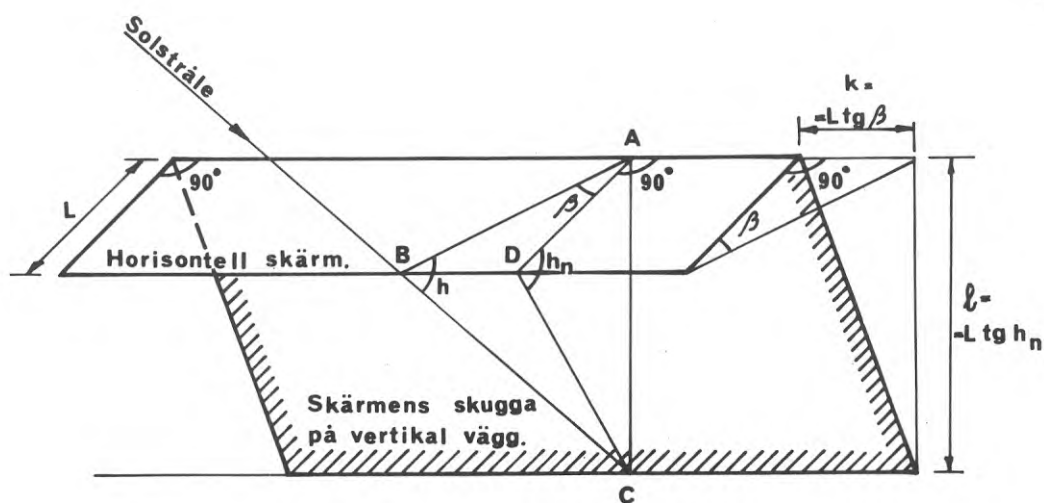


FIG. 2.63a En horisontell skärm ger på vertikal vägg en skugga bestämd av skärmbredden  $L$ , skuggvinkeln  $h_n$  och horisontalvinkeln  $\beta$ .

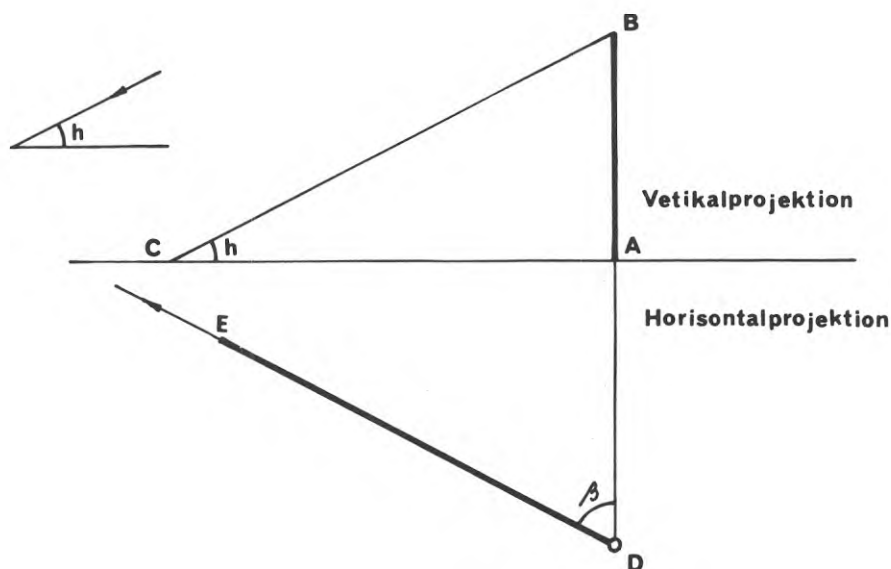


FIG. 2.63b Skuggan av en vertikal stång, då hela skuggan faller på marken.

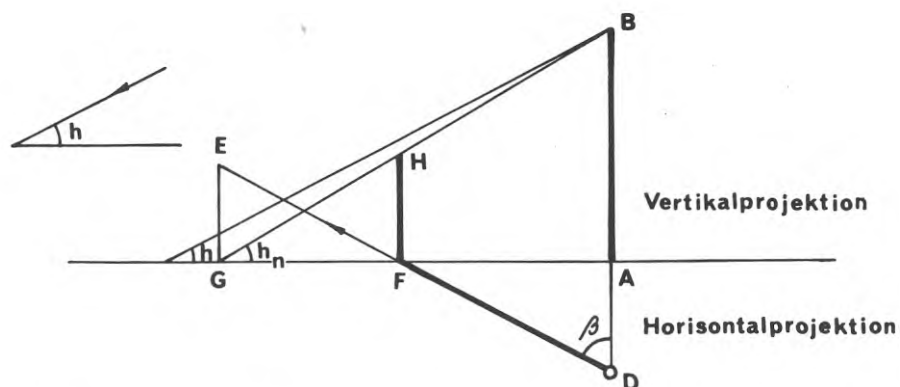


FIG. 2.63c Skuggan av en vertikal stång, då en del av skuggan faller på en vertikal vägg.



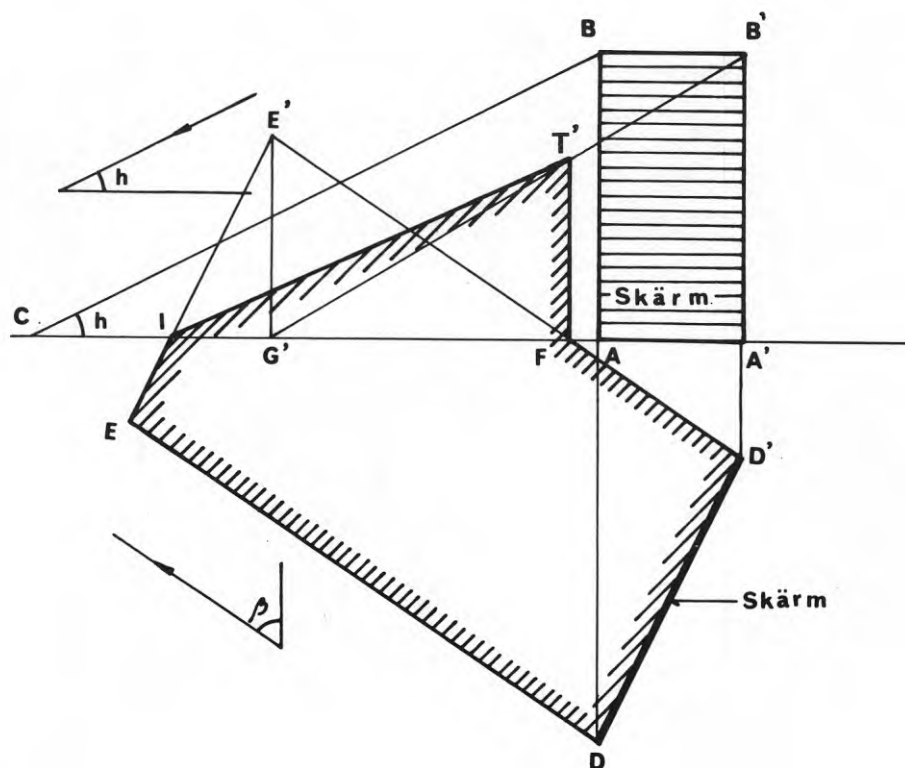


FIG. 2.63d Skuggan på mark och fasad av en skärm med vågrät överkant och lodräta sidokanter.

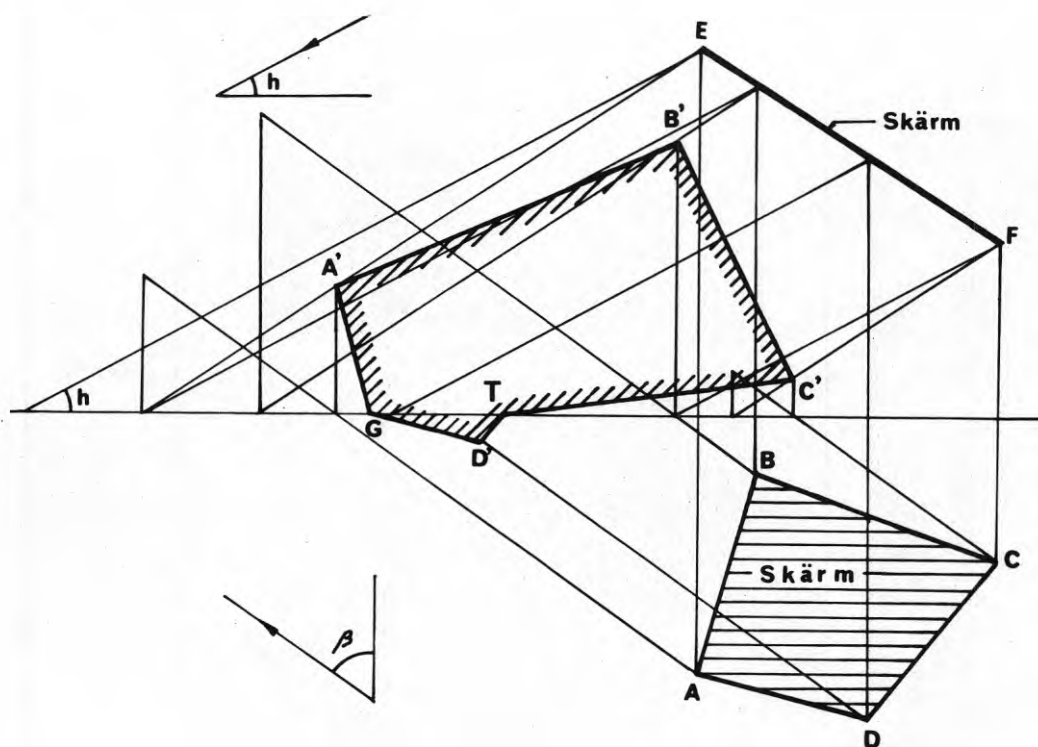


FIG. 2.63e Skuggan på mark och fasad av en lutande skärm.

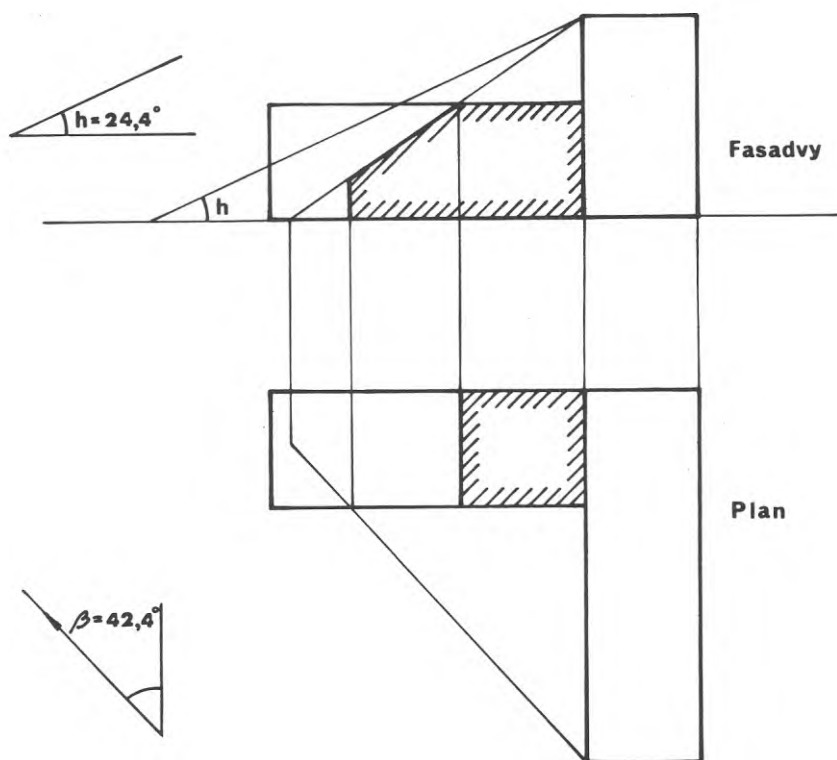


FIG. 2.63f Exempel på hur en del av en vinkelformad byggnad kastar skugga på en annan del (ex. 6).

## KAP. 3 STRÅLNINGSTRANSMISSION GENOM FÖNSTER

## INNEHÅLL

Beteckningar, använda i kap. 3	143
Denominations	146
Captions	149
3.1    Introduktion	156
3.2    Spektral fördelning av strålning från sol och himmel	157
3.21   Praktiskt användbara värden vid transmissionsberäkningar	157
3.22   Samband mellan strålningens spektrala fördelning och dess transmission	158
3.23   Belysningsstyrka och spektral fördelning	159
3.24   Samband mellan ljusets spektrala fördelning och dess transmission	160
3.3    Transmissionsvärden för vanliga fönsterglas	161
3.4    Transmitterad, reflekterad och absorberad monokromatisk strålning vid fönster utan solskydd	162
3.41   Snett infallande stråle	162
3.411  Enkel glasruta	162
3.412  Flera glasrutor	164
3.42   Diffus strålning	166
3.421  Jämnt lysande himmel	166
3.422  Helmulen himmel (CIE-himmel)	166
3.423  Markreflekterad strålning	167
3.43   Sekundärt transmitterad strålningsenergi	167
3.44   Begreppet avskärmningsfaktor	170
3.45   Totalt transmitterad strålningsenergi vid tvåglasfönster enligt datorberäkningar	171
3.451  Transmissionens beroende av rutornas absorption	171
3.452  Transmissionens beroende av värmeöverföringen vid glasytorna	172

3.5	Transmitterad, reflekterad och absorberad strålning vid (persienn-)lamellsystem	174
3.51	Diffust reflekterande lameller	174
3.511	Direkt strålning	174
3.512	Diffus strålning	180
3.513	Jämförelse med amerikanska beräkningsresultat	181
3.52	Speglande lameller	182
3.6	Transmitterad, reflekterad och absorberad strålning vid kombinationer av glas och diffuserande solskydd	183
3.61	Direkt strålning	183
3.62	Diffus strålning	185
3.63	Godtyckligt antal skikt. Datorprogram	185
3.7	Transmitterat solvärme vid frånluftsventilerat fönster	186
3.71	Ekvationer	186
3.711	Värmemotståndet hos oventilerad spalt mellan glas	189
3.712	Konvektiv värmeöverföring i ventilerad spalt mellan glas	190
3.713	Beräkningsgång vid datorberäkning	191
3.714	Frånluftsventilerat fönster utan persienn	192
3.72	Resultat av datorberäkningar	192
3.73	Dimensionslös representation av den sekundära transmissionen	195
3.74	Temperaturförhållanden vid frånlufts-fönster under vintern	195
3.8	Diagram för bestämning av strålning klara dagar genom vertikala fönster med två rutor av vanligt fönsterglas	197
3.81	Direkt solstrålning	197
3.82	Himmelsstrålning	197
3.83	Strålning från sol, himmel och mark	198
3.84	Cirkeldiagram	198
	Tabeller	202
	Figurer	213

## BETECKNINGAR OCH DEFINITIONER ANVÄNDA I KAP 3

- A absorptionsfaktor för direkt strålning, dimensionslös; yta,  $m^2$
- $\bar{A}$  absorptionsfaktor för diffus strålning, dimensionslös
- a absorptionskoefficient,  $m^{-1}$  (definieras i ekv 1.14); absorptionsfaktor hos persiennlamellyta, dimensionslös
- b brytningsvinkel, grader; bredd, m
- $d_h$  hydraulisk diameter, m
- E belysningsstyrka, lux
- F avskärningsfaktor, %  
 $F_1$  betyder totalt transmitterad strålningsenergi och  $F_2$  direkt transmitterad strålningsenergi genom ett fönster i förhållande till totalt transmitterad strålningsenergi genom ett referensfönster bestående av två rutor av vanligt fönsterglas utsatt för samma strålning från sol och himmel. Ur strålningen genom referensfönstret, som erhålles ur tabeller eller diagram, får man också fönstrets luminans i lumen/ $m^2$  genom multiplikation med  $F_3$  och en ljusutbytesfaktor, vars värde är ca 100 lm/W.
- h solhöjd, grader; fönsterhöjd, m
- I strålningsintensitet,  $W/m^2$
- i infallsvinkel, grader
- K ljusutbytesfaktor vid monokromatisk strålning av våglängden  $0,555 \mu m$ , lm/W; totalt transmitterad del av infallande kortvågig strålning, dimensionslös

k	värmeledningstal, $W/m^{2}^{\circ}C$
m	värmemotstånd, $m^{2}^{\circ}C/W$ (FIG. 3.43)
n	brytningsindex, dimensionslös
q	värmeledning, $W/m^{2}$
R	reflexionsfaktor för direkt strålning, dimensionslös
$\bar{R}$	reflexionsfaktor för diffus strålning, dimensionslös
r	reflexionsfaktor vid en yta, dimensionslös
s	glastjocklek, m; avstånd i vertikalled mellan persiennlameller (steghöjd), m
T	transmissionsfaktor för direkt strålning, dimensionslös
$\bar{T}$	transmissionsfaktor för diffus strålning, dimensionslös
t	solbelyst del av persiennlamell, m; temperatur, $^{\circ}C$
w	bredd hos persiennlamell, m
$\alpha =$	$1 - e^{-as}$ absorberad del av direkt strålning vid passage av s m glas, dimensionslös; lutning hos en persiennlamell, grader; värmeövergångstal, $W/m^{2}^{\circ}C$
$\beta$	horisontalvinkel, grader
$\varphi$	vinkelkoefficient, dimensionslös; profilvinkel (skuggvinkel), grader
$\psi$	fördelningskoefficient, dimensionslös

## INDEX ENLIGT FÖLJANDE ANGER ATT STORHETEN GÄLLER:

Sifferindex definieras i FIG. 3.41f, 3.43a, 3.71a

Direkt solstrålning	D
Diffus strålning	d
Belysning	E
Markreflekterad strålning	g
Insidan av ett fönster	i
Direkt transmitterad strålning	T
Strålning polariserad parallellt med infalls- planet	//
Strålning polariserad vinkelrätt mot infalls- planet	⊥
Vinkelrätt mot strålningsriktningen	N
Referensfönster	ref
Utsidan av ett fönster	y

Denominations and definitions used in chap. 3

- A absorptance for direct radiation, dimensionless  
area,  $m^2$
- $\bar{A}$  absorptance for diffuse radiation, dimensionless
- a absorption coefficient,  $m^{-1}$  (defined in equation 1.14); absorptance of a Venetian blind slat surface, dimensionless
- b refraction angle, degrees; width, m
- $d_h$  hydraulic diameter, m
- E illumination, lux
- F shading coefficient of window, %
- $F_1$  denotes the ratio of totally transmitted solar radiant energy through a window, while  $F_2$  is the ratio of directly transmitted solar radiant energy through that window, to the totally transmitted energy through a reference window with double glazing of ordinary window glass exposed to an equal amount of radiation from sun and sky. From the radiation values for the reference window, given in tables or diagrams, it is also possible to get the luminance of the window in lumens/ $m^2$  by multiplying by  $F_3$  and a luminous efficiency factor, the value of which is approximately 100 lm/W.
- h solar altitude, degrees; window height, m
- I radiant flux intensity,  $W/m^2$
- i angle of incidence, degrees



- K luminous efficiency factor for monochromatic radiation with wavelength 0.555  $\mu\text{m}$ ,  $\text{lm/W}$ ; totally transmitted fraction of incident short wave radiation, dimensionless
- k overall heat transfer coefficient (U-value),  $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- m heat resistance,  $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$  (FIG. 3.43)
- n refraction index, dimensionless
- q heat flux,  $\text{W/m}^2$
- R reflectance for direct radiation, dimensionless
- $\bar{R}$  reflectance for diffuse radiation, dimensionless
- r reflectivity of an interface, dimensionless
- s thickness of glass, m; venetian blind slat distance, m
- T transmittance for direct radiation, dimensionless
- $\bar{T}$  transmittance for diffuse radiation, dimensionless
- t portion of slat exposed to sunshine, m; temperature,  $^\circ\text{C}$
- w slat width, m
- $\alpha = 1 - e^{-as}$  absorbed fraction of direct radiation after passing s m of glass, dimensionless; slat angle, degrees; heat transfer coefficient,  $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $\beta$  wall-solar azimuth, degrees
- $\phi$  view factor, dimensionless, profile angle, degrees
- $\psi$  absorption factor, dimensionless

Index as shown in the following indicates that the unit refers to:

Numerical index defined in FIGS. 3.41f, 3.43a, 3.71a

direct solar radiation	D
diffuse radiation	d
illumination	E
ground reflected radiation	g
inside surface of a window	i
direct transmitted radiation	T
radiation polarized parallel to the plane of incidence	//
radiation polarized perpendicular to the plane of incidence	⊥
perpendicular to the ray's direction	N
reference window	ref
outside surface of a window	y

## CAPTIONS

- TAB. 3.2a. Spectral distribution of direct solar radiation at a sun altitude of  $30^{\circ}$  ( $1 \text{ kcal/h} = 1,16 \text{ W}$ ).
- TAB. 3.2b. Spectral distribution in percent of solar radiation and radiation from a clear and an overcast sky, at a sun altitude of  $30^{\circ}$ .
- TAB. 3.2c. Sensitivity and colour perception of the eye, spectral distribution in percent of radiation within the visible range from the sun and from a clear and an overcast sky, at a sun altitude of  $30^{\circ}$ . The product of radiation intensity and eye perception at different wavelenghts.
- TAB. 3.3a. Transmittance of some different kinds of glass, measured with a spectrometer within the spectral range of solar radiation. Transmittance of the same kinds of glass irradiated by the sun and by a clear and overcast sky, calculated according to equation (3.1) and with a spectral distribution according to TAB. 3.2b (thickness of panes between parantheses). Values according to Pleijel.
- TAB. 3.51a. Limit values of the profile angle for the different examples illustrated in FIG. 3.5d.
- TAB. 3.51b. Transmission, reflexion and absorption of a Venetian blind with ratio width of slat to distance between slats  $w/s = 1,2$  and diffusely reflecting slats, at varying slat angle,  $\alpha$ , absorptance of slat surface,  $a$ , and profile angle  $\varphi$ .

TAB. 3.51c. Transmission, reflexion and absorption of diffuse radiation, evenly distributed over and under the horizon, of a Venetian blind with varying slat angle,  $\alpha$ , and absorptance of slat surface,  $a$ . Slats diffusely reflecting.  $w/s = 1.2$ .

FIG. 3.2a. Spectral distribution of direct solar radiation at a sun altitude of  $30^\circ$ , calculated from Gage's graphs for dry and moist days, according to Pleijel (1958). (1 kcal/h = 1.16 W.)

FIG. 3.2b. Spectral distribution of direct solar radiation at a sun altitude of  $30^\circ$  calculated from Moon's "standard graph", according to Pleijel (1958). (1 kcal/h = 1.16 W.)

FIG. 3.41a. The path of radiation in a glass pane.

FIG. 3.41b. Transmission through a glass pane in both directions of polarization, and the average value as a function of the angle of incidence. Glass characteristics:  $a \cdot s = 0.1$ ,  $n = 1.52$ .

FIG. 3.41c. Transmission, reflexion and absorption of a standard window pane ( $a \cdot s = 0.07$ ;  $n = 1.52$ ) as a function of the angle of incidence.

FIG. 3.41d. Transmission, reflexion and absorption for a heat absorbing glass ( $a \cdot s = 0.4$ ;  $n = 1.52$ ).

- FIG. 3.41e. Transmission, reflexion and absorption of perpendicular radiation as a function of the  $a \cdot s$  parameter.
- FIG. 3.41f. A ray's path in a 2-glaze window.
- FIG. 3.41g. Direct transmission through a 2-glaze window ( $a \cdot s = 0.2$  for each of the two panes) as a function of the angle of incidence, with and without account for polarization of radiation. When the angle of incidence is less than  $40^\circ$  the difference is negligible.
- FIG. 3.42a. Transmission, reflexion and absorption of evenly distributed diffuse radiation as a function of the parameter  $a \cdot s$ .
- FIG. 3.43a. Secondary heat transmission of a 2-glaze window.
- FIG. 3.44a. Direct and total radiation transmission through 2-glaze window with standard glass ( $a \cdot s = 0.07$ ) and through a combination of exterior heat absorbing glass and interior standard glass.
- FIG. 3.45a. Direct and total transmission, expressed in shading coefficients  $F_2$  and  $F_1$ , through a 2-glaze window with one heat absorbing glass as a function of parameter  $a \cdot s$  for the heat absorbing glass when this is a) exterior and b) interior. The standard pane has  $a \cdot s = 0.1$ .
- FIG. 3.45b. Effect of varying outside thermal resistance on the shading coefficient  $F_1$  of a 2-glaze window with exterior heat absorbing glass.

- FIG. 3.45c. Effect of varying inside thermal resistance on shading coefficient  $F_1$  for a 2-glaze window with exterior heat absorbing glass.
- FIG. 3.45d. Effect of varying thermal resistance between the glasses on shading coefficient  $F_1$  of a 2-glaze window with exterior heat absorbing glass.
- FIG. 3.51a. Definition of angles and reference numbers of surfaces for deriving the optical characteristics of Venetian blinds.
- FIG. 3.51b. Explanation of designations used in equation (3.31).
- FIG. 3.51c. Explanation of designations used in equation (3.32).
- FIG. 3.51d. Illustration of the 6 different cases that must be distinguished in calculating the optical characteristics of Venetian blinds.
- FIG. 3.51e. Transmission and absorption as a function of the profile angle  $\varphi$  of a Venetian blind with diffusely reflecting slats, absorbing 40% of incoming radiation ( $a = 0.4$ ) at slat angles  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .  
Ratio  $w/s = 1.2$ .
- FIG. 3.51f. Transmission, reflexion and absorption as a function of the profile angle  $\varphi$ , slat angle  $\alpha = 45^\circ$  and slat absorbtance  $a = 0.4$ .
- FIG. 3.51g. Transmission, reflexion and absorption as a function of slat surface absorbtance for a Venetian blind with slat angle  $\alpha = 45^\circ$ .  
Profile angle  $\varphi = 35^\circ$ .

FIG. 3.51h. Transmission, reflexion and absorption of evenly distributed sky radiation as a function of the absorbance of the slat surface for a Venetian blind with slat angle  $\alpha = 45^\circ$ .

FIG. 3.51i. Transmission, reflexion and absorption of evenly distributed diffuse radiation, reflected from the ground, as a function of the absorbance of the slat surface for a Venetian blind with slat angle  $\alpha = 45^\circ$ .

FIG. 3.51j.

FIG. 3.52a. Transmission, reflexion and absorption as a function of the profile angle,  $\varphi$ , for a Venetian blind with specular reflecting slats and for a Venetian blind with diffusely reflecting slats.  $\alpha = 45^\circ$ ,  $a = 0.4$ ;  $w/s = 1.2$ .

FIG. 3.61a. Path of a ray between two layers; the first one is transparent and the second one diffusing.

FIG. 3.61b. Path of a ray between two layers: the first one diffusing and the second one transparent.

FIG. 3.63a. Direct and total transmission through a window with varying number of glass layers, according to computer calculations.

FIG. 3.71a. Designations used in thermal balance equations for exhaust air windows.  $A_1$  here designates the absorbance in layer 1 with due attention to the effect of other layers (according to 3.61 =  $A_{1(234)}$ ).

The same thing goes for the other layers. These variables can be calculated with the computer program described in 3.63.

- FIG. 3.72a. Effect on transmission of solar radiation in exhaust air windows at varying air-flow when the exterior pane has a growing heat absorbing capacity, and the other panes are clear.
- FIG. 3.72b. Effect on transmission of solar radiation in exhaust air windows at varying air-flow when the second pane has a growing heat-absorbing capacity and the other panes are clear.
- FIG. 3.72c. Effect on transmission of solar radiation in exhaust air windows at varying air-flow when the second pane has a growing heat absorbing capacity and the other panes are clear.
- FIG. 3.72d. Effect on transmission of solar radiation through exhaust air windows at varying air-flow when the three panes are of the same quality and have a growing absorbing capacity.
- FIG. 3.72e. The effect of air-flow on transmission of solar radiation through exhaust air windows, having clear panes and with varying position of a heat absorbing pane.
- FIG. 3.73a. Shading coefficient  $F_1$  for two different windows as a function of the parameter  $Re \cdot \frac{h}{d}$ . Identical direct transmission for the two windows.
- FIG. 3.74a. Comparison between measured and calculated differences of temperature of an exhaust air window without Venetian blind under winter conditions.
- FIG. 3.74b. Comparison between measured and calculated temperatures in an exhaust air window without blind.



FIG. 3.74c. Calculated differences of temperature between room-air and the inner window-pane of 2-glaze and 3-glaze exhaust air windows with varying air-flow.

FIG. 3.8a. Diagram from Swedish Building Research Report R19:1969. Marked on the diagram is the part of 24-hour radiation in Stockholm, May 15, that has been transmitted through a standard 2-glaze window in clear weather until 3 p.m. Free horizon and window towards the south-west.

### 3. STRÅLNINGSTRANSMISSION GENOM FÖNSTER

#### 3.1 Introduktion

När det gäller solstrålningens inverkan på inomhustemperaturen dominerar i allmänhet den del som transmitteras genom fönstren helt över den strålning som absorberas i byggnadens ytterytor. Solstrålningens transmission genom fönster ägnas därför här ett detaljerat studium.

Sol- och himmelsstrålningen är sammansatt av strålning med olika våglängder. Transmission och reflexion hos de skikt som ingår i ett fönster har olika värden vid olika våglängder.

För att förenkla beräkningarna brukar man använda medelvärden vägda med hänsyn till strålningens våglängdsfördelning för att ange fönstrets optiska egenskaper och använda dessa som om strålningen vore monokromatisk, se Parmelee (1945). Sådana medelvärdesberäkningar kan också göras för den synliga delen av spektrum. Om vid medelvärdesberäkningen hänsyn tas till ögats känslighet vid olika våglängder får man värden för synligt ljus.

I detta avsnitt behandlas de grundläggande optiska lagarna för glas. En teoretisk beräkning av de optiska egenskaperna hos ett lamellsystem (persienn) redovisas. Vidare redogöres för beräkningen av kombinationer av olika skikt av glas eller solskydd. Även frånluftsfönster behandlas. I samband med beräkningarna har ett flertal datorprogram utarbetats. Användningen av de program som kan anses vara av allmänt intresse beskrivs i BIL. III.

### 3.2 Spektralfördelning av strålning från sol och himmel

#### 3.21 Praktiskt användbara värden vid transmissionsberäkningar

Endast en del av den strålning från sol och himmel som träffar en glasruta transmitteras. Transmissionen varierar starkt med våglängden. Vid transmissionsberäkningar måste man därför känna till hur strålningsenergin är fördelad på olika våglängder.

Praktiskt användbara värden på den spektrala fördelningen avseende strålning från såväl sol som klar och mulen himmel har sammanställts av Pleijel (Pleijel, 1958). Värdena avser instrålad energi i kcal/h per m<sup>2</sup> av en mot strålningen vinkelrät yta inom våglängdsintervall av storleken 0,1  $\mu$ m.

Värdena för solstrålning, se TAB. 3.2a, erhöll Pleijel genom att bearbeta dels en undersökning av H P Gage rörande strålning från solen vid 30° solhöjd under en dag med låg och en dag med hög luftfuktighet (Gage, 1939), dels P Moons "standardkurva" för den spektrala fördelningen för denna solhöjd (Moon, 1940). Denna kurva gäller vid en atmosfär med hög luftfuktighet, se 1.212.

För åskådlighetens skull ges dessa värden även i FIG. 3.2a och 3.2b. Av FIG 3.2a ser man hur hög luftfuktighet sänker intensiteten i det infraröda området.

Den spektrala fördelningen hos solstrålningen varierar både med luftfuktigheten och solhöjden. Vid tekniska beräkningar av transmissionen genom fönster är det emellertid motiverat att räkna med en konstant fördelning. För svenska förhållanden är värdena enligt Gage för torr atmosfär lämpliga. Den totala solinstrålningen är då 711 kcal/m<sup>2</sup>h, samma värde som Lunelunds årsmedelvärde vid 30° solhöjd, 827 W/m<sup>2</sup>, se TAB. 1.21b. Ungefär vid 30° solhöjd får transmitterad strålning genom ett vertikalt fönster sitt maximala värde.

Den spektrala fördelningen hos strålningen från klar och mulen himmel beräknade Pleijel ur primäruppgifter från Gage (1939), Taylor & Kerr (1941), Hess (1939) och Hull (1954), varvid hänsyn togs även till Lunelunds mätningar (Lunelund, 1936). Från klar respektive mulen himmel faller strålningen inom våglängdsområdena  $0,25-1,05 \mu\text{m}$  och  $0,25-1,45 \mu\text{m}$  vid  $30^\circ$  solhöjd.

I TAB. 3.2b anges den spektrala fördelningen på olika våglängdsområden av strålningen från solen, från klar himmel och från mulen himmel vid  $30^\circ$  solhöjd, uttryckt i % av den totala instrålningen, efter Pleijels värden (för solstrålningen har de värden använts, som visas i TAB. 3.2a för torr atmosfär enligt Gage).

### 3.22 Samband mellan strålningens spektrala fördelning och dess transmission

Antag att strålning med intensiteten  $I_{\text{tot}}$   $\text{W/m}^2$  träffar ett fönster. Då man vill beräkna hur stor del av denna strålning som transmitteras, dvs hur stor strålningens transmissionsfaktor  $T$  är, måste man ta hänsyn till att transmissionen är olika vid olika våglängder. Fallor  $P_\lambda$  % av strålningen  $I_{\text{tot}}$  inom ett våglängdsområde med den genomsnittliga våglängden  $\lambda$  för vilken transmissionsfaktorn är  $T_\lambda$ , transmitteras inom detta område  $T_\lambda P_\lambda I_{\text{tot}}$   $\text{W/m}^2$ . Totalt transmitterad strålning blir summan av transmitterad strålning inom alla våglängdsområden, dvs  $\Sigma T_\lambda P_\lambda I_{\text{tot}}$   $\text{W/m}^2$ , och man får

$$T = \Sigma T_\lambda P_\lambda \quad (3.1)$$

Transmissionsfaktorn  $T$  är olika för strålning från solen, från klar himmel och från mulen himmel eftersom  $P_\lambda$  inte är lika.

Vid ett fönster exponerat för strålning från sol och klar himmel gäller att transmitterad strålning är

$$I_T = I_D T_D + I_d T_d \quad (3.2)$$

där  $T_D$  och  $T_d$  bestämmas enligt ekv. (3.1), och man får

$$T = \frac{I_D T_D + I_d T_d}{I_D + I_d} \quad (3.3)$$

### 3.23 Belysningsstyrka och spektralfördelning

TAB 3.2c visar variationen med våglängden hos ögats känslighet och färgintryck (Ingelstam & Sjöberg, 1967). Ögats maximala känslighet, som erhålles vid  $\lambda = 0,555 \mu\text{m}$ , har satts lika med 1. Tabellen visar också strålningens procentuella fördelning inom synligt område, erhållen på grundval av Pleijels värden (Pleijel, 1958), samt produkten av strålningsintensitet och ögats känslighet vid olika våglängder.

Det kan vara intressant att notera att strålningens intensitetsmaximum inträffar vid ca  $0,65 \mu\text{m}$  för solstrålning, ca  $0,46 \mu\text{m}$  för strålning från klar himmel och ca  $0,50 \mu\text{m}$  för strålning från mulen himmel. Dessa våglängder ligger nära och på ömse sidor om den våglängd för vilken det ljusadapterade ögat har störst känslighet.

Får man belysningsstyrkan  $K$  lux vid monokromatisk strålning med våglängden  $0,555 \mu\text{m}$ , då strålningens intensitet är  $1 \text{ W/m}^2$ , blir belysningsstyrkan  $KV_\lambda$  lux vid en annan våglängd  $\lambda$ , om man med  $V_\lambda$  betecknar ögats känslighet vid denna våglängd.

Antag att  $P_\lambda$  % betecknar den del av den synliga strålningen  $t$  ex från solen som faller inom ett visst våglängdsintervall ( $0,02 \mu\text{m}$  i TAB. 3.2c) och att  $\sigma$  är den del av hela strålningseffekten  $I_{\text{tot}}$   $\text{W/m}^2$  som faller inom det synliga området. Strålningen ger då belysningen

$$E = I_{\text{tot}} \sigma K V_\lambda P_\lambda / 100 \quad (3.4)$$

Vill man exempelvis bestämma hur stark belysning solen ger vid  $30^\circ$  solhöjd mot en yta vinkelrätt mot strål-

ningsriktningen kan man utgå från Lunelunds årsmedelsvärde på strålningsintensiteten,  $827 \text{ W/m}^2$ . Enligt Pleijel (1958) är  $K = 660 \text{ lumen/W}$ . Med den spektrala fördelning som gäller enligt Pleijel faller  $385 \text{ W/m}^2$  inom det synliga området, dvs  $\sigma = 0,465$ . Enligt TAB. 3.2c är  $\sum V_{\lambda} P_{\lambda} = 29,85$ . Ekv. (3.4) ger då belysningen, uttryckt i lux,

$$E = 827 \cdot 0,465 \cdot 660 \cdot 0,2985 = 75800$$

Förhållandet mellan ljus och strålningsenergi blir här  $75800/827 = 91,7$ , vilket överensstämmer med det värde på ljusutbytesfaktorn för solstrålning,  $92 \text{ lm/W}$ , som anges i TAB. 7.21a.

### 3.24 Samband mellan ljusets spektrala fördelning och dess transmission

Belysningen av transmitterad strålning är

$$E_T = I_{\text{tot}} \sigma K \sum T_{\lambda} V_{\lambda} P_{\lambda} / 100 \quad (3.5)$$

Definieras en transmissionsfaktor för belysning enligt  $T_E = E_T/E$  ger ekv. (3.4) och (3.5)

$$T_E = \sum T_{\lambda} V_{\lambda} P_{\lambda} / \sum V_{\lambda} P_{\lambda} \quad (3.6)$$

Vid transmitterad strålning från sol och klar himmel får man transmissionsfaktorn

$$T_E = (E_D T_{DE} + E_d T_{dE}) / (E_D + E_d) \quad (3.7)$$

där belysningen från solen,  $E_D$ , och belysningen från himlen,  $E_d$ , beräknas enligt ekv. (3.4) och motsvarande transmissionsfaktorer  $T_{DE}$  och  $T_{dE}$  beräknas enligt ekv. (3.6).

### 3.3 Transmissionsvärden för vanliga fönsterglas

Det vanliga glasets förmåga att släppa igenom strålning är mycket liten i det ultravioletta områdets yttersta del, men stiger kraftigt i den mera långvägiga delen. I det synliga området är transmissionen ca 90 %. I det infraröda områdets kortvägigaste del sjunker transmissionen åter något på grund av ökad absorption. Denna är beroende av glasets järnhalt ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). I det synliga området är järnhaltens inverkan liten vid vanligt glas, men man får en mer eller mindre framträdande blågrön färg hos glasmassan. Järnhalten är vanligen 0,05-0,15 %. Glaset brukar kallas färglöst om järnhalten är mycket liten, 0,01-0,02 %. Är järnhalten hög absorberas mycket av strålningsenergin, och glaset kallas då värmeabsorberande. Transmissionen sjunker starkt vid våglängden 2,8  $\mu\text{m}$  (utanför solstrålningens spektrala område), och är 0 vid våglängder som är större än 4,5  $\mu\text{m}$ .

Transmissionen mäts med spektrometer i riktning vinkelrätt mot glasytorna (sådana mätningar kan utföras t ex vid Statens Provningsanstalt). I andra riktningar gäller andra värden, eftersom absorptionen i glasmassan och reflexionen vid ytorna då blir annorlunda.

I TAB. 3.3a anges värden på transmissionen för fyra olika glastyper. Transmissionsfaktorerna för glastyp 1, ett belgiskt glas "Univerbel", kan anses som genomsnittsvärden för de vanligaste fönsterrutorna. Typerna 2 och 3, tillverkade av Emmaboda Glasverk, är representativa för glas med relativt låg halt järnoxid. Typ 4, från den nu nedlagda glastillverkningen vid Oxelösunds Järnverk, håller relativt hög halt järnoxid. Värdena för glastyp 1 har hämtats från Pleijel (1958), värdena för 2-4 från Pleijel (1961).

### 3.4 Transmitterad, reflekterad och absorberad monokromatisk strålning vid fönster utan solskydd

#### 3.41 Snett infallande stråle

##### 3.411 Enkel glasruta

När en stråle träffar en homogen glasruta uppdelas den i en transmitterad, en reflekterad och en absorberad del, se FIG. 3.41a.

Reflexionen vid den första begränsningsytan kan beräknas med hjälp av Fresnels formler, se 1.3.

Den strålning som inte reflekteras vid ytan fortsätter in i glaset där den avtar i styrka under vägen. Hur mycket som därvid absorberas beror på glasets absorptionskoefficient  $a$  samt på den sträcka som strålen passerat. Förloppet beskrivs av Beers lag, se 1.132.

Om strålningen infaller med vinkeln  $i^{\circ}$  och glastjockleken är  $s$  m absorberas

$$\alpha = (1 - r) \cdot (1 - e^{-a \cdot s \cdot \frac{n}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}}) \quad (3.8)$$

$r$  beräknas ur Fresnels formler och har sålunda olika värden i de båda polarisationsriktningarna, vilket alltså även gäller  $\alpha$ .  $n$  är glasets brytningsindex.

När strålen når den andra glasytan reflekteras åter en del. Denna del i sin tur försvagas genom passagen i glasmassan, reflekteras åter osv.

Reflexionerna avtar som en geometrisk serie. Summeras denna erhålles:

$$R = r + \frac{r(1-r)^2(1-\alpha)^2}{1-r^2(1-\alpha)^2} \quad (3.9)$$



På liknande sätt erhålles absorptionen och transmissionen.

$$A = \frac{\alpha(1-r) \cdot (1+r(1-\alpha))}{1-r^2(1-\alpha)^2} \quad (3.10)$$

$$T = \frac{(1-r^2)(1-\alpha)}{1-r^2(1-\alpha)^2} \quad (3.11)$$

Beräkningarna genomföres i båda polarisationsriktningarna, varefter det aritmetiska medelvärdet för var och en av storheterna ger den resulterande storheten:

$$T = \frac{T_{//} + T_{\perp}}{2}$$

$$R = \frac{R_{//} + R_{\perp}}{2}$$

$$A = \frac{A_{//} + A_{\perp}}{2}$$

I var och en av polarisationsriktningarna liksom för medelvärdena gäller:

$$T + R + A = 1 \quad (3.12)$$

FIG. 3.41b visar variationen med infallsvinkeln hos transmissionen i resp polarisationsriktning samt medelvärdet. Figuren gäller ett glas med  $a \cdot s = 0,1$  ( $T_N = 0,83$ ), se nedan.

Genom ekvationerna ovan karakteriseras ett homogent glas av två parametrar, brytningsindex  $n$  och produkten  $a \cdot s$ . Ett tunt, mörkt glas får alltså samma egenskaper som ett tjockt, ljus glas.

Ekvationerna ovan har programmerats i ALGOL och beräkningar för olika värden på  $a \cdot s$  har gjorts. Brytningsindex varierar normalt litet och har satts till 1,52,

se Parmelee (1945). Beräkningsresultat framgår av FIG. 3.41c och 3.41d.

FIG. 3.41e ger sambandet mellan  $T$ ,  $R$  och  $A$  vid vinkelrätt infall och  $a \cdot s$ . För vanligt fönsterglas gäller normalt för solstrålning att  $a \cdot s = 0,07$ , motsvarande  $T_N = 0,86$ . Tjockleken brukar vara ca 3 mm. Om denna fördubblas blir  $a \cdot s = 0,14$ . Enligt figuren sjunker då  $T_N$  till 0,80,  $A_N$  ökar från 0,07 till ca 0,13. Reflexionen förblir i det närmaste oförändrad.

### 3.412 Flera glasrutor

När två glasrutor placeras parallellt kommer de att påverka varandra genom upprepade reflexioner sinsemellan. Om de två glasen var och ett karakteriseras av  $T_1$ ,  $R_1$ ,  $A_1$  resp  $T_2$ ,  $R_2$ ,  $A_2$  får man för båda glasen tillsammans transmissionen

$$T_{12} = \frac{T_1 T_2}{1 - R_1 R_2} \quad (3.13)$$

reflexionen

$$R_{12} = R_1 + \frac{T_1^2 \cdot R_2}{1 - R_1 \cdot R_2} \quad (3.14)$$

och absorptionen i skikt 1 under inverkan av skikt 2

$$A_{1(2)} = A_1 \left( 1 + \frac{T_1 R_2}{1 - R_1 \cdot R_2} \right) \quad (3.15)$$

samt absorptionen i skikt 2

$$A_{1(2)} = \frac{T_1 \cdot A_2}{1 - R_1 R_2} \quad (3.16)$$

Beräkningarna görs för båda polarisationsriktningarna varefter medelvärdet beräknas. Om polarisationen för-

summas uppstår vid olika infallsvinklar ett fel vars storlek framgår av FIG. 3.41g. Figuren gäller två glas med  $a \cdot s = 0,2$ .

Vid beräkning gällande tre eller flera glasrutor får man successivt kombinera olika skikt så att beräkningarna kan utföras efter samma principer som för två skikt.

För tre skikt blir beräkningsgången följande:

De tre skikten var för sig karakteriseras genom index 1, 2 och 3.

Först slås skikten 1 och 2 tillsammans till det fiktiva skiktet 12.

$T_{12}$  och  $R_{12}$  beräknas ur ekv. (3.13) och (3.14). Med hjälp av ekv. (3.15) och (3.16) fås  $A_{12} = A_{1(2)} + A_{(1)2}$ .

Därefter görs en beräkning för skikten 12 och 3:

$$T_{123} = \frac{T_{12} T_3}{1 - R_{21} R_3}$$

$$\text{där } R_{21} = R_2 + \frac{T_2^2 \cdot R_1}{1 - R_1 R_2}$$

Därefter fås

$$A_{12(3)} = A_{12} \left( 1 + \frac{T_{12} \cdot R_3}{1 - R_{21} R_3} \right)$$

$$A_{(12)3} = \frac{T_{12} \cdot A_3}{1 - R_{21} R_3}$$

Härmed är transmissionen genom de tre skikten samt absorptionen i skikt nr 3 under inverkan av 1 och 2 beräknade. För att få absorptionen i skikt nr 1 görs en sammanslagning av skikten 2 och 3 till det fiktiva skiktet 23. Därefter kan  $A_{1(23)}$  beräknas enligt prin-

cipen för två skikt. Absorptionen i skikt nr 2 fås antingen ur

$$A_{(1)2(3)} = A_{12(3)} - A_{1(23)} \text{ eller}$$

$$A_{(1)2(3)} = A_{(1)23} - A_{(12)3}$$

Detta beräkningsförfarande kan utvecklas till flera skikt. Beräkningsarbetet växer emellertid snabbt med antalet. Det ALGOL-program som utarbetats för dessa beräkningar och som beskrivs i 3.6, tillåter i princip ett godtyckligt antal skikt.

### 3.42 Diffus strålning

#### 3.421 Jämnt lysande himmel

Vid beräkning av transmissionen av diffus strålning indelas himlen i ett antal lika delar inom området  $0 < \alpha < 90^\circ$ ,  $0 < \beta < 90^\circ$ . Medelvärde av transmissionsfaktorn för varje del utgör det sökta värdet.

FIG. 3.42a visar med dator beräknade värden på transmission, reflexion och absorption för en enkel glasruta som funktion av parametern  $a \cdot s$ . En jämförelse med motsvarande värden för vinkelrätt infallande direkt strålning, FIG. 3.41e, visar att diffus strålning transmitteras i lägre grad, reflexionen är större, medan absorptionen är ungefär densamma. Två rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) transmitterar 0,623 av diffus strålning.

I allmänhet är transmissionsfaktorn för jämnt fördelad diffus strålning ungefär densamma som för direkt strålning vid infallsvinkeln  $59^\circ$ .

#### 3.422 Helmulen himmel (CIE-himmel)

Vid mulen himmel brukar man räkna med en fördelning av himmelsstrålningen enligt CIE, ekv (7.8). I denna ek-

vation tas hänsyn till markreflexionens storlek. En beräkning med markreflexionen 25 % av transmissionen genom ett tvåglasfönster av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) gav värdet 0,595, ett lägre värde än för jämnt lysande himmel (0,623).

### 3.423 Markreflekterad strålning

Om marken framför ett fönster antages bestå av en oändlig, diffust reflekterande yta gäller samma transmissionsfaktor som vid jämnt lysande himmel.

### 3.43 Sekundärt transmitterad strålningsenergi

Till den direkta transmissionen  $T$  adderar sig den indirekta, eller sekundära transmissionen, utgörande den del av den i skikten absorberade strålningsenergin som går inåt. Denna värmetransport uppkommer genom att den absorberade strålningen värmer glasrutorna. Den sekundära transmissionen sker sålunda genom långvågig strålning och konvektion. Storleken avgörs förutom av absorptionen i glaset av de värmemotstånd som råder vid glasytorna. Summan av direkt och sekundär transmission kallas total transmission.

Med hjälp av FIG. 3.43a kan följande ekvation uppställas:

För värmeflödena gäller

$$q_1 = \frac{1}{m_y} (t_1 - t_1) \quad (3.17)$$

$$q_2 = \frac{1}{m_f} (t_1 - t_2) \quad (3.18)$$

$$q_{\text{sek}} = \frac{1}{m_i} (t_2 - t_i) \quad (3.19)$$

Av kontinuitetsskäl gäller också

$$q_2 = q_1 + A_{1(2)} \quad (3.20)$$

$$q_{\text{sek}} = q_2 + A_{(1)2} \quad (3.21)$$

Ur dessa ekvationer elimineras  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $t_1$  och  $t_2$  och den sekundära transmissionen fås som

$$q_{\text{sek}} = \frac{t_1 - t_i}{m_{\text{tot}}} + A_{1(2)} \cdot \frac{m_y}{m_{\text{tot}}} + A_{(1)2} \cdot \frac{m_y + m_f}{m_{\text{tot}}} \quad (3.22)$$

Den första termen avser värmeflödet uppkommet av temperaturskillnaden ute-inne, de övriga bidrag från absorberad solstrålning i skikt 1 resp 2. Tydligt kan man vid beräkningen av den sekundära transmissionen av solstrålning enligt ekv (3.22) sätta  $t_1 = t_i$ , då endast de två sista termerna utgör bidrag från solen. Värmetransporten på grund av temperaturskillnaden ute-inne kan sedan beräknas på vanligt sätt och överlagras på värmetransporten härrörande från absorberad solstrålning.

Ovanstående härledning kan göras för flera skikt. Den inåtgående delen av den i ett skikt absorberade strålningen blir alltid

$$\frac{m_{\text{utåt}}}{m_{\text{tot}}} \cdot A_{\text{skikt}}$$

där  $m_{\text{utåt}}$  är värmemotståndet från skiktet till uteluft.

Den totala transmissionen av solstrålning för två glas fås då ur uttrycket

$$K = T_{12} + \frac{m_y}{m_{\text{tot}}} \cdot A_{1(2)} + \frac{m_y + m_f}{m_{\text{tot}}} \cdot A_{1(2)} \quad (3.23)$$

### Exempel

Två typer av glas, det ena klart, det andra starkt värmeabsorberande kombineras på olika sätt. Glasen har följande solaroptiska egenskaper

	T	R	A
Klart glas	0,85	0,08	0,07
Värmeabs glas	0,18	0,05	0,77

Infallsvinkeln antages vara så liten att polarisationen inte behöver beaktas.

Under förutsättningen att  $m_y = 0,06$ ,  $m_f = 0,17$  och  $m_i = 0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$  ger ekv (3.13) och (3.22) följande värden:

Kombination	Transmission		
	direkt	sekundär	total
1 Två klara glas	0,727	0,054	0,781
2 Abs. utv., klart inv.	0,156	0,141	0,297
3 Klart utv., abs. inv.	0,156	0,479	0,635

Om solinstrålningen mot fönstret är  $700 \text{ W/m}^2$  avges till rummet:

Kombination	direkt	sekundärt	totalt
1	510	38	548
2	109	99	208
3	109	335	444

Om temperaturen är densamma ute och inne kan temperaturhöjningen  $\Delta t$  på fönstrets insida beräknas ur sambandet

$$q_{\text{sek}} = \frac{1}{m_i} \cdot \Delta t$$

varvid följande värden erhålles:

kombination	temp.höjn.; C, vid $700 \text{ W/m}^2$ instrålning
1	4
2	11
3	37

Fönsterkombination 3 (värmeabs. glas på insidan) får i exemplet, om rumtemp. = utetemp. =  $23^{\circ}$ , temperaturen  $60^{\circ}\text{C}$  på insidan. Den sekundära transmissionen blir härigenom betydligt större än den direkta. Om det värmeabsorberande glaset placeras på utsidan minskas sekundärtransmissionen till mindre än  $1/3$  av värdet för absorberande glas på insidan. Detta understryker vikten av att ett värmeabsorberande glas placeras på ett riktigt sätt. Direkttransmission (även det synliga ljuset) är oberoende av glasens inbördes placering.

### 3.44 Begreppet avskärmningsfaktor

Såväl den direkta som den totala transmissionen hos ett glas är beroende av infallsvinkeln, FIG. 3.44a. Man ser att kurvorna för de i figuren angivna glasen ligger på olika nivåer men har ungefär samma form. Det ligger då nära till hands att sätta dessa kurvor i relation till en bestämd kurva, så att transmissionen genom ett visst glas oberoende av infallsvinkeln alltid är en konstant gånger transmissionen genom ett referensglas. Som referens har valts totalt transmitterad energi av mot fönstret infallande kortvägig strålning genom ett tvåglasfönster med  $a \cdot s = 0,07$  ( $T_N = 0,86$ ) för båda rutorna (den översta kurvan i FIG. 3.44a). Konstanterna betecknas  $F_1$  för total transmission,  $F_2$  för direkt transmission.

Tydligen gäller

$$K_D = F_1 \cdot K_{D \text{ ref}}$$

$$T_D = F_2 \cdot K_{D \text{ ref}}$$

Värdena på instrålningen genom referensfönstret multiplicerade med  $F_1$  ger den totala solvärmeinläckningen genom ett visst fönster. Multiplikation med  $F_2$  ger på samma sätt den direkta transmissionen. Instrålningsvärdena gällande referensfönstret för olika orter,



orienteringar och månader finns publicerade i Byggeforskningens rapport nr 19:1969, och kan också erhållas ur diagram, BIL. I, eller datorprogram, BIL. III.

Även fönstrets ljusflöde i lux erhållas ur dessa instrålningsvärden genom multiplikation med faktorn  $F_3$  och en ljusutbytesfaktor, vars värde är ca 100 lm/W. Om ljustransmissionen är lika stor som den direkta transmissionen i hela solspektrum är  $F_3 = F_2$ . Annars gäller

$$F_3 = T_{\text{synl}}/K_{\text{ret}}$$

I amerikansk litteratur betecknas avskärningsfaktorn S.C. (Shading Coefficient). Denna refererar till solinstrålningen genom ett enkelglas, vars transmission vid vinkelrätt infall = 0,86. Det fönster till vilket  $F_1$  och  $F_2$  refererar har motsvarande värde 0,79. Sambandet mellan  $F_1$  och S.C. blir därför

$$F_1 = \frac{0,86}{0,79} \cdot \text{S.C.} = 1,09 \cdot \text{S.C.} \quad (3.24)$$

### 3.45 Totalt transmitterad strålningsenergi vid tvåglasfönster enligt datorberäkningar

De ekvationer som redovisas i 3.4 har programmerats för dator i programmeringsspråket ALGOL. För tvåglasfönster med olika typer av glas har en genomräkning gjorts av direkt och total transmission samt absorption i glaset. Infallsvinkeln har vid denna genomräkning varierats från  $0^\circ$  till  $85^\circ$  i steg om  $5^\circ$ . Parametern  $a \cdot s$  för vart och ett av glaset har varierats från 0,1 till 1,0 med steget 0,1. Dessa beräkningar ligger till grund för de undersökningar som redovisas i detta avsnitt.

#### 3.451 Transmissionens beroende av rutornas absorption

I FIG. 3.45a visas betydelsen av den inbördes placeringen av rutorna i ett tvåglasfönster där det ena glaset är värmeabsorberande. Det mörka glaset skall

placeras utanför det klara så att den absorberade solvärmens lätt avges utåt. Den direkta transmissionen ( $F_2$ ) påverkas inte av placeringen.

Vid beräkningen av  $F_1$  har värmemotstånden haft följande värden:  $m_y = 0,06$ ,  $m_f = 0,17$ ,  $m_i = 0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$ .

### 3.452 Transmissionens beroende av värmeöverföringen vid glasytorna

På den totala transmissionen av solstrålning genom ett fönster inverkar förutom glasens egenskaper även värmemotstånden mellan glaset och vid fönstrets ytor, jfr ekv (3.23). Värmemotståndet på utsidan är bl a beroende av vindhastighet, omgivande byggnader, molnighet m m. Värmemotståndet mellan glaset beror bl a av glasavståndet, temperaturförhållanden, mm (se 3.711). Vissa beläggningar, t ex guld minskar strålningsutbytet mellan glaset och ökar alltså värdet. På insidan avger fönstret värme dels genom konvektion till rumsluften, dels genom strålning till rumsytorna. När värmeavgivningen beräknas med hjälp av ett värmemotstånd,  $m_i$ , används den temperaturskillnad som råder mellan fönsterytan och rumsluften. Rumsytorna har emellertid ofta en annan temperatur än luften,  $m_i$  kan härigenom variera starkt och t o m bli negativt.

Luftinblåsning under fönstret exempelvis genom en fönsterapparat kan också starkt påverka värmeavgivningen vid fönstrets insida. Med hjälp av de resultat av datorberäkningar som omnämnts i början av 3.45 har inverkan av varierande värden hos de olika värmemotstånden studerats.

För denna undersökning utvaldes ett värmeabsorberande glas,  $a \cdot s = 0,8$  motsvarande  $T_N = 0,41$ , på fönstrets utsida och ett klart glas,  $a \cdot s = 0,1$ , motsvarande  $T_N = 0,83$ , på dess insida. För denna kombination är direkttransmissionen ca 34 % vid vinkelrätt infall.

FIG. 3.45b visar hur den totala transmissionen uttryckt i  $F_1$  beror av värmemotståndet på utsidan,  $m_y$ , när värmemotstånden mellan glaset och på insidan har normala värden ( $m_f = 0,17$ ,  $m_i = 0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$ ). Eftersom det yttre glaset i detta fall är värmeabsorberande blir beroendet jämförelsevis starkt.  $m_y$  kan i verkligheten tänkas variera från  $0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$  vid vindstilla (samma som normalvärdet på insidan) ner till ett värde nära 0 vid hård vind (eller under speciella strålningsförhållanden för långvågig strålning). Motsvarande värden på  $F_1$ , erhållna ur figuren framgår av följande tabell:

	$F_1$ %	Avvikelse från normalvärdet %
Vindstilla	64	+ 12
Normalt	57	-
Hård vind eller speciella strål- ningsförhållanden	47	- 17

Värmemotståndet på insidan kan variera starkt. Inverkan på  $F_1$  är störst vid låga värden på  $m_i$ , (FIG. 3.45c). Variationer i närheten av normala värden (ca  $0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$ ) ger en obetydlig påverkan på  $F_1$ . Om skillnaden i temperatur hos rumsluften och rumsytorna endast är av storleksordningen någon grad, ligger  $m_i$  i närheten av detta värde vid de temperaturnivåer som kan råda i ett rum.

Här kan nämnas att i vårt datorprogram för beräkning av rumstemperaturer (Brown 1971) storheten  $m_i$  inte används, varigenom man undgår osäkerheten i dess värde. Strålning och konvektion beräknas var för sig, varvid hänsyn tas till rådande temperaturförhållanden.

Inflytandet på  $F_1$  av variationer hos värmemotståndet mellan glaset är mycket obetydligt, se FIG. 3.45d. Variationen i värmemotstånd är dessutom liten, varför denna inverkan när det gäller tvåglasfönster praktiskt taget kan försummas.

Vid klara glas har värmemotstånden en mycket liten betydelse eftersom absorptionen av solstrålning är liten och därmed den sekundära transmissionen obetydlig vid sidan av den direkta (ca 5 % vid normala värmemotstånd).

### 3.5 Transmitterad, reflekterad och absorberad strålning vid (persienn-) lamellsystem

#### Introduktion

En persienn uppdelar infallande strålning i en transmitterad, en reflekterad och en absorberad komponent, och kan därför betraktas som ett genomskinligt skikt. Egenskaperna beror av följande faktorer:

- o) lamellytans absorptionsfaktor  $a$
- o) lamellytans reflekterande egenskaper (diffus reflekterande eller speglande)
- o) förhållandet mellan lamellbredd,  $w$ , och steghöjd,  $s$
- o) lamellernas lutningsvinkel  $\alpha$
- o) den infallande strålningens profil- eller skuggvinkel,  $\varphi$ . Denna fås ur uttrycket

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tgh} / \cos \beta$$

där  $h$  är strålningskällans höjdvinkel och  $\beta$  dess horisontalvinkel.

I detta avsnitt redovisas beräkningar avseende persiennar med diffust reflekterande lameller och med förhållandet  $w/s = 1,2$ . Resultat av datorberäkningar ges i tabeller och diagram. Resultat av amerikanska beräkningar avseende speglande lameller återges.

#### 3.51 Diffust reflekterande lameller

##### 3.511 Direkt strålning

En persienn träffas av ett parallellt strålnippe enligt FIG. 3.51a. Yta 1 i figuren är direkt belyst.

Den transmitterade strålningen kan uttryckas som den del av den från yta 1 reflekterade strålningen som slutligen, efter ett oändligt antal reflexioner, absorberas i den tänkta ytan 3. Detta utgör just definitionen på fördelningskoefficienten för strålning från yta 1 till yta 3,  $\psi_{13}$ , se Brown (1963). Den transmitterade strålningen satt i relation till den strålning som infaller mot persiennens plan, yta 4, utgör persiennens transmissionsfaktor, T. Analogt kan persiennens reflexionsfaktor, R, härledas.

Mot persiennens plan, yta 4, infaller strålning med intensiteten  $I \cdot \cos \varphi$ ,  $W/m^2$ .

Mot den belysta ytan 1 infaller

$$I \cdot \sin(\alpha + \varphi) \cdot A_1 W$$

där  $A_1$  betecknar storleken hos yta 1.

Härav reflekteras

$$r_1 \cdot I \cdot \sin(\alpha + \varphi) \cdot A_1 W$$

Av denna strålning absorberas slutligen i yta 3

$$\psi_{13} \cdot r_1 \cdot I \cdot \sin(\alpha + \varphi) \cdot A_1/A_3 W/m^2$$

Förhållandet mellan denna och den mot yta 4 infallande strålningen utgör persiennens transmissionsfaktor:

$$T = \frac{\frac{A_1}{A_3} \cdot \psi_{13} \cdot r_1 \cdot I \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{I \cdot \cos \varphi} \quad (3.25)$$

Detta uttryck kan förenklas med hjälp av reciprocitetsvillkoret

$$a_1 \cdot A_1 \cdot \psi_{13} = a_3 \cdot A_3 \cdot \psi_{31}$$

Dessutom insättes

$$\begin{aligned} a_3 &= 1 \\ a_1 &= a \\ r_1 &= r \end{aligned}$$

Ekv (3.25) kan då omformas till

$$T = \psi_{31} \cdot \frac{\frac{r}{a} \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \quad (3.26)$$

Analogt erhålles persiennens reflexionsfaktor

$$R = \psi_{41} \cdot \frac{\frac{r}{a} \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{\cos \varphi} \quad (3.27)$$

Persiennens absorptionsfaktor erhålles slutligen ur uttrycket

$$A = 1 - T - R \quad (3.28)$$

Fördelningskoefficienterna beräknas ur uttrycket

$$\psi_{ij} = a_j \cdot \varphi_{ij} + \sum_{p=1}^n \varphi_{ip} \cdot r_p \cdot \psi_{pj} \quad (3.29)$$

För beräkning av  $\psi_{31}$  och  $\psi_{41}$  vilka ingår i ekv (3.26) och (3.27) uppställles ekvationssystemet (3.29) för strålning mot yta 1, dvs för  $j = 1$ .

Under beaktande av att

$$\begin{aligned} \varphi_{ii} &= 0 \\ \varphi_{15} &= \varphi_{51} = 0 \text{ (se FIG. 3.51a)} \\ r_3 &= r_4 = 0 \\ r_1 &= r_2 = r_5 = r \text{ (lamellerna antas ha samma färg på} \\ &\quad \text{båda sidorna)} \end{aligned}$$

och efter omflyttningen erhålles

$$\begin{pmatrix} -1 & \varphi_{12} \cdot r & 0 & 0 & 0 \\ \varphi_{21} & -1 & 0 & 0 & \varphi_{25} \cdot r \\ \varphi_{31} \cdot r & \varphi_{32} \cdot r & -1 & 0 & \varphi_{35} \cdot r \\ \varphi_{41} \cdot r & \varphi_{42} \cdot r & 0 & -1 & \varphi_{45} \cdot r \\ 0 & \varphi_{52} \cdot r & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \psi_{11} \\ \psi_{21} \\ \psi_{31} \\ \psi_{41} \\ \psi_{51} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -\varphi_{21} \cdot a \\ -\varphi_{31} \cdot a \\ -\varphi_{41} \cdot a \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.30)$$

I ekvationssystemets koefficienter ingår vinkelkoefficienter för strålning mellan de olika ytorna, som alltså först måste beräknas.

För två oändligt långa parallella ytor enligt FIG. 3.51b gäller (Kollman & Liese, 1957).

$$\varphi_{x+y \rightarrow y} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{z}{x+y}\right)^2} + \sqrt{\frac{y^2 + z^2}{(x+y)^2}} - \sqrt{\frac{z^2 + x^2}{(x+y)^2}} - \frac{z}{x+y} \right] \quad (3.31)$$

För två oändligt långa snedställda ytor enligt FIG. 3.51c gäller:

$$\varphi_{a \rightarrow b} = \frac{1}{2x} \left[ x - \sqrt{x^2 - 2x \cdot \cos \alpha + 1} + 1 \right] \quad (3.32)$$

där  $x = \frac{a}{b}$

Beräkningarna av de i ekv (3.30) ingående vinkelkoefficienterna kan alla återföras till ekv (3.31) eller (3.32) enligt principer som framgår av följande exempel avseende beräkning av  $\varphi_{13}$  (se FIG. 3.51a).

$\varphi_{3 \rightarrow 1+5}$  och  $\varphi_{35}$  kan beräknas direkt med hjälp av ekv (3.32).

Härefter erhålles

$$\varphi_{31} = \varphi_{3 \rightarrow 1+5} - \varphi_{35}$$

Den sökta vinkelkoefficienten  $\varphi_{13}$  erhålles slutligen ur reciprocitetsvillkoret

$$\varphi_{13} \cdot A_1 = \varphi_{31} \cdot A_3$$

Eftersom lamellerna här antages vara oändligt långa kan ytorna  $A_1$ ,  $A_2$  osv ersättas av sträckor. Dessa sträckor görs dimensionslösa genom division med steghöjden  $s$ . Man får:

Yta            Relativ storlek

1	$t/s = \left  \frac{\cos \varphi}{\sin (\alpha + \varphi')} \right $
2	$w/s$
3	1
4	1
5	$(w - t)/s$

Beroende av profilvinkelns storlek blir beräkningen av vinkelkoefficienterna olika. I FIG. 3.51d visas innebörden av de 6 olika fall som måste särskiljas. I TAB. 3.51a anges profilvinkelns gränsvärden mellan de olika fallen.

I fallen 3 och 4 passerar en del strålning direkt mellan lamellerna. Denna del av transmitterad strålning fås ur uttrycket

$$T_1 = \frac{1}{1 - w/s (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi)} \quad (3.33)$$

Hela transmissionen,  $T$ , blir då

$$T = T_1 + \psi_{31} \frac{r/a \cdot \sin (\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}$$

I fallen 1, 2, 5 och 6 är  $T_1 = 0$ .



TAB. 3.51a. Profilvinkelns värde vid övergång mellan de olika fall som illustreras i FIG. 3.51d.

Fall	$\varphi$ gräns
1-2	$90 - \alpha$
2-3	$\arctg \left( \frac{1 - w/s \cdot \sin \alpha}{w/s \cdot \cos \alpha} \right)$
3-4	$-\alpha$
4-5	$-\arctg \left( \frac{\cos \alpha}{w/s + \sin \alpha} \right) - \alpha$
5-6	$-\arctg \left( \frac{\cos \alpha}{w/s} \right) - \alpha$

Beräkningar av de optiska egenskaperna hos persiennier enligt de redovisade ekvationerna har utförts med dator. De olika parametrarna har därvid varierats enligt följande sammanställning:

Parameter	Värden	Steg
w/s	1,2	
a	0,1 - 0,9	0,1
$\alpha$	45,0 - 80	10
$\varphi$	-85 - +85	5

Delar av resultatutskrifterna från dessa beräkningar återges i TAB. 3.51b.

På grundval av tabellen har FIG. 3.51e-g uppritats. FIG. 3.51e visar hur transmissionen, T, och absorptionen, A, varierar med profilvinkeln,  $\varphi$ , för en persienn vars lamelleyta absorberar 40 % av infallande strålning ( $a = 0,4$ ). Figuren innehåller kurvor för lutningsvinklarna  $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  och  $60^\circ$ . En positiv profilvinkel innebär att strålningskällan befinner sig över, en negativ att den befinner sig under horisonten, eller att persiennen är "felvänd". När strålningen passerar rakt igenom persiennen, dvs när  $\varphi = -\alpha$  blir transmissionen som sig bör 100 %, medan absorptionen (och även reflexionen) får värdet 0.

För  $\alpha > \text{ca } 30^\circ$  och för profilvinklar mellan  $\text{ca } 20^\circ$  och  $\text{ca } 40^\circ$ , det område där den starkaste solinstrålningen normalt sker, är inverkan av lamellernas lutning absolut sett tämligen liten. Eftersom transmissionen emellertid är låg, blir de relativa ändringarna betydande. Om lamellernas lutning ändras från  $60^\circ$  till  $30^\circ$  fås vid t ex  $\varphi = 30^\circ$  mer än dubbelt så hög transmission. Absorptionen ökar relativt sett endast med  $\text{ca } 15\%$ .

FIG. 3.51f visar transmission, reflexion och absorption som funktion av profilvinkeln för en persienn med  $a = 0,4$  och  $\alpha = 45^\circ$ . Representationssättet är detsamma som i FIG. 3.41c och d (gällande glas). Vid en jämförelse ser man att persiennens T, R och A inte är lika starkt beroende av profilvinkeln vid höga värden på denna som motsvarande värden för glas än av infallsvinkeln, då denna antar höga värden.

FIG. 3.51g ger för en persienn med  $\alpha = 45^\circ$  vid  $\varphi = 35^\circ$  analogt med FIG. 3.41e för glas, transmission, reflexion och absorption som funktion av lamelleytans absorptionsfaktor, a. Medan glasets reflexion är tämligen oberoende av hur mörkt det är ( $R = 5 \text{ à } 8\%$ ), varierar persiennens reflexion starkt med absorptionsfaktorn, från  $\text{ca } 75\%$  vid helt reflekterande lameller till 0 vid helt absorberande lameller.

### 3.512 Diffus strålning

En persienn transmitterar diffus strålning olika beroende på om strålningen kommer från himlen eller om den utgöres av markreflekterad strålning. När persiennen monteras tillsammans med glas, kommer den att träffas av reflekterade diffusa strålningskomponenter som är jämnt fördelade både över och under horisonten. Alla tre fallen är alltså intressanta när solvärmeinläckningen genom ett fönster skall beräknas. Vid datorberäkningarna av  $T_d$ ,  $R_d$  och  $A_d$  för himmelsstrålning

uppdelades halva himlen i intervall omfattande  $2^\circ$  i höjd- och sidled varefter följande medelvärdesberäkningar gjordes

$$T_d = \frac{\sum_{n=1} T_{Dn}(\varphi) \cdot \cos i_n}{\sum_{n=1} \cos i_n} \quad (3.34)$$

Analogt kan  $R_d$  samt värdena för markreflekterad strålning beräknas. Dessa beräkningar har genomförts för lamellutningen  $\alpha = 45^\circ$  vid varierande lamellabsorption. FIG. 3.51h visar resultaten för himmelsstrålning, FIG. 3.51i för markreflekterad strålning. Transmissionen av markreflekterad strålning är som väntat betydligt större än transmissionen av himmelsstrålning. Beräkningar av typen ekv (3.34) är tämligen tidsödande och kostar mycket i maskintid. Vid beräkning avseende diffus strålning jämnt fördelad både över och under horisonten kan beräkningarna göras betydligt enklare. Med beteckningar enligt FIG. 3.51j blir

$$T_d = \psi_{12}$$

$$R_d = \psi_{11}$$

$$A_d = 1 - T_d - R_d$$

Dessa beräkningar har genomförts för varierande lamellutning och lamellabsorption, se TAB. 3.51c.

### 3.513 Jämförelse med amerikanska beräkningsresultat

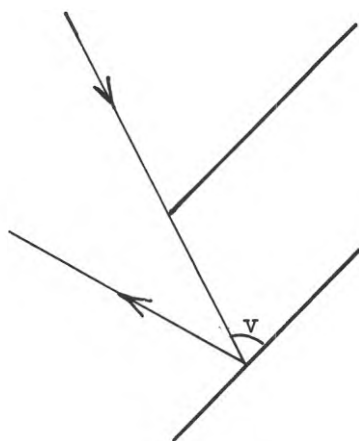
Beräkningar av persienners optiska egenskaper för såväl diffust reflekterande som speglade lameller har tidigare utförts i USA (Parmalee och Aubele, 1952). För diffust reflekterande lameller har vissa approximationer där gjorts för att nedbringa beräkningsarbetet, som utfördes utan dator. Vid våra beräkningar har fördelningskoefficienter använts vid härledningen av ekvationerna och dessa har lösts med dator, varvid re-

sultaten bör bli mera noggranna. De skillnader i beräkningsresultat som en jämförelse ger är störst vid låg lamellabsorption. Nedan visas resultat avseende en persienn med lamellutningen  $a = 45^\circ$ , profilvinkeln  $\varphi = 30^\circ$  och varierande lamellabsorption.

	$a = 0,1$		0,5		0,9	
	T	A	T	A	T	A
Parmalee och Aubele	0,191	0,132	0,064	0,594	0,007	0,933
Egna	0,209	0,141	0,071	0,592	0,007	0,928
Skillnad	+0,018	+0,009	+0,005	-0,002	0	-0,005

### 3.52 Speglande lameller

De optiska egenskaperna hos persienner med speglade lameller avviker från egenskaperna hos persienner med diffust reflekterande lameller. Strålgången blir annorlunda och ekvationerna av annat slag. När vinkeln  $v$  i nedanstående figur är mindre än  $90^\circ$  blir persiennens transmission  $T = 0$  och dess absorption  $A = a$ , dvs lika med lamellytans absorptionsfaktor.



Beräkningar avseende även persienner med speglade lameller har gjorts av Parmalee och Aubele 1952. I FIG. 3.52a jämföres  $T$  och  $A$  som funktion av  $\varphi$  för en diffust reflekterande och en speglade persienn med i övrigt lika förutsättningar.

Värdena på  $T$ ,  $R$  och  $A$  för i praktiken förekommande persienner torde ligga mellan de i figuren angivna. En matt färg ger en förskjutning mot värdena för diffust reflekterande lameller, en blank färg ger en förskjutning mot värdena för speglade lameller.

En persienn kan i praktiken betraktas som ett starkt värmeabsorberande skikt. Huvuddelen av den solvärme som transmittteras genom ett fönster med persienn invändigt eller mellan glasen härrör därför från i persiennen absorberad solstrålning, medan den direkt transmitterade delen är förhållandevis liten. Skillnaden i absorption hos de olika typerna av persiennar är enligt FIG. 3.52a relativt liten. Ur värmeteknisk synpunkt behöver därför normalt ingen större vikt fästas vid om lamellerna är speglande eller diffust reflekterande.

När det gäller direkt transmission, dvs även ljustransmission, blir de relativt sett stora skillnaderna mellan diffust reflekterande och speglande lamelltyperna av större intresse.

### 3.6 Transmitterad, reflekterad och absorberad strålning vid kombinationer av glas och diffuserande solskydd

#### 3.61 Direkt strålning

Beräkningar av de optiska egenskaperna hos kombinationer av klara och diffuserande skikt tillgår i princip på samma sätt som när det gäller kombinationer av klara skikt (se 3.412). Skillnaden ligger i att strålning transmitterad genom eller reflekterad mot ett diffuserande skikt kommer att spridas diffust. I fortsättningen kommer de intilliggande skiktens optiska egenskaper för diffus strålning att bli avgörande. När övergången från direkt till diffus strålning sker beror av skiktens inbördes placering. Med hjälp av FIG. 3.61a och 3.61b härledes ekvationerna för beräkning av transmission och absorption för två skikt när det diffuserande skiktet är placerat utvändigt resp invändigt. För diffus strålning användes beteckningarna  $\bar{T}$ ,  $\bar{R}$  och  $\bar{A}$ .

Ur FIG. 3.61a, diffuserande skikt invändigt, härledes:

$$T_{12} = T_1 \left( T_2 + R_2 \cdot \frac{\bar{R}_2 \bar{T}_2}{1 - \bar{R}_1 \cdot \bar{R}_2} \right) \quad (3.35)$$

$$A_{1(2)} = A_1 + \bar{A}_1 \cdot \frac{T_1 R_2}{1 - \bar{R}_1 \bar{R}_2} \quad (3.36)$$

$$A_{1(2)} = T_1 \left( A_1 + \bar{A}_1 \cdot \frac{R_2 \bar{R}_1}{1 - \bar{R}_1 \bar{R}_2} \right) \quad (3.37)$$

Med det diffuserande skiktet placerat utvändigt ger FIG. 3.61b:

$$T_{12} = \frac{T_1 \bar{T}_2}{1 - \bar{R}_1 \bar{R}_2} \quad (3.38)$$

$$A_{1(2)} = A_1 + \bar{A}_1 \cdot \frac{T_1 \bar{R}_2}{1 - \bar{R}_1 \bar{R}_2} \quad (3.39)$$

$$A_{(1)2} = \frac{T_1 \bar{A}_2}{1 - \bar{R}_1 \bar{R}_2} \quad (3.40)$$

### Exempel

Ett glas och en gardin har följande optiska egenskaper:

	Direkt strålning			Diffus strålning		
	T	R	A	$\bar{T}$	$\bar{R}$	$\bar{A}$
Glas	0,85	0,08	0,07	0,75	0,17	0,08
Gardin	0,30	0,40	0,30	0,26	0,48	0,26

Om gardinen placeras invändigt ger ekv (3.35)

$$T_{12} = 0,85 \left( 0,30 + 0,40 \cdot \frac{0,48 \cdot 0,26}{1 - 0,17 \cdot 0,48} \right) = 0,33$$

Med gardinen utvändigt ger ekv (3.38)

$$T_{12} = \frac{0,30 \cdot 0,75}{1 - 0,48 \cdot 0,17} = 0,25$$

Den direkta transmissionen, dvs även ljustransmissionen blir alltså olika beroende på skiktens inbördes placering. Detta gäller givetvis även absorptionen i skikten och därmed den sekundära transmissionen. Den senare beräknas enligt 3.43 oberoende av om skikten är klara eller diffuserande.

### 3.62 Diffus strålning

När den infallande strålningen är diffus kommer skiktens optiska egenskaper för diffus strålning att vara avgörande redan från början. Vid en beräkning för kombinationer av skikt kan därför enklast ekvationerna enligt 3.412 (för klara skikt) med skiktdata för diffus strålning användas.

### 3.63 Godtyckligt antal skikt. Datorprogram

Härledningarna av ekvationer för beräkning av de optiska och termiska egenskaperna hos kombinationer av skikt kan utsträckas till att gälla ett godtyckligt antal. Ekvationerna ökar snabbt i omfång med antalet skikt och blir dessutom olika beroende på var ett eventuellt diffuserande skikt är placerat. Det ALGOL-program som utarbetats för dessa beräkningar fungerar därför så, att den infallande strålningen vid det första skiktet uppdelas i en reflekterad komponent som ger ett första bidrag till kombinationens reflexion, en absorberad del som bidrar till absorptionen i det första skiktet samt en transmitterad del som går vidare till nästa skikt. Proceduren upprepas i skikt efter skikt, fram och tillbaka tills alla komponenter utsläcks genom absorption i skikten, transmission inåt och reflexion utåt. När den infallande strålningen reflekterats mot eller transmitterats genom ett diffuserande skikt byts skiktdata vid den fortsatta beräkningen till värden gällande diffus strålning. Den sekundära transmissionen beräknas därefter enligt ekv (3.22) med värmemotstånd som givits som ingångsdata.

Beräkningsresultaten för total och direkt transmission ges också i form av avskärningsfaktorer ( $F_1$  och  $F_2$ ). Detta program har i stor utsträckning använts för beräkning av de data som ges senare i denna rapport. Programmet utgör ett mycket värdefullt verktyg och ger snabbt besked om de ofta oväntade effekter som olika kombinationer av skikt kan ge.

Ett exempel som visar programmets möjligheter återges i FIG. 3.63a. För ett fönster där antalet glas ökas från 1 till 6 har den direkta (staplarnas ljusa del) och den sekundära (staplarnas mörka del) transmissionen beräknats. Rutorna utgöres av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ). För värmemotstånden har antagits: på utsidan 0,06, på insidan 0,11 och mellan glasen 0,16 m<sup>2</sup> °C/W. Den direkta transmissionen minskar givetvis med antalet glas medan den sekundära ökar, dock i mindre grad, varför även den totala transmissionen minskar. Datorprogrammets användning beskrivs i BIL. III.

### 3.7 Transmitterat solvärme vid frånluftsventilerat fönster

#### 3.71 Ekvationer

Den sekundära transmissionen genom ett fönster kan minskas om rumsluften evakueras mellan glasen förbi det solskydd som absorberar solstrålningen. Speciellt effektivt blir detta om luften passerar en persienn, som dels har hög absorption, dels stor värmeavgivande yta. FIG. 3.71a visar ett frånluftsfönster bestående av ett isolerglas, persienn samt en inre glasruta. Med beteckningar ur figuren uppställs följande ekvationer för värmebalansen för ett snitt med höjden  $dx$  gällande vart och ett av skikten 1 t o m 4 samt evakueringsluften:

$$A_1 dx + \alpha_i (t_r - t_1) dx = \alpha_k (t_1 - t) dx + \\ + \alpha_{s12} \cdot (t_1 - t_2) dx \quad (3.41)$$



$$A_2 dx + \alpha_{s12} (t_1 - t_2) dx = 2 \cdot \frac{w}{s} \alpha_k (t_2 - t) dx + \\ + \alpha_{s23} (t_2 - t_3) dx \quad (3.42)$$

$$A_3 dx + \alpha_k (t - t_3) dx + \alpha_{s23} (t_2 - t_3) dx = \\ = \frac{1}{m} \cdot (t_3 - t_4) dx \quad (3.43)$$

$$A_4 dx + \frac{1}{m} \cdot (t_3 - t_4) dx = \alpha_y (t_4 - t_1) dx \quad (3.44)$$

$$\alpha_k (t_1 - t) dx + 2 \cdot \frac{w}{s} \alpha_k (t_2 - t) dx = \\ = \alpha_k (t - t_3) dx + \frac{L \varrho \cdot c}{b} dt \quad (3.45)$$

Utöver de i FIG. 3.71a angivna beteckningarna används här:

- $\alpha_s$  = värmeövergångstal för strålning, kcal/m<sup>2</sup>h°C
- w/s = förhållandet mellan lamellbredd och steghöjd
- c = luftens specifika värme, kcal/kg°C
- b = fönstrets bredd, m
- L = luftmängd, m<sup>3</sup>/h
- $\varrho$  = luftens densitet, kg/m<sup>3</sup>

(Obs! I detta avsnitt användes kcal som värmeenhet.  
1 kcal = 4,19 kJ).

Fönstret fungerar som en värmeväxlare och såväl lufttemperaturen t som övriga temperaturer varierar i höjddled. Eftersom luftens fysikaliska data är temperaturberoende och dessa i sin tur påverkar värmeövergångstalen, kommer även de senare att variera i höjddled. Hänsyn härtill har tagits vid utarbetandet av det ALGOL-program som gjorts för dessa beräkningar.

Ekv. 3.41 t o m 3.44 omformas till:

$$\begin{pmatrix} \alpha_i + \alpha_k + \alpha_{s12} & -\alpha_{s12} & 0 & 0 \\ -\alpha_{s12} & \alpha_{s12} + 2\frac{W}{S}\alpha_k + \alpha_{s23} & -\alpha_{s23} & 0 \\ 0 & -\alpha_{s23} & \alpha_k + \alpha_{s23} + \frac{1}{m} & -\frac{1}{m} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{m} & \frac{1}{m} + \alpha_k \end{pmatrix} \cdot$$

$$\begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \\ t_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 + \alpha_i t_r + \alpha_k \cdot t \\ A_2 + 2\frac{W}{S}\alpha_k \cdot t \\ A_3 + \alpha_k \cdot t \\ A_4 + \alpha_y \cdot t_i \end{pmatrix} \quad (3.46)$$

Detta ekvationssystem löses iterativt (med Gauss Seidels metod).

Den i ekvationssystemets högra led förekommande lufttemperaturer,  $t$ , beräknas ur ekv. (3.45) som integrerats till

$$t = u + (t_r - u) / \exp\left(\frac{v \cdot \Delta h}{p}\right) \quad (3.47)$$

där  $u = \alpha_k (t_1 + 2\frac{W}{S} \cdot t_2 + t_3) / v$

$$p = \frac{L \cdot \rho \cdot c}{b} \quad ; \quad v = 2 \left(\frac{W}{S} + 1\right) \cdot \alpha_k$$

Fönsterhöjden  $h$  indelas i delar med storleken  $\Delta h$ .

De temperaturberoende storheterna i dessa ekvationer beräknas enligt följande:

3.711 Värmemotståndet hos oventilerad spalt mellan glas

Värmemotståndet beräknas ur uttrycket

$$m = \frac{1}{\lambda_{\text{spalt}}/\delta + \alpha_{s34}}$$

där  $\lambda_{\text{spalt}}$  är luftspaltens ekvivalenta värmeledningstal, kcal/m h°C, bestämd med hänsyn till konvektiv värmeöverföring, när luftrörelser förekommer.

$\delta$  = spaltbredd, m

$\alpha_{s34}$  = värmeövergångstalet för strålning mellan skikten 3 och 4, kcal/m<sup>2</sup>h°C

$\lambda_{\text{spalt}}$  beräknas ur

$$\lambda_{\text{spalt}} = \text{Nu} \cdot \lambda_{\text{luft}}$$

$\lambda_{\text{luft}}$  beräknas ur det empiriska uttrycket

$$\lambda_{\text{luft}} = 0,0208 + 6,5 \cdot t \cdot 10^{-5} \text{ kcal/m h}^\circ\text{C} \quad (3.48)$$

Nusselts tal Nu definierat enl. ovan erhålles ur följande samband (Lyng (1965))

$$\text{Nu} = 1 \text{ om } \text{Gr} < 7000$$

$$\text{Nu} = 0,0384 \cdot \text{Gr}^{0,37} \text{ om } \text{Gr} \geq 7000$$

Här är Gr (Grashofs tal):

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot (t_3 - t_4) \cdot \delta^3}{T_m \cdot \nu^2}$$

Den kinematiska viskositeten  $\nu$  är också temperaturberoende och beräknas ur

$$\nu = (181,8 + 0,495 (t_m - 20)) \cdot \frac{T_m}{353} \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \quad (3.49)$$

$g$  betecknar jordaccelerationen och  $T_m$  den absoluta temperaturens medelvärde

$$T_m = \frac{t_3 + t_4}{2} + 273 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Värmeövergångstalet för strålning  $\alpha_{s34}$  beräknas ur

$$\alpha_{s34} = f \cdot C \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

$$\text{där } f = (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2) \cdot 10^{-8} \text{ } ^\circ\text{K}^3$$

För parallella skikt med stor utsträckning i förhållande till avståndet fås  $C$  ur

$$C = \frac{4,96}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1} \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{K}^4$$

$\epsilon_1$  och  $\epsilon_2$  är de strålningsutbytande ytornas emissionsfaktorer. Talet 4,96 utgör strålningskonstanten för en svart kropp.

### 3.712 Konvektiv värmeöverföring i ventilerad spalt mellan glas

Den konvektiva värmeöverföringen i den spalt där luften evakueras (förbi persiennen) sker genom en blandning av egenkonvektion och påtryckt strömning. För detta fall anger Fanger (1964) följande samband:

$$\alpha_K = 2,08 \cdot \frac{\lambda_{\text{luft}}}{d_h} \cdot \text{Re}^{0,35} \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

Inströmningen av frånluften stör strömbilden så att turbulens erhålles redan vid mycket låga värden på  $\text{Re}$ . Ekvationen gäller därför inom hela det intervall för  $\text{Re}$  som här kan komma i fråga.

Här är  $d_h$  den hydrauliska diametern

$$d_h = \frac{2 \cdot \delta \cdot b}{\delta + b} \quad \text{m}$$

$$\text{Reynolds tal } Re = \frac{w \cdot d_h}{\nu}$$

$$\text{Lufthastigheten } w = \frac{L}{3600} \cdot \frac{1}{\delta \cdot b} \cdot \frac{T}{T_r} \quad \text{m/s}$$

Användandet av detta uttryck innebär att hänsyn tas till luftens expansion vid temperaturhöjning.

Luftens värmeledningstal  $\lambda_{\text{luft}}$  och dess dynamiska viskositet beräknas enligt ekv. (3.48) resp (3.49).

Samma värde på  $\alpha_k$  förutsättes gälla vid såväl de berörda glasytorna som vid lamellytorna.

### 3.713 Beräkningsgång vid datorberäkning

Lösningen sker enligt följande schema:

Fönstret uppdelas i ett lämpligt antal delar i höjdlängd. Utgående från ett för alla temperaturer gemensamt startvärde beräknar programmet luftens fysikaliska data var efter det ekvationssystem (ekv (3.46)) som beskriver värmebalansen löses för den första delsträckan. De temperaturer och värmeövergångstal som därvid erhålles ger en ny lufttemperatur. Nya fysikaliska data beräknas och ekvationssystemet löses på nytt. Detta upprepas tills två på varandra följande beräkningar, för var och en av temperaturerna, ger skillnader som underskrider en given tolerans. Beräkningarna fortsättes därefter för nästa delsträcka med de sist beräknade temperaturerna som startvärden.

Sedan temperaturvariationerna i höjdlängd beräknats görs en summering av värmeavgivningen från den inre glasrutan till rummet. Denna beräkning förutsätter lika temperatur hos rumsluft och rumsytor.

### 3.714 Frånluftsventilerat fönster utan persienn

Evakuering genom fönstret kan vara effektiv ur sol-skyddssynpunkt även med absorberande glas i stället för persienn. Vintertid ger frånluften, oavsett om persienn används eller ej, en höjning av fönstertemperaturen.

Datorprogrammet är utfört så att beräkningar kan utföras även för fönster utan persienn. Skillnaden ligger i att ekv. (3.42) utelämnas.

Beräkningar för tvåglasfönster kan också göras, enklast genom att det beräknade värmemotståndet,  $m'$ , mellan de yttre glasen ersätts av ett mycket litet värde,  $t$  ex värdet för värmemotståndet i själva glaset.

Datorprogrammets användning beskrivs i BIL. III.

### 3.72 Resultat av datorberäkningar

Beräkningsprogrammet har utnyttjats för en teoretisk undersökning avsedd att visa inverkan av varierande frånluftsmängd och glastyp för ett fönster bestående av ett isolerglas utvändigt + persienn + ett inre glas. Luften passerar förbi persiennen. Persiennlamellerna förutsättes vara ställda i  $45^\circ$  lutning och ha en absorptionsfaktor på lamellytan = 0,4. Förhållandet lamellbredd/steghöjd är 1,2. I tur och ordning har de olika glasen tänkts vara värmeabsorberande i olika grad.

Beräkningarna har genomförts för tre olika glastyper,  $a \cdot s = 0,07$  (vanligt fönsterglas),  $a \cdot s = 0,3$  och  $a \cdot s = 0,6$ . Glasens och persiennens solaroptiska egenskaper framgår av följande tabell:

a·s	Direkt strålning 30° infallsvinkel			Diffus strålning		
	T	R	A	$\bar{T}$	$\bar{R}$	$\bar{A}$
0,07	0,850	0,079	0,071	0,781	0,143	0,076
0,3	0,666	0,065	0,269	0,600	0,123	0,277
0,6	0,484	0,056	0,460	0,427	0,109	0,464
per- sienn x)	0,097	0,410	0,493	0,359	0,254	0,387

x) profilvinkel antagen = infallsvinkeln, dvs solen tänks befinna sig mitt framför fönstret på 30° höjd.

Det studerade fönstrets mått är:

bredd 1,03 m

höjd 1,25 m

glasavstånd isolerglas 12 mm

glasavstånd isolerruta-inre glas 75 mm

Temperaturen sattes vid beräkningarna till 25°C både inom- och utomhus.

Luftmängderna valdes vid beräkningarna till 25, 50, 75, 100 och 150 m<sup>3</sup>/h. För luftmängden 0 användes datorprogrammet beskrivet i 3.63.

Beräkningsresultaten är sammanfattade i FIG. 3.72a-d.

FIG. 3.72a visar hur den totala transmissionen vid olika luftmängder och den direkta transmissionen varierar när det yttre glaset blir mera värmeabsorberande (a·s ökar). En viss minskning av transmissionen erhålles. Denna beror till största delen på att den solvärme som absorberas i ytterglaset lätt avges utåt, och mindre på att frånluften utnyttjas effektivare.

I FIG. 3.72b varierar absorptionen i isolerrutans inre glas. Minskningen i  $K_D$  blir mindre påtaglig.

Det absorberande glaset står här i kontakt med evakueringsluften, men uppvärmningen av denna från persiennens större yta är så kraftig att någon nämnvärd upptagning av värme från det absorberande glaset inte erhålles. Anmärkningsvärt är att vid luftmängden 0 den totala transmissionen blir något större med värmeabsorberande glas, trots att den direkta transmissionen (och ljustransmissionen) sjunker.

Ett absorberande glas på insidan, se FIG. 3.72c, ger nästan ingen minskning av solvärmeinläckningen. Evakueringsluften förmår inte föra med sig nämnvärt mera värme än den som persiennen ger, varför det mesta av den i innerglaset absorberade solstrålningen går till rummet. Det enda resultatet av ett värmeabsorberande glas på insidan blir alltså att rummet blir mörkare, eftersom direkttransmissionen blir lägre.

FIG. 3.72d visar hur transmissionen minskar när alla tre glasen är lika och absorberar mera. Givetvis erhålles här en avsevärd effekt. Minskningen sker emellertid till största delen på bekostnad av direkttransmissionen, som vid  $a \cdot s = 0,6$  går ner till ca 1 %. Detta innebär alltså en nästan fullständig mörklägging av rummet.

Luftmängdens inverkan på totaltransmissionen i de olika fallen framgår av FIG. 3.72e. Effekten av att evakuera ventilationsluften genom fönstret blir som synes störst vid måttliga luftmängder. En ytterligare ökning av luftmängden lönar sig mindre.

Detta har sin förklaring i de egenskaper som värmeöverföringen vid blandad egenkonvektion och påtryckt strömning i den ventilerade spalten här har antagits ha. Frånluften åstadkommer en störning av strömningen som därför blir turbulent redan vid mycket låga värden på Reynolds tal. Härigenom erhålles relativt stora  $\alpha_k$ -värden redan i det normalt laminära området.



### 3.73 Dimensionslös representation av den sekundära transmissionen

I enlighet med vad som ofta sker i värmetekniska sammanhang bör den sekundära transmissionen genom ett frånluftsfönster kunna representeras som funktion av en dimensionslös parameter. Luftmängden vid givna dimensioner, dvs egentligen lufthastigheten, har ett avgörande inflytande på värmebortförseeln. Den uttrycks dimensionslöst lämpligen med Reynolds tal,  $Re$ . En större fönsterhöjd,  $h$ , ger bättre möjlighet för frånluften att medföra absorberad värme. En tunnare spalt ger vid i övrigt oförändrade förhållanden högre lufthastighet och därför effektivare värmebortförseel. För spalttjockleken används lämpligen den hydrauliska diametern,  $d_h$ . En lämplig parameter bör då bli  $Re \cdot \frac{h}{d_h}$ .

I FIG. 3.73a visas beräkningsresultatet avseende två olika fönster, dels ett förhållandevis högt, smalt fönster med bred luftspalt, dels ett lägre bredare fönster med smal luftspalt.

I båda fönstren är samtliga glas klara, persiennen har samma placering och i övrigt samma egenskaper. Direkttransmissionen är därför densamma hos de båda fönstren, och kan därför inkluderas i resultatet ( $F_1$ ).

### 3.74 Temperaturförhållanden vid frånluftsfönster under vintern

Datorprogrammet för frånluftsfönster kan givetvis användas för beräkning av temperaturer även under vinterförhållanden. Mest intressant är temperaturen på fönstrets insida som är en viktig faktor för komforten inomhus. Det drag (kallras och strålning) som ett kallt fönster ger kan elimineras helt eller delvis om den varma rumsluften evakueras genom fönstret. Temperaturen hos det glas som begränsar den ventilerade spalten utåt är också av intresse då kondensrisken skall bedömas.

Resultatet av en serie mätningar utförda under vinterförhållanden av Södergren & Boström (1969) har jämförts med beräkningsresultat från datorprogrammet. Vid dessa undersökningar har ingen persienn förekommit. Solinstrålningen har kunnat försummas. Det undersökta fönstret hade följande mått i mm. höjd 1135, bredd 920, glasavstånd 73.

Några resultat av dessa jämförelser framgår av FIG. 3.74a-c.

FIG. 3.74a visar som funktion av temperaturskillnaden ute-inne följande temperaturskillnader:

rumsluft - isolerglas rumssida (mitten)  
frånluft före-efter passagen genom fönstret  
rumsluft-inre glasyta (mitten)

FIG. 3.74b visar temperaturfördelningen i höjddled för fallet  $-10^{\circ}\text{C}$  ute,  $+22^{\circ}\text{C}$  inne.

Avvikelserna mellan mätta och beräknade värdena är som synes av storleksordningen 1 à  $2^{\circ}\text{C}$ .

FIG. 3.74c visar med programmet beräknade värden på temperaturskillnaden mellan det inre glasets mittpunkt och rumsluften dels för oventilerade, dels ventilerade två- och treglasfönster. I enlighet med vad som sagts tidigare blir effekten av evakueringen störst redan vid måttliga luftmängder. Ett tvåglasfönster med  $70\text{ m}^3/\text{h}$  får en högre temperatur på insidan än ett oventilerat treglasfönster vid samma temperaturförhållanden ute och inne. En fördubbling av luftmängden lönar sig mindre.

### 3.8 Diagram för bestämning av strålning klara dagar genom vertikala fönster med två rutor av vanligt fönsterglas

De värden på avskärningsfaktorer för olika kombinationer av glas och solskydd som redovisas i denna rapport har den totala transmissionen genom ett tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas (se FIG. 3.44a) som referens. Om man som utgångspunkt har solinstrålningsvärden som reducerats med hänsyn till referensfönstret får man instrålningen för ett annat fönster helt enkelt genom att multiplicera med avskärningsfaktorn. Diagram uppritade med hänsyn till denna reduktion finns i BIL. II. Beträffande användningen se 2.43. De solinstrålningsvärden som ligger till grund för diagrammen är sammanställda i BIL. II:1.

#### 3.81 Direkt solstrålning

FIG. I:14 gäller den vertikala komponenten i  $W/m^2$  av den direkta solinstrålningen transmitterad genom referensfönstret enligt Lunelunds sommarvärden. Kurvorna är mera avrundade i hörnen än motsvarande kurvor för instrålning mot fasad, vilket förklaras av att snett infallande strålning reduceras starkt av glaset.

FIG. I:15 ger den direkta solstrålningen enligt Lunelunds vintervärden transmitterad genom referensfönstret.

#### 3.82 Himmelsstrålning

Referensfönstret transmitterar 67 % av strålningen från en jämnt lysande himmel. Om detta värde antages gälla oberoende av solens läge i förhållande till fönstret, vilket här innebär en obetydlig approximation, erhålles den genom referensfönstret transmitterade himmelsstrålningen ur FIG. I:12 efter multiplikation med 0,67.

### 3.83 Strålning från sol, himmel och mark

BIL. I:16 visar ett "solvärmediagram" avseende sommarförhållanden. Detta ger summan av instrålningen från sol, himmel och mark transmitterad genom referensfönstret. BIL. I:17 ger instrålningen under vinterförhållanden. Marken antages ha oändlig utsträckning och diffust reflektera 25 % av globalstrålningen.

### 3.84 Cirkeldiagram

I Brown & Isfält (1969), "Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar, Tabeller och diagram", finns cirkeldiagram uppritade för den 15 i var och en av månaderna mars-oktober (se FIG. 3.8a). De visar hur stor del av dygnsinstrålningen från sol och himmel vid klart väder, inkluderande markreflekterad strålning vid 25 % reflexionsfaktor hos markytan, som har transmitterats genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas fram till olika klockslag. Skilda kurvor ger värden för fri horisont och för horisont som är skyddad upp till en höjd av  $10^{\circ}$ .

Kurvorna är konstruerade för fönster i Stockholm, men gäller approximativt även instrålning på andra orter i Sverige. Ett mera korrekt värde för orter som ligger öster eller väster om Stockholm får man om man tar hänsyn till tidsskillnaden mellan orten i fråga och Stockholm, eftersom tiden är angiven i normaltid. För en ort som Malmö, för vilken gäller att sann soltid inträffar 20 minuter senare än i Stockholm (TAB. 2.13b) bör avläsningen i diagrammen göras för tidpunkter som ligger 20 minuter tidigare än de klockslag för vilka kurvorna är uppritade.

I diagrammet ser man exempelvis att genom ett fönster mot sydväst 62 % av dygnsinstrålningen har transmitterats kl 15 i Stockholm. I Malmö har kl 15 endast 56 % transmitterats, det värde som diagrammet ger för kl 14.40. Dygnsinstrålningen genom fönstret i respektive fall hämtar man ur tabellerna (i Stockholm är värdet  $4290 \text{ Wh/m}^2$ , i Malmö  $4100 \text{ Wh/m}^2$ ).

Cirkeldiagrammen har närmast konstruerats för att man snabbt skall kunna bestämma dygnsinstrålningen i de fall då man använder solskydd under vissa tider på dygnet. Antag t ex att man i Stockholm har ett tvåglasfönster mot öster med ett solskydd som ger avskärmningsfaktorn  $F_1 = 0,35$  och att man vill se hur stor dygnsinstrålningen per  $m^2$  är den 15 juni en klar dag, dels då solskyddet används hela dygnet, dels då det används endast kl 8.30 - 17.00.

I det första fallet får man  $0,35 \cdot 4425 = 1550 \text{ Wh/m}^2$  (vid fri horisont). I det andra fallet transmitteras 63 % av dygnsinstrålningen utan solskydd före kl 8.30, 2 % efter kl 17 och  $0,35 (100 - 63 - 2) = 12$  % mellan dessa klockslag. Summan utgör då  $63 + 2 + 12 = 77$  % av dygnsinstrålningen utan solskydd, eller  $3410 \text{ Wh/m}^2$ .

Exemplet visar hur viktigt det är att solskydden vid fönster mot öster används tillräckligt tidigt på morgonen. Medan man med hjälp av solskyddet i det första av de nämnda fallen blev av med 65 % av solvärmeinläckningen avskärmades endast 23 % i det andra fallet.

Liknande beräkningar kan göras för icke klara dagar. Antag att solen lyser  $Q$  % av tiden varje timme under dygnet, medan den är skyddad  $100-Q$  % av tiden och himlen då är jämnt lysande och ger en strålning svarande mot genomsnittlig molnighet. Antag vidare att  $\bar{I} \text{ Wh/m}^2$  är dygnsinstrålningen från sol och himmel vid klart väder genom ett vertikalt oavskärmat tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas, och att  $\bar{I}_h \text{ Wh/m}^2$  är dygnsinstrålningen från himlen vid genomsnittlig molnighet genom ett sådant fönster (inkl markreflekterad strålning). Under ett helt dygn transmitteras då

$$\frac{Q}{100} \bar{I} + \left(1 - \frac{Q}{100}\right) \bar{I}_h \text{ genom ett fönster utan solskydd.}$$

Används solskydd under dagen från klockslaget  $t_b$  till klockslaget  $t_e$  avskärmas mellan dessa klockslag under de intervall då solen lyser  $\frac{Q}{100^2} (1-F_1)(S_e - S_b) \bar{I} \text{ Wh/m}^2$ .

Med  $S_b$  och  $S_e$  avses den del av dygnsinstrålningen som vid klart väder transmitteras genom oavskärmat fönster från dygnets början fram till klockslaget  $t_b$  respektive klockslaget  $t_e$  (enligt cirkeldiagram). Under de intervall då solen är skydd avskärmas mellan klockslagen  $t_b$  och  $t_e$   $\frac{1}{100^2} (100-Q)(1-F_1)(s_e-s_b) \bar{I}_h$  Wh/m<sup>2</sup>. Med

$s_b$  och  $s_e$  menas den del av dygnssumman instrålad energi från himlen som transmitterats genom oavskärmat tvåglasfönster från dygnets början fram till klockslaget  $t_b$  respektive klockslaget  $t_e$  (se TAB. II:3).

Uttrycket på transmitterad instrålning under ett dygn vid dessa förutsättningar,  $I_{dy}$  Wh/m<sup>2</sup>, får man genom att från dygnsinstrålningen genom ett fönster utan skydd dra avskärmat instrålning. Man får då

$$I_{dy} = \frac{Q}{100^2} [ 100 - (1-F_1)(s_e-s_b) ] \bar{I} + \\ + \frac{100-Q}{100^2} [ 100 - (1-F_1)(s_e-s_b) ] \bar{I}_h \quad (3.50)$$

Här har antagits att solskydden används även då solen inte lyser mellan klockslagen  $t_b$  och  $t_e$ . Avlägsnas däremot solskydden då solen är skydd bortfaller termen  $(1-F_1)(s_e-s_b)$  i ekv. (3.50).

Om man i exemplet med österfönstret i Stockholm förutsätter att solen lyser endast 70 % av tiden transmitteras under dygnet  $0,7 \cdot 4425 + 0,3 \cdot 890 = 3360$  Wh/m<sup>2</sup>, om fönstret är oavskärmat. Har man ett solskydd som ger avskärningsfaktorn 0,35 och det är nedfällt hela dygnet transmitteras  $0,35 \cdot 3360 = 1180$  Wh/m<sup>2</sup>. Är det nedfällt 8.30 - 17 får man enligt ekv. (3.50)

$$I_{dy} = \frac{0,7}{100} [ 100 - 0,65 (98-63) ] \cdot 4425 + \\ + \frac{0,3}{100} [ 100 - 0,65 (91-22) ] \cdot 890 = \\ = 2540 \text{ Wh/m}^2.$$

Börjar användningen av solskydden på kvällen, vid tidpunkten  $t_b$ , och slutar den först någon gång nästa dag, vid tidpunkten  $t_e$ , blir uttrycket på  $I_{dy}$  något annorlunda. Detta fall kan vara aktuellt då man vill minska solinstrålningen tidigt på morgonen genom fönster mot öster eller då man lämnar skydden kvar för fönster mot väster under kvällen och natten. Till uttrycket på transmitterad strålning då skydd används under hela dygnet,  $\frac{Q}{100} F_1 \bar{I} + \frac{100-Q}{100} F_1 \bar{I}_h$ , skall då adderas den strålning som inte avskärmas under dagen från tidpunkten  $t_e$  till tidpunkten  $t_b$ . Man får

$$I_{dy} = \frac{Q}{100^2} [ 100 F_1 + (1-F_1)(s_b-s_e) ] \bar{I} + \\ + \frac{100-Q}{100^2} [ 100 F_1 + (1-F_1)(s_b-s_e) ] \bar{I}_h \quad (3.51)$$

TAB. 3.2a. Spektralfördelning hos direkt solstrålning  
vid solhöjden  $30^{\circ}$  ( $1 \text{ kcal/h} = 1,16 \text{ W}$ ).

Våglängds- område $\mu\text{m}$	Intensitet i $\text{kcal/m}^2\text{h}$ $0,1 \mu\text{m}$ vid atmosfär enligt		
	Gage torr	fuktig	Moon
0,25 - 0,35	1,4	1,4	3,5
0,35 - 0,45	41,8	41,8	46,2
0,45 - 0,55	88,8	88,8	101,1
0,55 - 0,65	94,1	94,1	100,7
0,65 - 0,75	93,0	89,8	91,1
0,75 - 0,85	77,6	72,3	68,6
0,85 - 0,95	61,5	47,7	42,1
0,95 - 1,05	51,4	46,3	52,6
1,05 - 1,15	40,8	29,4	26,2
1,15 - 1,25	34,5	28,8	31,1
1,25 - 1,35	31,0	30,3	20,4
1,35 - 1,45	16,6	6,7	0,3
1,45 - 1,55	14,3	3,9	12,1
1,55 - 1,65	20,9	19,9	17,3
1,65 - 1,75	17,5	17,1	11,2
1,75 - 1,85	7,0	5,1	1,4
1,85 - 1,95	0,0	1,1	0,1
1,95 - 2,05	4,7	3,9	2,8
2,05 - 2,15	5,5	5,6	5,4
2,15 - 2,25	4,0	4,0	--
2,25 - 2,35	3,0	3,0	--
2,35 - 2,45	2,1	2,1	--
2,45 - 2,55	--	--	--
0,25 - 2,55	711,5	643,1	634,2



TAB. 3.2b. Procentuell spektralfördelning hos strålning från solen och från klar och mulen himmel, vid solhöjden  $30^{\circ}$ .

Våglängdsområde $\mu\text{m}$	Spektralfördelning i % av strålning från		
	sol	klar himmel	mulen himmel
0,25 - 0,35	0,2	4,9	1,1
0,35 - 0,45	5,9	24,4	11,1
0,45 - 0,55	12,5	27,3	19,0
0,55 - 0,65	13,2	17,4	18,0
0,65 - 0,75	13,1	12,2	16,2
0,75 - 0,85	10,9	8,2	13,2
0,85 - 0,95	8,6	4,6	8,7
0,95 - 1,05	7,2	1,0	5,5
1,05 - 1,15	5,7	0,0	4,2
1,15 - 1,25	4,8	0,0	1,7
1,25 - 1,35	4,4	0,0	1,1
1,35 - 1,45	2,3	0,0	0,2
1,45 - 1,55	2,0	0,0	0,0
1,55 - 1,65	2,9	0,0	0,0
1,65 - 1,75	2,5	0,0	0,0
1,75 - 1,85	1,0	0,0	0,0
1,85 - 1,95	0,0	0,0	0,0
1,95 - 2,05	0,7	0,0	0,0
2,05 - 2,15	0,8	0,0	0,0
2,15 - 2,25	0,6	0,0	0,0
2,25 - 2,35	0,4	0,0	0,0
2,35 - 2,45	0,3	0,0	0,0
0,25 - 2,45	100,0	100,0	100,0

TAB. 3.2c. Ögats känslighet och färgintryck, procentuell spektralfördelning hos strålning inom synligt område från solen och från klar och mulen himmel vid solhöjden  $30^{\circ}$ , samt produkten av strålningsintensitet och ögats känslighet vid olika våglängder.

Våglängd $\lambda$ $\mu\text{m}$	Strålningens färg	Ögats känslighet $V_{\lambda}$	Procentuell fördelning $P_{\lambda}$ % inom synligt område av strålning från			Produkten $V_{\lambda}P_{\lambda}$ vid strålning från		
			sol	klar himmel	mulen himmel	sol	klar himmel	mulen himmel
0,38	Ultra-violett	0,0004	1,2	5,0	2,0	-	-	-
0,40	Violett	0,0004	2,1	6,0	3,0	-	-	-
0,42	Violett	0,004	3,9	8,0	4,8	0,02	0,03	0,02
0,44	Blått	0,023	4,7	7,2	5,3	0,11	0,17	0,12
0,46	Blått	0,060	5,0	8,2	5,8	0,30	0,49	0,35
0,48	Blått	0,139	5,3	7,6	5,8	0,73	1,06	0,81
0,50	Grönt	0,323	5,4	6,8	5,8	1,75	2,20	1,87
0,52	Grönt	0,710	5,5	6,0	5,6	3,91	4,26	3,98
0,54	Grönt	0,954	5,6	5,6	5,7	5,34	5,34	5,44
0,56	Grönt	0,995	5,6	5,2	5,4	5,57	5,17	5,37
0,58	Gult	0,870	5,6	4,7	5,4	4,87	4,09	4,70
0,60	Gult	0,631	5,7	4,3	5,4	3,60	2,71	3,41
0,62	Rött	0,381	5,7	3,9	5,3	2,17	1,49	2,02
0,64	Rött	0,175	5,7	3,7	5,3	1,00	0,65	0,93
0,66	Rött	0,061	5,7	3,3	5,1	0,35	0,20	0,31
0,68	Rött	0,017	5,7	3,3	5,1	0,10	0,06	0,09
0,70	Rött	0,004	5,6	3,1	5,0	0,02	0,01	0,02
0,72	Rött	0,001	5,6	2,9	5,0	0,01	-	0,01
0,74	Rött	0,00025	5,4	2,7	4,7	-	-	-
0,76	Rött	0,00006	5,0	2,5	4,5	-	-	-
0,38-0,76			100,0	100,0	100,0	29,85	27,93	29,45

TAB. 3.3a Transmissionsfaktorer för några olika glas, uppmätta med spektrometer inom solstrålningens spektralområde. Transmissionsfaktorer för dessa glas vid strålning från solen och från klar och mulen himmel, beräknade enligt ekv. (3.1) vid spektral fördelning enligt TAB. 3.2b (glasrutornas tjocklekar anges inom parentes). Värden enligt Pleijel.

Våglängdsområde µm	Transmissionsfaktor vid glastyp			
	1 (3 mm)	2 (4 mm)	3 (2 mm)	4 (2 mm)
0,25 - 0,35	16	50	61	37
0,35 - 0,45	88	90	90	89
0,45 - 0,55	91	91	91	91
0,55 - 0,65	91	90	91	89
0,65 - 0,75	87	88	90	85
0,75 - 0,85	84	86	89	79
0,85 - 0,95	82	85	88	77
0,95 - 1,05	81	84	88	75
1,05 - 1,15	81	84	88	76
1,15 - 1,25	82	84	88	75
1,25 - 1,35	82	85	88	77
1,35 - 1,45	83	85	88	78
1,45 - 1,55	84	86	89	81
1,55 - 1,65	85	87	89	83
1,65 - 1,75	86	87	89	83
1,75 - 1,85	86	87	89	83
1,85 - 1,95	85	86	89	83
1,95 - 2,05	85	86	89	83
2,05 - 2,15	85	85	89	83
2,15 - 2,25	84	84	89	83
2,25 - 2,35	84	84	88	83
2,35 - 2,45	83	84	88	83
T för strålning från sol	86	87,1	88,7	82,6
från klar himmel	87	87,3	88,8	85,2
från mulen himmel	88	87,7	89,5	84,1

TAB. 3.51b Transmission, reflexion och absorption för en persienn med förhållandet lamellbredd/steghöjd  $w/s = 1,2$  och diffust reflekterande lameller vid varierande lamellutning,  $\alpha$ , absorptionsfaktor hos lamellytan,  $a$ , samt profilvinkel,  $\varphi$ .

$\alpha = 0^\circ$	$a = 0.1$				$a = 0.2$				$a = 0.3$			
	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.259	0.579	0.162		-85	0.207	0.491	0.302	-85	0.163	0.412	0.425
-80	0.271	0.565	0.165		-80	0.216	0.478	0.306	-80	0.171	0.400	0.430
-75	0.283	0.550	0.167		-75	0.226	0.464	0.310	-75	0.179	0.387	0.434
-70	0.296	0.535	0.169		-70	0.237	0.450	0.313	-70	0.187	0.374	0.439
-65	0.310	0.520	0.171		-65	0.248	0.435	0.317	-65	0.197	0.361	0.442
-60	0.324	0.503	0.173		-60	0.261	0.420	0.319	-60	0.208	0.347	0.446
-55	0.341	0.485	0.174		-55	0.275	0.403	0.321	-55	0.220	0.332	0.448
-50	0.360	0.465	0.175		-50	0.292	0.385	0.323	-50	0.234	0.316	0.450
-45	0.383	0.442	0.174		-45	0.313	0.365	0.322	-45	0.253	0.298	0.449
-40	0.412	0.415	0.173		-40	0.339	0.341	0.320	-40	0.276	0.278	0.447
-35	0.507	0.347	0.145		-35	0.446	0.286	0.269	-35	0.392	0.233	0.375
-30	0.594	0.287	0.120		-30	0.543	0.236	0.222	-30	0.499	0.192	0.309
-25	0.672	0.231	0.097		-25	0.631	0.190	0.179	-25	0.595	0.155	0.250
-20	0.744	0.181	0.076		-20	0.712	0.149	0.140	-20	0.684	0.121	0.195
-15	0.811	0.133	0.056		-15	0.788	0.109	0.103	-15	0.767	0.089	0.144
-10	0.876	0.088	0.037		-10	0.860	0.072	0.068	-10	0.847	0.059	0.094
-5	0.938	0.043	0.018		-5	0.931	0.036	0.034	-5	0.924	0.029	0.047
0	1.000	0.000	0.000		0	1.000	0.000	0.000	0	1.000	0.000	0.000
5	0.938	0.043	0.018		5	0.931	0.036	0.034	5	0.924	0.029	0.047
10	0.876	0.088	0.037		10	0.860	0.072	0.068	10	0.847	0.059	0.094
15	0.811	0.133	0.056		15	0.788	0.109	0.103	15	0.767	0.089	0.144
20	0.744	0.181	0.076		20	0.712	0.149	0.140	20	0.684	0.121	0.195
25	0.672	0.231	0.097		25	0.631	0.190	0.179	25	0.595	0.155	0.250
30	0.594	0.287	0.120		30	0.543	0.236	0.222	30	0.499	0.192	0.309
35	0.507	0.347	0.145		35	0.446	0.286	0.269	35	0.392	0.233	0.375
40	0.412	0.415	0.173		40	0.339	0.341	0.320	40	0.276	0.278	0.447
45	0.383	0.442	0.174		45	0.313	0.365	0.322	45	0.253	0.298	0.449
50	0.360	0.465	0.175		50	0.292	0.385	0.323	50	0.234	0.316	0.450
55	0.341	0.485	0.174		55	0.275	0.403	0.321	55	0.220	0.332	0.448
60	0.324	0.503	0.173		60	0.261	0.420	0.319	60	0.208	0.347	0.446
65	0.310	0.520	0.171		65	0.248	0.435	0.317	65	0.197	0.361	0.442
70	0.296	0.535	0.169		70	0.237	0.450	0.313	70	0.187	0.374	0.439
75	0.283	0.550	0.167		75	0.226	0.464	0.310	75	0.179	0.387	0.434
80	0.271	0.565	0.165		80	0.216	0.478	0.306	80	0.171	0.400	0.430
85	0.259	0.579	0.162		85	0.207	0.491	0.302	85	0.163	0.412	0.425

$a = 0.4$				$a = 0.5$				$a = 0.6$			
-85	0.126	0.340	0.534	-85	0.096	0.274	0.631	-85	0.070	0.212	0.718
-80	0.133	0.329	0.539	-80	0.100	0.264	0.636	-80	0.073	0.204	0.723
-75	0.139	0.319	0.543	-75	0.105	0.254	0.640	-75	0.077	0.196	0.727
-70	0.145	0.306	0.548	-70	0.111	0.244	0.645	-70	0.081	0.188	0.731
-65	0.154	0.294	0.552	-65	0.117	0.234	0.649	-65	0.086	0.179	0.735
-60	0.163	0.282	0.556	-60	0.124	0.223	0.652	-60	0.091	0.171	0.738
-55	0.173	0.269	0.558	-55	0.133	0.212	0.655	-55	0.096	0.162	0.740
-50	0.185	0.255	0.560	-50	0.143	0.201	0.656	-50	0.101	0.152	0.742
-45	0.201	0.240	0.560	-45	0.156	0.188	0.656	-45	0.107	0.142	0.741
-40	0.221	0.223	0.557	-40	0.173	0.174	0.653	-40	0.130	0.131	0.738
-35	0.346	0.186	0.467	-35	0.306	0.146	0.549	-35	0.270	0.110	0.620
-30	0.461	0.154	0.385	-30	0.427	0.120	0.452	-30	0.396	0.091	0.512
-25	0.565	0.124	0.311	-25	0.538	0.097	0.365	-25	0.514	0.073	0.413
-20	0.660	0.097	0.243	-20	0.639	0.076	0.285	-20	0.620	0.057	0.322
-15	0.750	0.071	0.179	-15	0.734	0.056	0.210	-15	0.721	0.042	0.237
-10	0.835	0.047	0.118	-10	0.825	0.037	0.138	-10	0.816	0.028	0.156
-5	0.918	0.023	0.058	-5	0.913	0.018	0.069	-5	0.909	0.014	0.078
0	1.000	0.000	0.000	0	1.000	0.000	0.000	0	1.000	0.000	0.000
5	0.918	0.023	0.058	5	0.913	0.018	0.069	5	0.909	0.014	0.078
10	0.835	0.047	0.118	10	0.825	0.037	0.138	10	0.816	0.028	0.156
15	0.750	0.071	0.179	15	0.734	0.056	0.210	15	0.721	0.042	0.237
20	0.660	0.097	0.243	20	0.639	0.076	0.285	20	0.620	0.057	0.322
25	0.565	0.124	0.311	25	0.538	0.097	0.365	25	0.514	0.073	0.413
30	0.461	0.154	0.385	30	0.427	0.120	0.452	30	0.396	0.091	0.512
35	0.346	0.186	0.467	35	0.306	0.146	0.549	35	0.270	0.110	0.620
40	0.221	0.223	0.557	40	0.173	0.174	0.653	40	0.130	0.131	0.738
45	0.201	0.240	0.560	45	0.156	0.188	0.656	45	0.117	0.142	0.741
50	0.185	0.255	0.560	50	0.143	0.201	0.656	50	0.106	0.152	0.742
55	0.173	0.269	0.558	55	0.133	0.212	0.655	55	0.098	0.162	0.740
60	0.163	0.282	0.556	60	0.124	0.223	0.652	60	0.091	0.171	0.738
65	0.154	0.294	0.552	65	0.117	0.234	0.649	65	0.086	0.179	0.735
70	0.146	0.306	0.548	70	0.111	0.244	0.645	70	0.081	0.188	0.731
75	0.139	0.318	0.543	75	0.105	0.254	0.640	75	0.077	0.196	0.727
80	0.133	0.329	0.539	80	0.100	0.264	0.636	80	0.073	0.204	0.723
85	0.126	0.340	0.534	85	0.096	0.274	0.631	85	0.070	0.212	0.718

forts.

$\alpha = 0^\circ$

$\alpha = 0.7$				$\alpha = 0.8$				$\alpha = 0.9$			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.048	0.155	0.798	-85	0.029	0.100	0.871	-85	0.013	0.049	0.938
-80	0.050	0.148	0.801	-80	0.031	0.096	0.873	-80	0.014	0.047	0.939
-75	0.053	0.142	0.805	-75	0.032	0.092	0.876	-75	0.015	0.045	0.941
-70	0.056	0.136	0.808	-70	0.034	0.088	0.878	-70	0.016	0.042	0.942
-65	0.059	0.129	0.811	-65	0.036	0.083	0.880	-65	0.017	0.040	0.943
-60	0.063	0.123	0.814	-60	0.039	0.079	0.882	-60	0.018	0.038	0.944
-55	0.068	0.116	0.816	-55	0.042	0.074	0.884	-55	0.020	0.036	0.945
-50	0.074	0.109	0.817	-50	0.046	0.069	0.885	-50	0.022	0.033	0.945
-45	0.082	0.101	0.817	-45	0.051	0.064	0.884	-45	0.024	0.031	0.945
-40	0.092	0.093	0.815	-40	0.058	0.059	0.883	-40	0.028	0.028	0.944
-35	0.238	0.078	0.684	-35	0.209	0.049	0.742	-35	0.183	0.023	0.793
-30	0.371	0.064	0.564	-30	0.348	0.041	0.612	-30	0.327	0.019	0.654
-25	0.492	0.052	0.456	-25	0.473	0.033	0.494	-25	0.456	0.016	0.528
-20	0.604	0.041	0.356	-20	0.589	0.026	0.386	-20	0.575	0.012	0.412
-15	0.708	0.030	0.262	-15	0.697	0.019	0.284	-15	0.687	0.009	0.304
-10	0.808	0.020	0.172	-10	0.801	0.012	0.187	-10	0.794	0.006	0.200
-5	0.905	0.010	0.086	-5	0.901	0.006	0.093	-5	0.898	0.003	0.099
0	1.000	0.000	0.000	0	1.000	0.000	0.000	0	1.000	0.000	0.000
5	0.905	0.010	0.086	5	0.901	0.006	0.093	5	0.898	0.003	0.099
10	0.808	0.020	0.172	10	0.801	0.012	0.187	10	0.794	0.006	0.200
15	0.708	0.030	0.262	15	0.697	0.019	0.284	15	0.687	0.009	0.304
20	0.604	0.041	0.356	20	0.589	0.026	0.386	20	0.575	0.012	0.412
25	0.492	0.052	0.456	25	0.473	0.033	0.494	25	0.456	0.016	0.528
30	0.371	0.064	0.564	30	0.348	0.041	0.612	30	0.327	0.019	0.654
35	0.238	0.078	0.684	35	0.209	0.049	0.742	35	0.183	0.023	0.793
40	0.092	0.093	0.815	40	0.058	0.059	0.883	40	0.028	0.028	0.944
45	0.082	0.101	0.817	45	0.051	0.064	0.884	45	0.024	0.031	0.945
50	0.074	0.109	0.817	50	0.046	0.069	0.885	50	0.022	0.033	0.945
55	0.068	0.116	0.816	55	0.042	0.074	0.884	55	0.020	0.036	0.945
60	0.063	0.123	0.814	60	0.039	0.079	0.882	60	0.018	0.038	0.944
65	0.059	0.129	0.811	65	0.036	0.083	0.880	65	0.017	0.040	0.943
70	0.056	0.136	0.808	70	0.034	0.088	0.878	70	0.016	0.042	0.942
75	0.053	0.142	0.805	75	0.032	0.092	0.876	75	0.015	0.045	0.941
80	0.050	0.148	0.801	80	0.031	0.096	0.873	80	0.014	0.047	0.939
85	0.048	0.155	0.798	85	0.029	0.100	0.871	85	0.013	0.049	0.938

$\alpha = 30^\circ$

$\alpha = 0.1$				$\alpha = 0.2$				$\alpha = 0.3$			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.339	0.478	0.183	-85	0.273	0.389	0.338	-85	0.218	0.312	0.470
-80	0.355	0.462	0.183	-80	0.288	0.374	0.338	-80	0.231	0.299	0.470
-75	0.374	0.443	0.182	-75	0.306	0.357	0.337	-75	0.248	0.284	0.468
-70	0.401	0.419	0.180	-70	0.330	0.337	0.333	-70	0.270	0.266	0.464
-65	0.437	0.387	0.176	-65	0.364	0.310	0.326	-65	0.301	0.245	0.455
-60	0.488	0.343	0.168	-60	0.412	0.275	0.313	-60	0.344	0.217	0.440
-55	0.581	0.275	0.143	-55	0.511	0.221	0.268	-55	0.448	0.174	0.378
-50	0.698	0.199	0.103	-50	0.647	0.159	0.194	-50	0.601	0.126	0.273
-45	0.792	0.137	0.071	-45	0.757	0.110	0.133	-45	0.726	0.087	0.188
-40	0.871	0.085	0.044	-40	0.850	0.068	0.082	-40	0.830	0.054	0.116
-35	0.940	0.040	0.021	-35	0.929	0.032	0.039	-35	0.920	0.025	0.055
-30	1.000	0.000	0.000	-30	1.000	0.000	0.000	-30	1.000	0.000	0.000
-25	0.921	0.061	0.019	-25	0.913	0.052	0.035	-25	0.907	0.043	0.049
-20	0.847	0.117	0.036	-20	0.834	0.099	0.067	-20	0.822	0.083	0.095
-15	0.779	0.169	0.052	-15	0.759	0.144	0.098	-15	0.742	0.121	0.137
-10	0.713	0.219	0.068	-10	0.687	0.186	0.126	-10	0.665	0.157	0.178
-5	0.649	0.268	0.083	-5	0.618	0.228	0.154	-5	0.591	0.191	0.218
0	0.587	0.316	0.097	0	0.550	0.268	0.182	0	0.518	0.225	0.256
5	0.524	0.364	0.112	5	0.482	0.309	0.210	5	0.445	0.260	0.295
10	0.461	0.412	0.127	10	0.412	0.350	0.238	10	0.371	0.294	0.335
15	0.395	0.463	0.142	15	0.341	0.393	0.266	15	0.295	0.330	0.375
20	0.326	0.515	0.159	20	0.266	0.437	0.297	20	0.215	0.367	0.418
25	0.298	0.542	0.160	25	0.238	0.461	0.300	25	0.188	0.389	0.424
30	0.282	0.559	0.158	30	0.225	0.478	0.297	30	0.177	0.404	0.419
35	0.262	0.576	0.156	35	0.214	0.494	0.293	35	0.168	0.418	0.414
40	0.255	0.592	0.153	40	0.203	0.509	0.289	40	0.159	0.432	0.409
45	0.242	0.607	0.151	45	0.193	0.523	0.284	45	0.151	0.445	0.404
50	0.230	0.621	0.148	50	0.183	0.537	0.280	50	0.143	0.458	0.399
55	0.218	0.636	0.146	55	0.174	0.550	0.276	55	0.136	0.471	0.394
60	0.207	0.650	0.143	60	0.165	0.563	0.272	60	0.129	0.483	0.389
65	0.196	0.663	0.141	65	0.156	0.576	0.268	65	0.122	0.495	0.383
70	0.185	0.677	0.138	70	0.147	0.589	0.264	70	0.115	0.506	0.378
75	0.174	0.690	0.136	75	0.139	0.602	0.260	75	0.109	0.518	0.373
80	0.163	0.703	0.133	80	0.130	0.614	0.256	80	0.102	0.529	0.368
85	0.152	0.717	0.131	85	0.122	0.627	0.252	85	0.096	0.541	0.363

$\alpha = 30^\circ$

$\alpha = 0.4$				$\alpha = 0.5$				$\alpha = 0.6$			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.172	0.245	0.583	-85	0.133	0.187	0.680	-85	0.099	0.137	0.764
-80	0.183	0.234	0.583	-80	0.142	0.177	0.680	-80	0.107	0.129	0.764
-75	0.198	0.221	0.581	-75	0.155	0.167	0.678	-75	0.117	0.121	0.762
-70	0.217	0.207	0.576	-70	0.171	0.156	0.673	-70	0.130	0.112	0.758
-65	0.245	0.189	0.566	-65	0.195	0.142	0.664	-65	0.149	0.102	0.749
-60	0.282	0.167	0.550	-60	0.227	0.125	0.648	-60	0.176	0.090	0.735
-55	0.390	0.135	0.475	-55	0.337	0.101	0.562	-55	0.288	0.072	0.639
-50	0.560	0.097	0.343	-50	0.522	0.073	0.406	-50	0.486	0.052	0.462
-45	0.697	0.067	0.236	-45	0.671	0.050	0.279	-45	0.646	0.036	0.318
-40	0.812	0.041	0.146	-40	0.796	0.031	0.173	-40	0.781	0.022	0.197
-35	0.912	0.019	0.069	-35	0.904	0.015	0.081	-35	0.897	0.010	0.092
-30	1.000	0.000	0.000	-30	1.000	0.000	0.000	-30	1.000	0.000	0.000
-25	0.902	0.036	0.062	-25	0.898	0.029	0.073	-25	0.894	0.023	0.083
-20	0.812	0.069	0.119	-20	0.804	0.056	0.141	-20	0.796	0.043	0.160
-15	0.727	0.100	0.173	-15	0.715	0.081	0.204	-15	0.705	0.063	0.233
-10	0.647	0.129	0.224	-10	0.631	0.104	0.265	-10	0.617	0.081	0.301
-5	0.568	0.158	0.273	-5	0.549	0.125	0.323	-5	0.533	0.099	0.368
0	0.491	0.186	0.322	0	0.469	0.150	0.381	0	0.449	0.117	0.434
5	0.414	0.215	0.371	5	0.388	0.173	0.439	5	0.366	0.135	0.500
10	0.336	0.243	0.421	10	0.306	0.196	0.497	10	0.281	0.153	0.566
15	0.255	0.273	0.472	15	0.222	0.220	0.558	15	0.193	0.171	0.635
20	0.171	0.304	0.525	20	0.133	0.245	0.621	20	0.102	0.191	0.707
25	0.145	0.322	0.533	25	0.102	0.261	0.631	25	0.077	0.203	0.720
30	0.136	0.336	0.526	30	0.101	0.272	0.626	30	0.072	0.213	0.715
35	0.129	0.349	0.523	35	0.096	0.284	0.621	35	0.068	0.222	0.710
40	0.122	0.361	0.517	40	0.090	0.294	0.615	40	0.064	0.231	0.705
45	0.115	0.373	0.512	45	0.086	0.304	0.610	45	0.061	0.239	0.700
50	0.109	0.384	0.506	50	0.081	0.314	0.605	50	0.058	0.247	0.695
55	0.104	0.395	0.501	55	0.077	0.324	0.599	55	0.055	0.255	0.690
60	0.099	0.406	0.495	60	0.073	0.333	0.594	60	0.052	0.263	0.685
65	0.093	0.417	0.490	65	0.069	0.342	0.588	65	0.049	0.270	0.680
70	0.088	0.427	0.484	70	0.066	0.351	0.583	70	0.047	0.278	0.676
75	0.083	0.437	0.479	75	0.062	0.360	0.578	75	0.044	0.285	0.671
80	0.079	0.448	0.474	80	0.059	0.369	0.573	80	0.042	0.292	0.666
85	0.074	0.458	0.468	85	0.055	0.378	0.567	85	0.039	0.299	0.661

$\alpha = 0.7$				$\alpha = 0.8$				$\alpha = 0.9$			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.070	0.094	0.837	-85	0.044	0.057	0.899	-85	0.021	0.026	0.953
-80	0.075	0.088	0.837	-80	0.048	0.053	0.899	-80	0.023	0.024	0.953
-75	0.083	0.082	0.835	-75	0.053	0.049	0.898	-75	0.025	0.022	0.953
-70	0.091	0.075	0.831	-70	0.060	0.045	0.895	-70	0.029	0.020	0.951
-65	0.108	0.068	0.824	-65	0.070	0.040	0.890	-65	0.034	0.018	0.948
-60	0.128	0.050	0.812	-60	0.083	0.035	0.881	-60	0.041	0.016	0.944
-55	0.242	0.048	0.710	-55	0.198	0.029	0.773	-55	0.156	0.012	0.831
-50	0.453	0.035	0.512	-50	0.421	0.021	0.558	-50	0.391	0.009	0.600
-45	0.623	0.024	0.352	-45	0.602	0.014	0.384	-45	0.581	0.006	0.413
-40	0.767	0.015	0.218	-40	0.753	0.009	0.238	-40	0.740	0.004	0.256
-35	0.891	0.007	0.102	-35	0.884	0.004	0.112	-35	0.878	0.002	0.120
-30	1.000	0.000	0.000	-30	1.000	0.000	0.000	-30	1.000	0.000	0.000
-25	0.891	0.016	0.093	-25	0.888	0.011	0.101	-25	0.886	0.005	0.108
-20	0.790	0.032	0.178	-20	0.785	0.021	0.194	-20	0.781	0.010	0.208
-15	0.696	0.046	0.258	-15	0.689	0.030	0.281	-15	0.683	0.015	0.302
-10	0.606	0.060	0.334	-10	0.597	0.039	0.364	-10	0.589	0.019	0.392
-5	0.519	0.073	0.409	-5	0.507	0.047	0.445	-5	0.498	0.023	0.479
0	0.433	0.086	0.481	0	0.419	0.056	0.525	0	0.408	0.028	0.564
5	0.347	0.099	0.554	5	0.331	0.064	0.604	5	0.319	0.032	0.649
10	0.260	0.112	0.629	10	0.242	0.073	0.685	10	0.228	0.036	0.736
15	0.170	0.125	0.705	15	0.150	0.082	0.768	15	0.134	0.040	0.826
20	0.075	0.140	0.785	20	0.053	0.091	0.855	20	0.036	0.045	0.920
25	0.051	0.149	0.800	25	0.030	0.097	0.872	25	0.013	0.048	0.939
30	0.048	0.156	0.796	30	0.028	0.103	0.869	30	0.012	0.051	0.937
35	0.045	0.164	0.792	35	0.026	0.107	0.866	35	0.011	0.053	0.936
40	0.042	0.170	0.787	40	0.025	0.112	0.863	40	0.011	0.055	0.934
45	0.040	0.177	0.783	45	0.023	0.116	0.860	45	0.010	0.058	0.932
50	0.038	0.183	0.779	50	0.022	0.121	0.857	50	0.009	0.060	0.931
55	0.036	0.189	0.775	55	0.021	0.125	0.854	55	0.009	0.062	0.929
60	0.034	0.195	0.771	60	0.020	0.129	0.851	60	0.009	0.064	0.928
65	0.033	0.201	0.767	65	0.019	0.133	0.849	65	0.008	0.066	0.926
70	0.031	0.206	0.763	70	0.018	0.136	0.846	70	0.008	0.068	0.925
75	0.029	0.212	0.759	75	0.017	0.140	0.843	75	0.007	0.070	0.923
80	0.028	0.217	0.755	80	0.016	0.144	0.840	80	0.007	0.072	0.921
85	0.026	0.223	0.751	85	0.015	0.148	0.837	85	0.007	0.073	0.920

forts.

$\alpha = 45^\circ$

a = 0.1				a = 0.2				a = 0.3			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.361	0.453	0.185	-85	0.295	0.361	0.344	-85	0.239	0.282	0.479
-80	0.389	0.428	0.182	-80	0.322	0.340	0.338	-80	0.264	0.265	0.472
-75	0.434	0.389	0.176	-75	0.365	0.308	0.327	-75	0.303	0.239	0.458
-70	0.505	0.330	0.165	-70	0.430	0.262	0.309	-70	0.362	0.203	0.435
-65	0.601	0.253	0.146	-65	0.522	0.201	0.277	-65	0.449	0.157	0.394
-60	0.745	0.162	0.094	-60	0.694	0.129	0.177	-60	0.647	0.100	0.252
-55	0.851	0.095	0.055	-55	0.821	0.075	0.104	-55	0.794	0.059	0.148
-50	0.933	0.042	0.025	-50	0.920	0.034	0.046	-50	0.908	0.026	0.066
-45	1.000	0.000	0.000	-45	1.000	0.000	0.000	-45	1.000	0.000	0.000
-40	0.899	0.080	0.021	-40	0.892	0.069	0.039	-40	0.886	0.054	0.055
-35	0.812	0.150	0.039	-35	0.798	0.129	0.073	-35	0.787	0.110	0.103
-30	0.735	0.211	0.054	-30	0.716	0.182	0.102	-30	0.699	0.155	0.146
-25	0.665	0.267	0.068	-25	0.641	0.230	0.129	-25	0.620	0.196	0.184
-20	0.601	0.318	0.081	-20	0.572	0.274	0.154	-20	0.547	0.233	0.219
-15	0.540	0.366	0.094	-15	0.507	0.315	0.177	-15	0.479	0.269	0.252
-10	0.483	0.412	0.105	-10	0.446	0.355	0.199	-10	0.414	0.302	0.284
-5	0.427	0.456	0.117	-5	0.386	0.393	0.221	-5	0.351	0.335	0.314
0	0.372	0.500	0.128	0	0.327	0.431	0.242	0	0.288	0.367	0.345
5	0.317	0.544	0.139	5	0.268	0.469	0.263	5	0.226	0.399	0.375
10	0.262	0.588	0.150	10	0.208	0.507	0.285	10	0.163	0.432	0.405
15	0.246	0.605	0.148	15	0.196	0.523	0.281	15	0.152	0.447	0.401
20	0.233	0.621	0.146	20	0.185	0.538	0.277	20	0.144	0.461	0.395
25	0.221	0.636	0.143	25	0.175	0.552	0.273	25	0.136	0.474	0.390
30	0.209	0.650	0.141	30	0.166	0.566	0.269	30	0.129	0.486	0.385
35	0.198	0.664	0.139	35	0.157	0.579	0.265	35	0.122	0.498	0.380
40	0.187	0.677	0.136	40	0.148	0.591	0.261	40	0.115	0.510	0.376
45	0.176	0.690	0.134	45	0.140	0.603	0.257	45	0.108	0.521	0.371
50	0.166	0.702	0.132	50	0.132	0.615	0.253	50	0.102	0.531	0.366
55	0.156	0.714	0.130	55	0.124	0.626	0.250	55	0.096	0.542	0.362
60	0.146	0.726	0.128	60	0.116	0.638	0.246	60	0.090	0.552	0.358
65	0.136	0.738	0.126	65	0.108	0.649	0.243	65	0.085	0.562	0.353
70	0.127	0.750	0.124	70	0.101	0.660	0.239	70	0.079	0.572	0.349
75	0.117	0.761	0.122	75	0.094	0.670	0.236	75	0.073	0.582	0.345
80	0.106	0.773	0.120	80	0.086	0.681	0.233	80	0.068	0.591	0.341
85	0.099	0.784	0.118	85	0.079	0.691	0.230	85	0.062	0.601	0.337

a = 0.4				a = 0.5				a = 0.6			
-85	0.191	0.215	0.594	-85	0.149	0.158	0.693	-85	0.112	0.111	0.777
-80	0.213	0.201	0.586	-80	0.168	0.147	0.685	-80	0.128	0.102	0.769
-75	0.248	0.181	0.571	-75	0.198	0.132	0.670	-75	0.153	0.091	0.756
-70	0.300	0.154	0.546	-70	0.243	0.112	0.645	-70	0.190	0.078	0.733
-65	0.380	0.119	0.501	-65	0.316	0.087	0.597	-65	0.254	0.061	0.685
-60	0.604	0.076	0.320	-60	0.562	0.056	0.382	-60	0.523	0.039	0.438
-55	0.768	0.045	0.187	-55	0.744	0.033	0.223	-55	0.721	0.023	0.256
-50	0.896	0.020	0.084	-50	0.885	0.015	0.100	-50	0.875	0.010	0.115
-45	1.000	0.000	0.000	-45	1.000	0.000	0.000	-45	1.000	0.000	0.000
-40	0.880	0.049	0.070	-40	0.876	0.040	0.084	-40	0.872	0.030	0.096
-35	0.777	0.092	0.131	-35	0.768	0.075	0.156	-35	0.761	0.059	0.179
-30	0.685	0.130	0.185	-30	0.674	0.106	0.220	-30	0.664	0.083	0.253
-25	0.603	0.164	0.233	-25	0.580	0.134	0.278	-25	0.575	0.105	0.319
-20	0.526	0.195	0.278	-20	0.509	0.159	0.332	-20	0.494	0.125	0.381
-15	0.455	0.225	0.320	-15	0.435	0.184	0.382	-15	0.418	0.144	0.438
-10	0.387	0.253	0.360	-10	0.364	0.207	0.430	-10	0.345	0.162	0.493
-5	0.321	0.280	0.399	-5	0.295	0.229	0.476	-5	0.274	0.180	0.546
0	0.255	0.307	0.437	0	0.228	0.251	0.522	0	0.204	0.197	0.598
5	0.190	0.334	0.476	5	0.160	0.273	0.567	5	0.135	0.214	0.651
10	0.124	0.361	0.514	10	0.091	0.295	0.614	10	0.064	0.232	0.701
15	0.116	0.375	0.519	15	0.084	0.307	0.609	15	0.059	0.242	0.700
20	0.109	0.387	0.504	20	0.080	0.318	0.603	20	0.055	0.250	0.694
25	0.103	0.399	0.498	25	0.075	0.328	0.597	25	0.052	0.259	0.689
30	0.097	0.410	0.492	30	0.071	0.337	0.592	30	0.049	0.267	0.684
35	0.092	0.421	0.487	35	0.067	0.346	0.586	35	0.047	0.274	0.679
40	0.087	0.431	0.482	40	0.064	0.355	0.581	40	0.044	0.282	0.674
45	0.082	0.441	0.477	45	0.060	0.364	0.576	45	0.042	0.289	0.670
50	0.078	0.451	0.472	50	0.057	0.372	0.571	50	0.039	0.295	0.665
55	0.073	0.460	0.467	55	0.054	0.380	0.566	55	0.037	0.302	0.661
60	0.069	0.469	0.462	60	0.050	0.388	0.562	60	0.035	0.308	0.657
65	0.064	0.478	0.458	65	0.047	0.395	0.557	65	0.033	0.314	0.652
70	0.060	0.487	0.453	70	0.044	0.403	0.553	70	0.031	0.321	0.648
75	0.056	0.495	0.449	75	0.041	0.410	0.548	75	0.029	0.327	0.644
80	0.052	0.504	0.444	80	0.039	0.417	0.544	80	0.027	0.332	0.640
85	0.048	0.512	0.440	85	0.036	0.425	0.540	85	0.025	0.338	0.636

forts.

$\alpha = 45^\circ$

$a = 0.7$				$a = 0.8$				$a = 0.9$			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.080	0.072	0.848	-85	0.051	0.040	0.904	-85	0.025	0.017	0.959
-80	0.093	0.066	0.842	-80	0.060	0.037	0.904	-80	0.029	0.015	0.950
-75	0.111	0.058	0.830	-75	0.072	0.032	0.895	-75	0.036	0.013	0.951
-70	0.139	0.050	0.811	-70	0.091	0.027	0.881	-70	0.045	0.011	0.944
-65	0.196	0.039	0.766	-65	0.139	0.022	0.840	-65	0.083	0.009	0.908
-60	0.486	0.025	0.490	-60	0.449	0.014	0.537	-60	0.414	0.006	0.581
-55	0.699	0.015	0.286	-55	0.678	0.008	0.314	-55	0.657	0.003	0.340
-50	0.865	0.007	0.128	-50	0.856	0.004	0.141	-50	0.846	0.001	0.152
-45	1.000	0.000	0.000	-45	1.000	0.000	0.000	-45	1.000	0.000	0.000
-40	0.869	0.023	0.108	-40	0.867	0.015	0.118	-40	0.865	0.008	0.128
-35	0.756	0.044	0.201	-35	0.751	0.029	0.220	-35	0.748	0.014	0.238
-30	0.656	0.062	0.283	-30	0.649	0.041	0.310	-30	0.645	0.020	0.335
-25	0.565	0.078	0.357	-25	0.557	0.051	0.302	-25	0.551	0.025	0.423
-20	0.482	0.093	0.425	-20	0.472	0.061	0.467	-20	0.465	0.030	0.505
-15	0.404	0.107	0.490	-15	0.393	0.070	0.537	-15	0.384	0.035	0.581
-10	0.329	0.120	0.551	-10	0.317	0.079	0.604	-10	0.307	0.039	0.653
-5	0.257	0.133	0.610	-5	0.243	0.088	0.669	-5	0.233	0.043	0.724
0	0.185	0.146	0.669	0	0.170	0.096	0.734	0	0.159	0.048	0.793
5	0.114	0.158	0.727	5	0.098	0.104	0.798	5	0.086	0.052	0.863
10	0.242	0.171	0.787	10	0.024	0.113	0.853	10	0.011	0.056	0.933
15	0.037	0.179	0.784	15	0.021	0.118	0.861	15	0.008	0.059	0.933
20	0.035	0.156	0.779	20	0.020	0.123	0.858	20	0.008	0.061	0.931
25	0.033	0.192	0.775	25	0.018	0.127	0.855	25	0.007	0.063	0.929
30	0.031	0.199	0.770	30	0.017	0.131	0.851	30	0.007	0.065	0.928
35	0.030	0.204	0.766	35	0.017	0.135	0.848	35	0.007	0.067	0.926
40	0.028	0.210	0.762	40	0.016	0.139	0.845	40	0.006	0.069	0.925
45	0.027	0.215	0.758	45	0.015	0.142	0.843	45	0.006	0.071	0.923
50	0.025	0.220	0.755	50	0.014	0.146	0.840	50	0.006	0.073	0.922
55	0.024	0.225	0.751	55	0.013	0.149	0.837	55	0.006	0.074	0.920
60	0.023	0.230	0.747	60	0.013	0.153	0.835	60	0.005	0.076	0.919
65	0.021	0.235	0.744	65	0.012	0.156	0.832	65	0.005	0.078	0.917
70	0.020	0.239	0.740	70	0.011	0.159	0.830	70	0.005	0.079	0.916
75	0.019	0.244	0.737	75	0.011	0.162	0.827	75	0.005	0.081	0.915
80	0.018	0.248	0.734	80	0.010	0.165	0.825	80	0.004	0.082	0.913
85	0.017	0.253	0.731	85	0.010	0.168	0.822	85	0.004	0.084	0.912

$\alpha = 60^\circ$

$a = 0.1$				$a = 0.2$				$a = 0.3$			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.374	0.444	0.182	-85	0.312	0.349	0.340	-85	0.257	0.267	0.476
-80	0.471	0.362	0.167	-80	0.402	0.284	0.314	-80	0.340	0.217	0.443
-75	0.617	0.240	0.144	-75	0.536	0.189	0.275	-75	0.461	0.145	0.394
-70	0.790	0.126	0.084	-70	0.740	0.100	0.161	-70	0.691	0.077	0.232
-65	0.915	0.051	0.034	-65	0.894	0.040	0.065	-65	0.875	0.031	0.094
-60	1.000	0.000	0.000	-60	1.000	0.000	0.000	-60	1.000	0.000	0.000
-55	0.855	0.120	0.025	-55	0.847	0.104	0.048	-55	0.841	0.090	0.069
-50	0.743	0.213	0.045	-50	0.729	0.186	0.086	-50	0.717	0.160	0.123
-45	0.652	0.288	0.060	-45	0.633	0.251	0.116	-45	0.616	0.217	0.167
-40	0.575	0.351	0.074	-40	0.552	0.307	0.141	-40	0.532	0.264	0.204
-35	0.509	0.406	0.085	-35	0.482	0.354	0.163	-35	0.459	0.305	0.236
-30	0.450	0.454	0.095	-30	0.420	0.397	0.183	-30	0.395	0.342	0.264
-25	0.398	0.498	0.104	-25	0.365	0.435	0.200	-25	0.336	0.374	0.289
-20	0.349	0.538	0.113	-20	0.313	0.470	0.217	-20	0.283	0.405	0.313
-15	0.303	0.576	0.121	-15	0.265	0.503	0.232	-15	0.232	0.433	0.334
-10	0.259	0.612	0.128	-10	0.219	0.534	0.246	-10	0.184	0.460	0.355
-5	0.217	0.647	0.136	-5	0.175	0.565	0.260	-5	0.138	0.487	0.376
0	0.197	0.667	0.136	0	0.156	0.583	0.261	0	0.120	0.503	0.377
5	0.186	0.681	0.134	5	0.147	0.596	0.257	5	0.113	0.515	0.372
10	0.175	0.694	0.131	10	0.138	0.609	0.253	10	0.106	0.527	0.367
15	0.164	0.706	0.129	15	0.129	0.621	0.250	15	0.100	0.537	0.363
20	0.154	0.718	0.128	20	0.122	0.632	0.247	20	0.094	0.548	0.359
25	0.145	0.729	0.126	25	0.114	0.642	0.244	25	0.088	0.557	0.355
30	0.136	0.740	0.124	30	0.107	0.652	0.241	30	0.083	0.566	0.351
35	0.127	0.751	0.122	35	0.100	0.662	0.238	35	0.077	0.575	0.347
40	0.119	0.761	0.121	40	0.094	0.671	0.235	40	0.072	0.584	0.344
45	0.110	0.770	0.119	45	0.087	0.680	0.232	45	0.067	0.592	0.341
50	0.103	0.780	0.118	50	0.081	0.689	0.230	50	0.063	0.600	0.337
55	0.095	0.789	0.116	55	0.075	0.698	0.227	55	0.058	0.608	0.334
60	0.087	0.798	0.115	60	0.069	0.706	0.225	60	0.054	0.615	0.331
65	0.080	0.807	0.113	65	0.063	0.714	0.222	65	0.049	0.622	0.328
70	0.072	0.816	0.112	70	0.058	0.722	0.220	70	0.045	0.630	0.325
75	0.065	0.824	0.110	75	0.052	0.730	0.218	75	0.041	0.637	0.322
80	0.058	0.833	0.109	80	0.047	0.738	0.216	80	0.037	0.644	0.320
85	0.051	0.841	0.108	85	0.041	0.746	0.213	85	0.032	0.651	0.317



$\alpha = 60^\circ$

a= 0.4				a= 0.5				a= 0.6			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.209	0.198	0.593	-85	0.167	0.141	0.693	-85	0.128	0.094	0.778
-80	0.283	0.161	0.556	-80	0.230	0.114	0.656	-80	0.180	0.076	0.744
-75	0.388	0.108	0.503	-75	0.319	0.077	0.603	-75	0.252	0.052	0.696
-70	0.645	0.057	0.298	-70	0.600	0.041	0.359	-70	0.556	0.028	0.416
-65	0.856	0.023	0.121	-65	0.837	0.017	0.146	-65	0.820	0.011	0.169
-60	1.000	0.000	0.000	-60	1.000	0.000	0.000	-60	1.000	0.000	0.000
-55	0.835	0.076	0.089	-55	0.830	0.063	0.107	-55	0.826	0.050	0.124
-50	0.706	0.135	0.158	-50	0.698	0.111	0.191	-50	0.691	0.088	0.221
-45	0.602	0.183	0.215	-45	0.590	0.151	0.259	-45	0.581	0.119	0.300
-40	0.515	0.223	0.262	-40	0.500	0.184	0.316	-40	0.489	0.146	0.366
-35	0.439	0.258	0.303	-35	0.423	0.213	0.365	-35	0.409	0.168	0.423
-30	0.373	0.289	0.339	-30	0.354	0.238	0.408	-30	0.339	0.188	0.473
-25	0.312	0.317	0.371	-25	0.292	0.261	0.447	-25	0.275	0.207	0.518
-20	0.257	0.342	0.401	-20	0.235	0.282	0.484	-20	0.216	0.223	0.560
-15	0.204	0.366	0.429	-15	0.181	0.302	0.518	-15	0.161	0.239	0.600
-10	0.155	0.389	0.456	-10	0.130	0.320	0.550	-10	0.109	0.254	0.637
-5	0.106	0.411	0.482	-5	0.080	0.339	0.581	-5	0.058	0.268	0.674
0	0.090	0.426	0.484	0	0.064	0.351	0.585	0	0.043	0.278	0.679
5	0.084	0.437	0.479	5	0.060	0.361	0.579	5	0.041	0.286	0.673
10	0.079	0.447	0.474	10	0.057	0.369	0.574	10	0.038	0.293	0.668
15	0.074	0.457	0.469	15	0.053	0.378	0.569	15	0.036	0.300	0.664
20	0.070	0.466	0.464	20	0.050	0.386	0.564	20	0.034	0.307	0.660
25	0.066	0.474	0.460	25	0.047	0.393	0.560	25	0.032	0.313	0.655
30	0.062	0.482	0.456	30	0.044	0.400	0.556	30	0.030	0.318	0.652
35	0.058	0.490	0.452	35	0.042	0.407	0.552	35	0.028	0.324	0.648
40	0.054	0.498	0.448	40	0.039	0.413	0.548	40	0.026	0.329	0.644
45	0.051	0.505	0.444	45	0.037	0.419	0.544	45	0.025	0.334	0.641
50	0.047	0.512	0.441	50	0.034	0.425	0.541	50	0.023	0.339	0.638
55	0.044	0.519	0.437	55	0.032	0.431	0.537	55	0.022	0.344	0.635
60	0.041	0.525	0.434	60	0.029	0.436	0.534	60	0.020	0.348	0.632
65	0.037	0.532	0.431	65	0.027	0.442	0.531	65	0.019	0.353	0.629
70	0.034	0.538	0.428	70	0.025	0.447	0.528	70	0.017	0.357	0.626
75	0.031	0.544	0.425	75	0.023	0.453	0.525	75	0.016	0.361	0.623
80	0.028	0.551	0.421	80	0.021	0.458	0.522	80	0.014	0.366	0.620
85	0.025	0.557	0.418	85	0.018	0.463	0.519	85	0.013	0.370	0.617

a= 0.7				a= 0.8				a= 0.9			
$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A	$\varphi$	T	R	A
-85	0.093	0.056	0.851	-85	0.060	0.029	0.911	-85	0.030	0.010	0.960
-80	0.133	0.046	0.822	-80	0.087	0.023	0.890	-80	0.043	0.008	0.949
-75	0.188	0.032	0.781	-75	0.124	0.016	0.860	-75	0.062	0.006	0.933
-70	0.514	0.017	0.469	-70	0.472	0.009	0.519	-70	0.431	0.003	0.565
-65	0.803	0.007	0.191	-65	0.786	0.004	0.211	-65	0.769	0.001	0.230
-60	1.000	0.000	0.000	-60	1.000	0.000	0.000	-60	1.000	0.000	0.000
-55	0.823	0.037	0.140	-55	0.820	0.024	0.155	-55	0.819	0.012	0.169
-50	0.685	0.065	0.250	-50	0.680	0.043	0.276	-50	0.677	0.022	0.301
-45	0.573	0.089	0.338	-45	0.567	0.059	0.374	-45	0.563	0.029	0.408
-40	0.479	0.108	0.413	-40	0.472	0.072	0.456	-40	0.467	0.036	0.497
-35	0.398	0.125	0.477	-35	0.390	0.083	0.527	-35	0.394	0.041	0.575
-30	0.326	0.140	0.533	-30	0.317	0.093	0.590	-30	0.311	0.046	0.643
-25	0.262	0.154	0.585	-25	0.251	0.102	0.647	-25	0.244	0.051	0.705
-20	0.202	0.166	0.632	-20	0.191	0.110	0.699	-20	0.183	0.055	0.762
-15	0.146	0.178	0.676	-15	0.134	0.118	0.748	-15	0.126	0.059	0.815
-10	0.092	0.189	0.719	-10	0.080	0.125	0.795	-10	0.071	0.062	0.866
-5	0.041	0.200	0.760	-5	0.027	0.132	0.840	-5	0.018	0.066	0.916
0	0.026	0.207	0.766	0	0.014	0.137	0.849	0	0.005	0.068	0.927
5	0.025	0.213	0.762	5	0.013	0.142	0.846	5	0.005	0.071	0.925
10	0.023	0.219	0.758	10	0.012	0.145	0.843	10	0.004	0.072	0.923
15	0.022	0.224	0.754	15	0.011	0.149	0.840	15	0.004	0.074	0.922
20	0.021	0.229	0.750	20	0.011	0.152	0.837	20	0.004	0.076	0.920
25	0.020	0.234	0.747	25	0.010	0.155	0.834	25	0.004	0.077	0.919
30	0.018	0.238	0.744	30	0.010	0.158	0.832	30	0.004	0.079	0.917
35	0.017	0.242	0.740	35	0.009	0.161	0.830	35	0.003	0.080	0.916
40	0.016	0.246	0.737	40	0.009	0.164	0.828	40	0.003	0.082	0.915
45	0.015	0.250	0.735	45	0.008	0.166	0.825	45	0.003	0.083	0.914
50	0.015	0.254	0.732	50	0.008	0.169	0.823	50	0.003	0.084	0.913
55	0.014	0.257	0.729	55	0.007	0.171	0.821	55	0.003	0.085	0.912
60	0.013	0.261	0.727	60	0.007	0.174	0.820	60	0.003	0.087	0.911
65	0.012	0.264	0.724	65	0.006	0.176	0.818	65	0.003	0.088	0.910
70	0.011	0.267	0.722	70	0.006	0.178	0.816	70	0.002	0.089	0.909
75	0.010	0.271	0.719	75	0.006	0.180	0.814	75	0.002	0.090	0.908
80	0.009	0.274	0.717	80	0.005	0.182	0.812	80	0.002	0.091	0.907
85	0.008	0.277	0.715	85	0.005	0.185	0.811	85	0.002	0.092	0.906

TAB. 3.51c Transmission, reflexion och absorption av diffus strålning, jämnt fördelad över och under horisonten, för en persienn vid varierande lamellutning,  $\alpha$ , och absorptionsfaktor hos lamellytan,  $a$ . Lamellerna är diffust reflekterande.  $w/s = 1,2$ .

a= 0				a= 0.1				a= 0.2			
$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A
C	0.681	0.319	0.000	0	0.626	0.264	0.110	0	0.579	0.217	0.204
10	0.673	0.327	0.000	10	0.618	0.271	0.110	10	0.571	0.224	0.205
20	0.649	0.351	0.000	20	0.595	0.294	0.111	20	0.549	0.245	0.206
30	0.609	0.391	0.000	30	0.557	0.332	0.112	30	0.512	0.279	0.209
40	0.554	0.446	0.000	40	0.503	0.384	0.113	40	0.460	0.328	0.212
50	0.482	0.518	0.000	50	0.435	0.451	0.114	50	0.394	0.389	0.217
60	0.396	0.604	0.000	60	0.353	0.532	0.115	60	0.315	0.464	0.221
70	0.297	0.703	0.000	70	0.260	0.624	0.116	70	0.227	0.548	0.225
80	0.197	0.803	0.000	80	0.166	0.717	0.117	80	0.138	0.633	0.229

a= 0.3				a= 0.4				a= 0.5			
$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A
0	0.539	0.177	0.285	C	0.504	0.142	0.355	0	0.473	0.111	0.417
10	0.531	0.183	0.286	10	0.496	0.147	0.357	10	0.466	0.115	0.419
20	0.509	0.202	0.289	20	0.475	0.163	0.362	20	0.444	0.129	0.426
30	0.473	0.233	0.295	30	0.439	0.191	0.370	30	0.409	0.153	0.438
40	0.422	0.276	0.301	40	0.389	0.229	0.381	40	0.361	0.185	0.453
50	0.358	0.332	0.310	50	0.328	0.278	0.394	50	0.301	0.227	0.472
60	0.283	0.399	0.318	60	0.254	0.337	0.409	60	0.230	0.277	0.493
70	0.198	0.474	0.327	70	0.173	0.403	0.424	70	0.152	0.333	0.515
80	0.114	0.550	0.336	80	0.093	0.469	0.438	80	0.075	0.389	0.535

a= 0.6				a= 0.7				a= 0.8			
$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A
0	0.446	0.083	0.471	0	0.421	0.059	0.520	0	0.399	0.037	0.563
10	0.439	0.087	0.474	10	0.414	0.062	0.523	10	0.393	0.039	0.568
20	0.418	0.099	0.483	20	0.394	0.071	0.535	20	0.374	0.045	0.581
30	0.384	0.118	0.498	30	0.361	0.086	0.553	30	0.342	0.055	0.603
40	0.337	0.145	0.519	40	0.316	0.106	0.578	40	0.298	0.069	0.633
50	0.278	0.178	0.543	50	0.259	0.132	0.609	50	0.244	0.087	0.669
60	0.210	0.219	0.571	60	0.193	0.163	0.644	60	0.180	0.108	0.712
70	0.134	0.265	0.601	70	0.120	0.198	0.682	70	0.110	0.131	0.759
80	0.061	0.310	0.629	80	0.050	0.232	0.718	80	0.041	0.154	0.804

a= 0.9				a= 1.0			
$\alpha$	T	R	A	$\alpha$	T	R	A
0	0.380	0.018	0.602	0	0.362	0.000	0.638
10	0.374	0.019	0.607	10	0.356	0.000	0.644
20	0.355	0.022	0.623	20	0.339	0.000	0.661
30	0.325	0.027	0.648	30	0.311	0.000	0.689
40	0.283	0.034	0.682	40	0.271	0.000	0.729
50	0.231	0.043	0.726	50	0.222	0.000	0.778
60	0.170	0.054	0.776	60	0.163	0.000	0.837
70	0.102	0.065	0.832	70	0.098	0.000	0.902
80	0.036	0.077	0.887	80	0.034	0.000	0.966

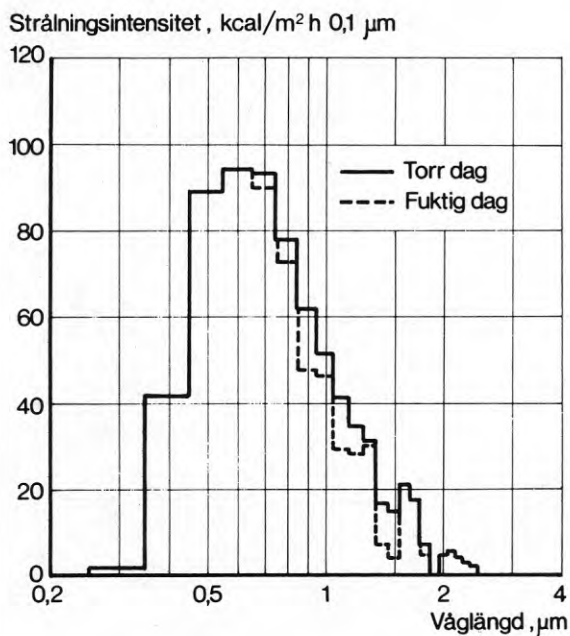


FIG. 3.2a. Spektralfördelning hos direkt solstrålning vid 30° solhöjd, beräknad ur Gages kurvor för torr och fuktig dag, enligt Pleijel (1958). (1 kcal/h = 1,16 W).

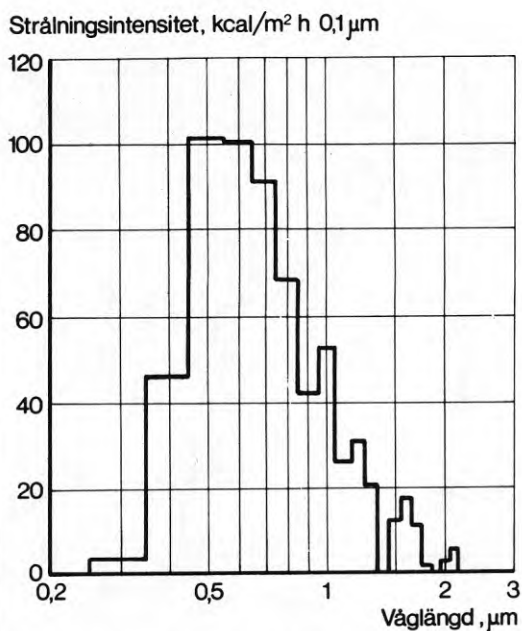


FIG. 3.2b. Spektralfördelning hos direkt solstrålning vid 30° solhöjd, beräknad ur Moons "standardkurva", enligt Pleijel (1958). (1 kcal/h = 1,16 W).

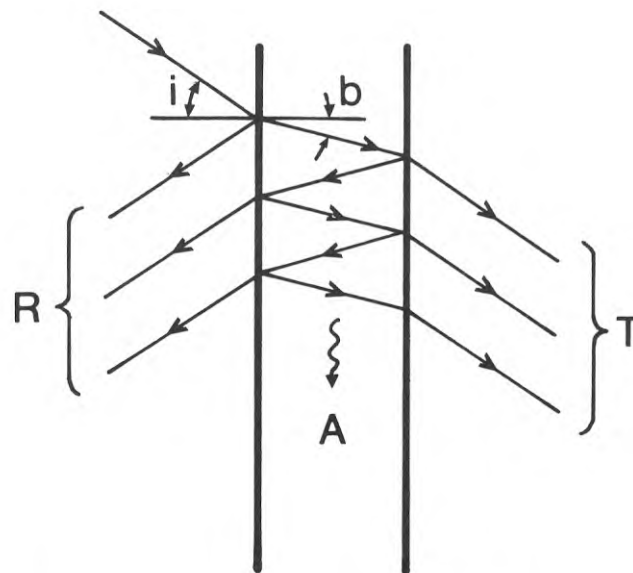


FIG. 3.41a Strålgången i en glasruta

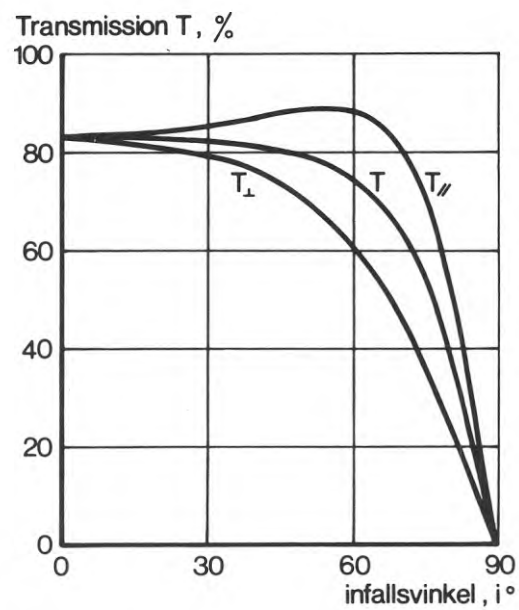


FIG. 3.41b Transmissionen genom en glasruta i de båda polarisationsriktningarna samt medelvärdet som funktion av infallsvinkeln. För glaset gäller  $a \cdot s = 0,1$ ,  $n = 1,52$

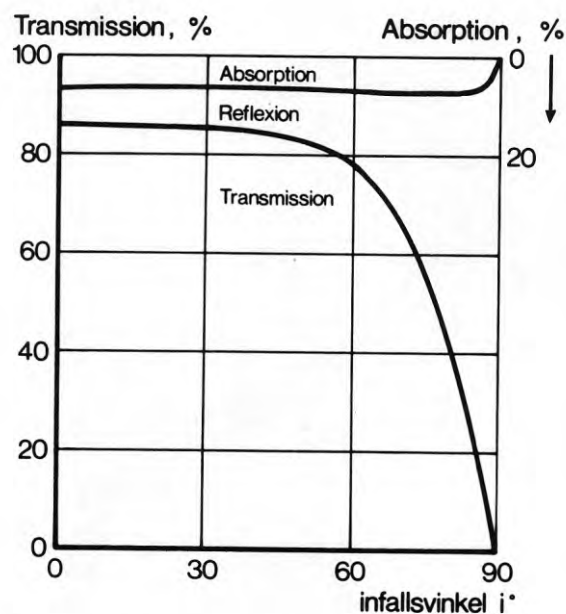


FIG. 3.41c Transmission, reflexion och absorption för en glasruta av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ,  $n = 1,52$ ) som funktion av infallsvinkeln

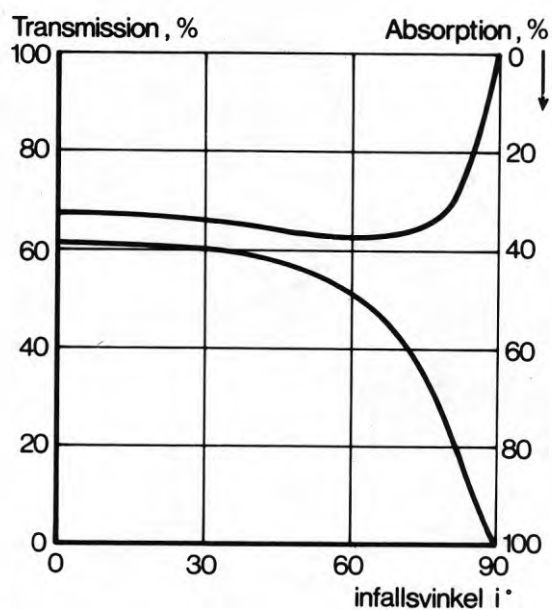


FIG. 3.41d Transmission, reflexion och absorption för ett värmeabsorberande glas ( $a \cdot s = 0,4$ ,  $n = 1,52$ )

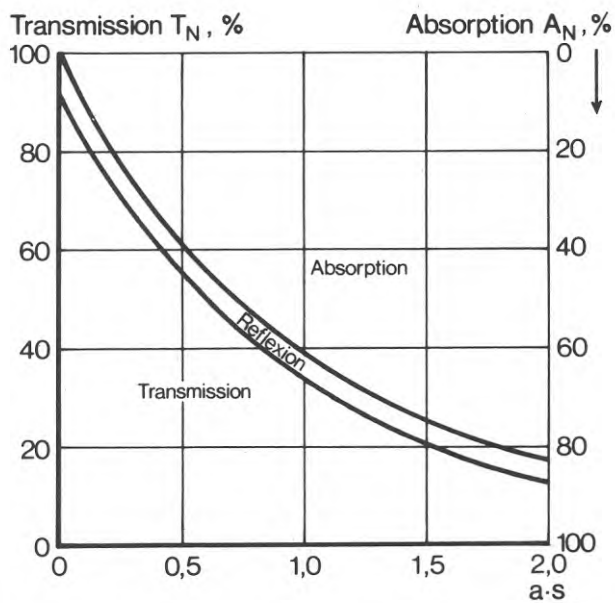


FIG. 3.41e Transmission, reflexion och absorption vid vinkelrätt infallande strålning som funktion av parametern  $a \cdot s$

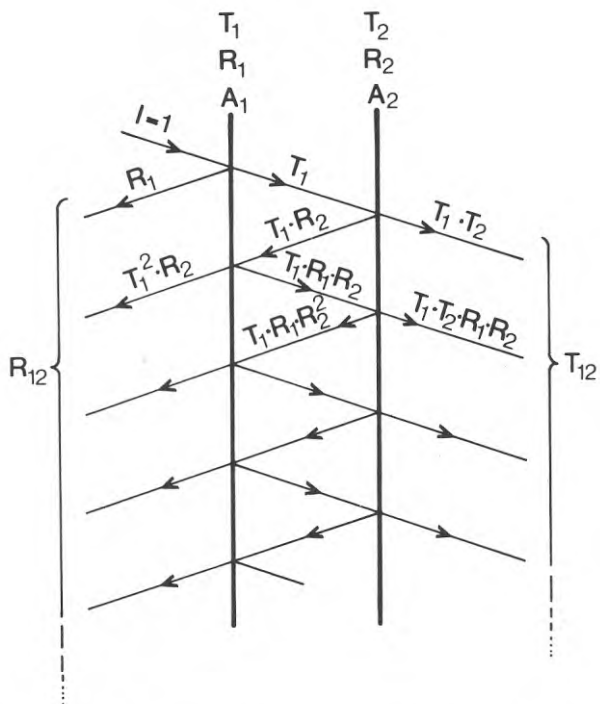


FIG. 3.41f Strålgången i ett tvåglasfönster

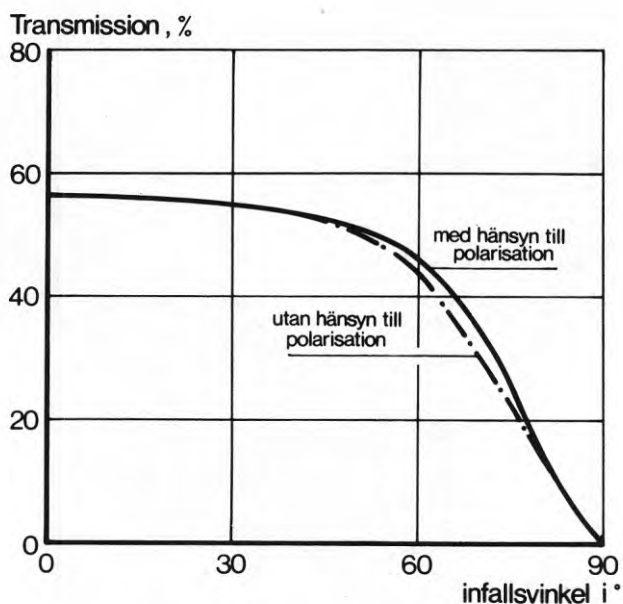


FIG. 3.41g Den direkta transmissionen genom ett tvåglasfönster ( $a \cdot s = 0,2$  för vart och ett av glasen) som funktion av infallsvinkeln beräknad dels med, dels utan hänsyn tagen till strålningens polarisation. Vid infallsvinklar  $< 40^\circ$  blir skillnaden försumbar

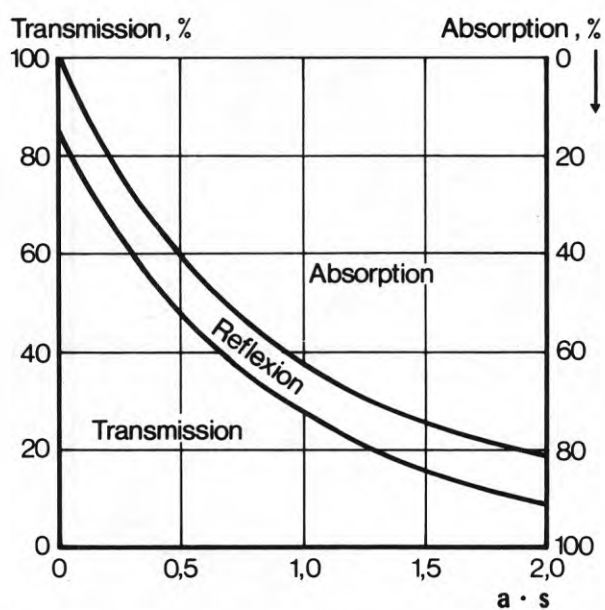


FIG. 3.42a Transmission, reflexion och absorption av jämnt fördelad diffus strålning som funktion av parametern  $a \cdot s$

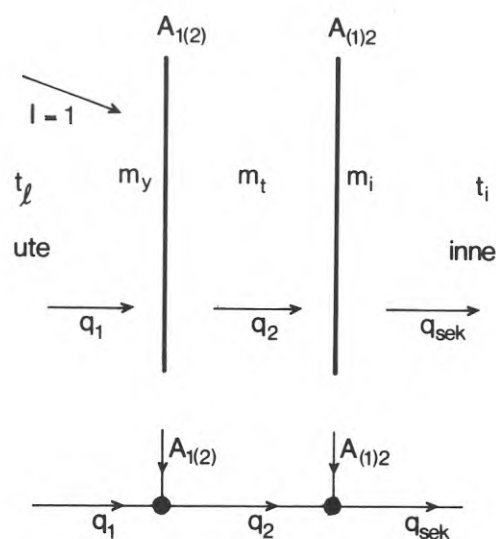


FIG. 3.43a Sekundär värmetransport vid ett tvåglasfönster

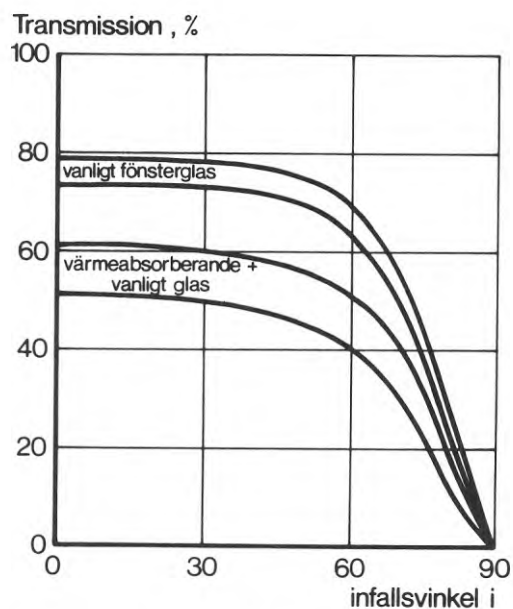


FIG. 3.44a Direkt och total strålningstransmission genom tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) samt en kombination av ett värmeabsorberande glas på utsidan och en ruta av vanligt fönsterglas.



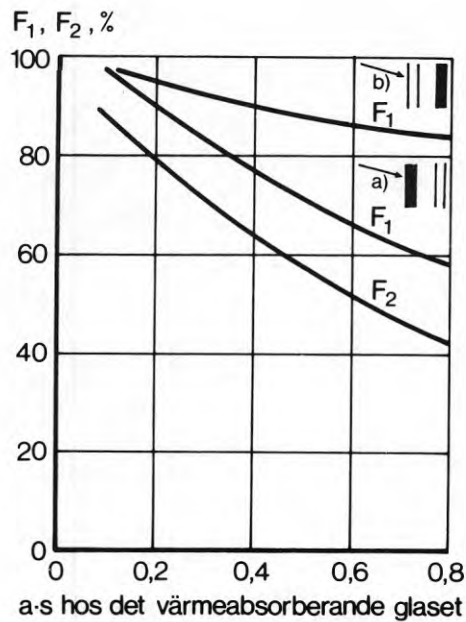


FIG. 3.45a Direkt och total transmission, uttryckta i avskärningsfaktorerna  $F_2$  och  $F_1$  genom ett tvåglasfönster med ett värmeabsorberande glas som funktion av parametern  $a \cdot s$  hos det värmeabsorberande glaset när detta är placerat a) utvändigt, b) invändigt. För det klara glaset är  $a \cdot s = 0,1$

FIG. 3.45b Inverkan av varierande värmemotstånd på utsidan på avskärningsfaktorn  $F_1$  för ett tvåglasfönster med värmeabsorberande glas på utsidan

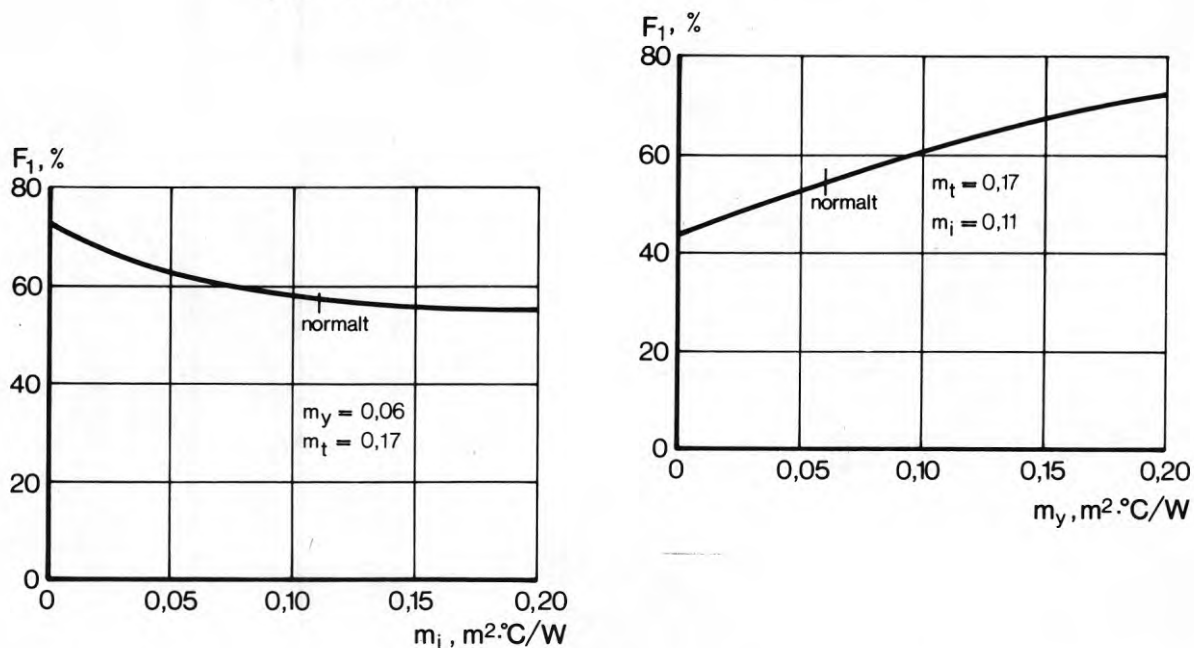


FIG. 3.45c Inverkan av varierande värmemotstånd på insidan på avskärningsfaktorn  $F_1$  för ett tvåglasfönster med värmeabsorberande glas på utsidan

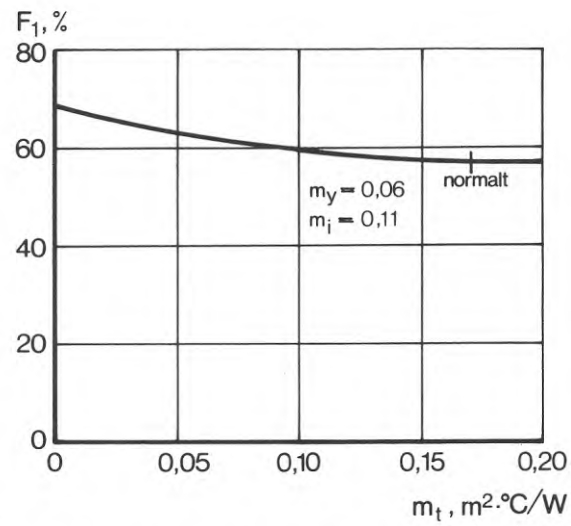


FIG. 3.45d Inverkan av varierande värmemotstånd mellan glaset på avskärmningsfaktorn  $F_1$  för ett tvåglasfönster med värmeabsorberande glas på utsidan

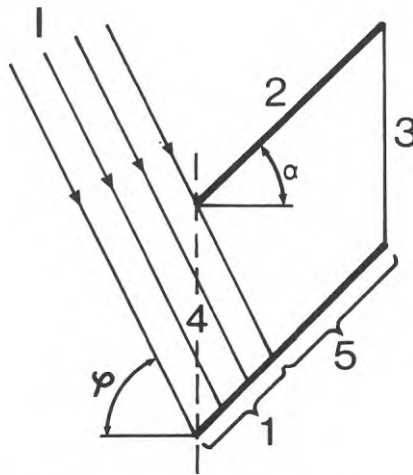


FIG. 3.51a Definition av vinklar och numrering av ytor för härledning av de optiska egenskaperna hos en persienn

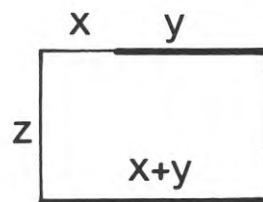


FIG. 3.51b Innebörden av beteckningarna använda i ekv (3.31)

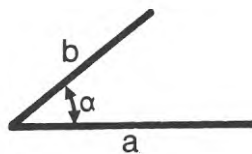


FIG. 3.51c Innebörden av beteckningarna använda i ekv (3.32)

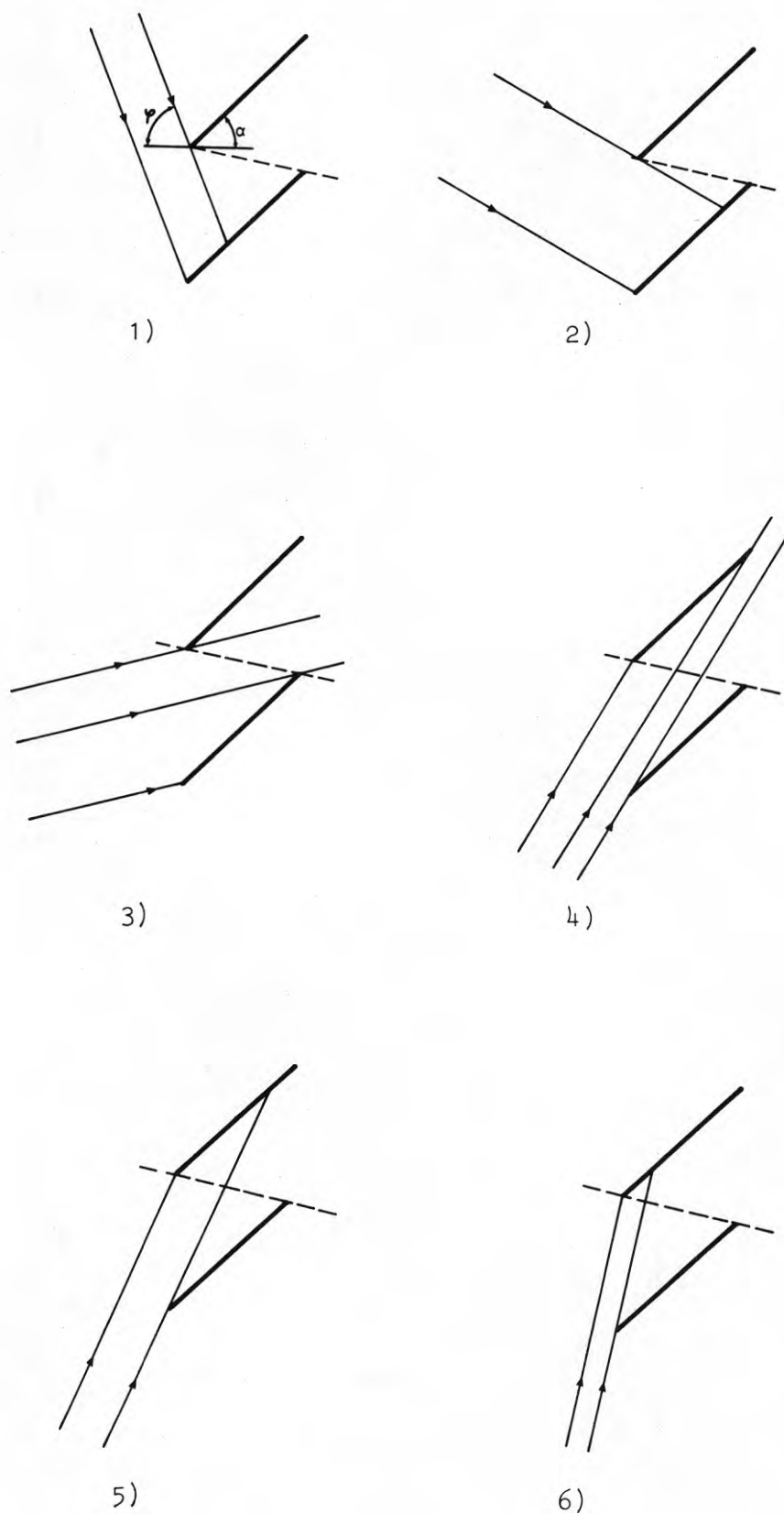


FIG. 3.51d Illustration av de 6 olika fall som måste särskiljas vid beräkning av persienners optiska egenskaper

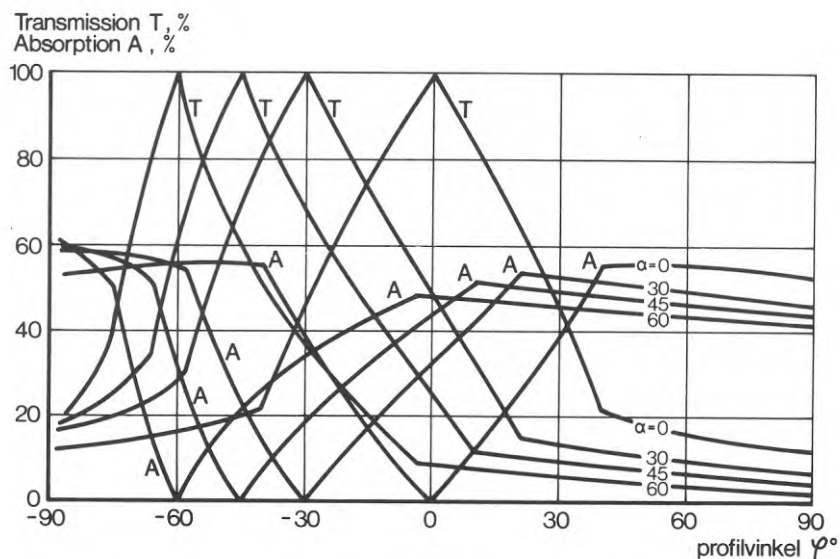


FIG. 3.51e Transmission och absorption, som funktion av profilvinkeln  $\varphi$  för en persienn vars lamellyta är diffust reflekterande och absorberar 40 % av infallande strålning ( $a = 0,4$ ) för lamellutningarna  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  och  $60^\circ$ . Förhållandet lamellbredd/delning,  $w/s = 1,2$ .

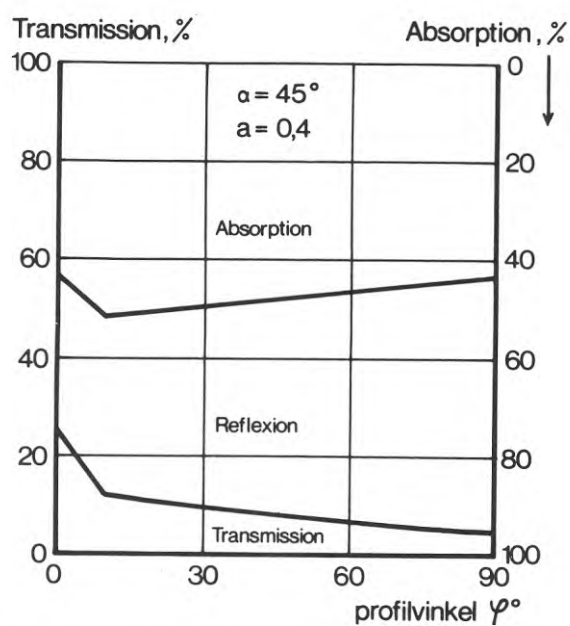


FIG. 3.51f Transmission, reflexion och absorption som funktion av profilvinkeln  $\varphi$  för en persienn med lutningsvinkeln  $\alpha = 45^\circ$  och lamellytans absorptionsfaktor  $a = 0,4$

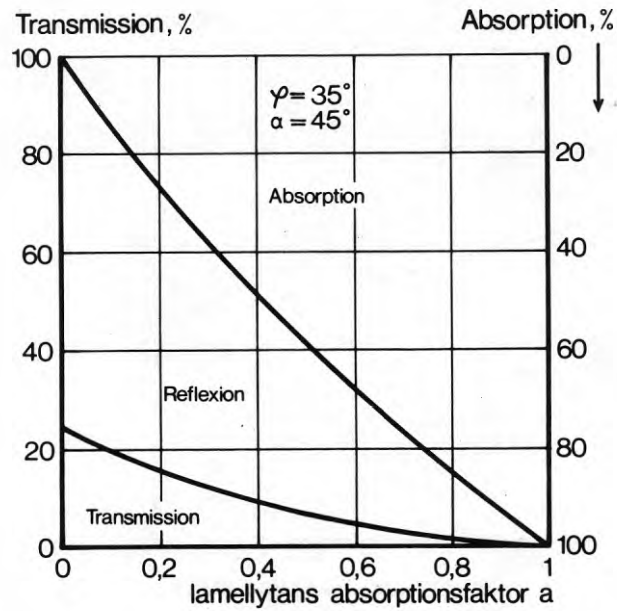


FIG. 3.51g Transmission, reflexion och absorption som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn med lamellutningen  $\alpha = 45^\circ$ . Profilvinkeln  $\varphi = 35^\circ$

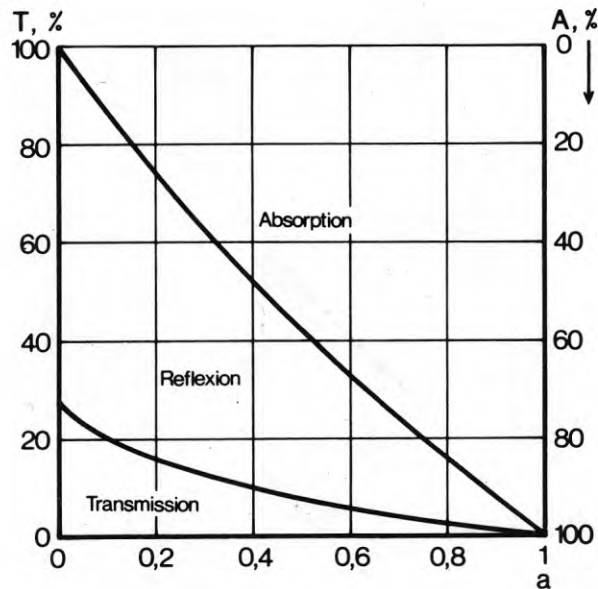


FIG. 3.51h Transmission, reflexion och absorption av jämnt fördelad himmelsstrålning som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn med lamellvinkeln  $\alpha = 45^\circ$

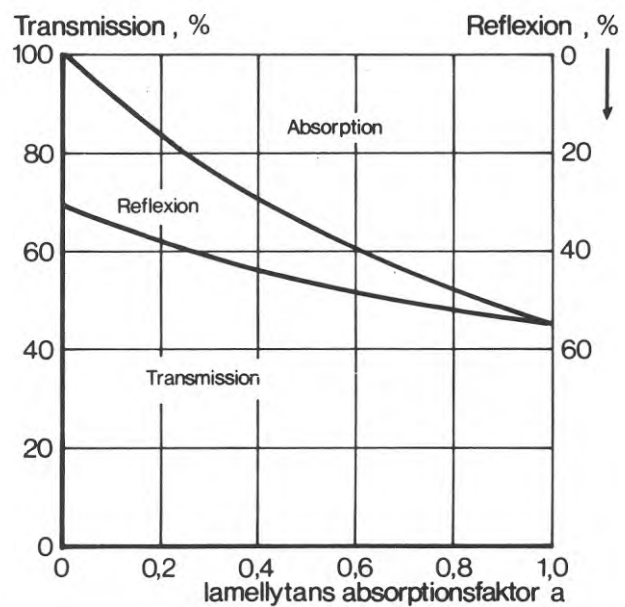


FIG. 3.51i Transmission, reflexion och absorption av markreflekterad jämnt fördelad diffus strålning som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn med lamellvinkeln  $\alpha = 45^\circ$

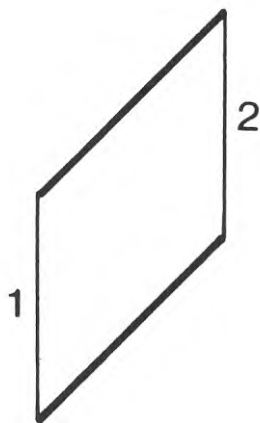


FIG. 3.51j

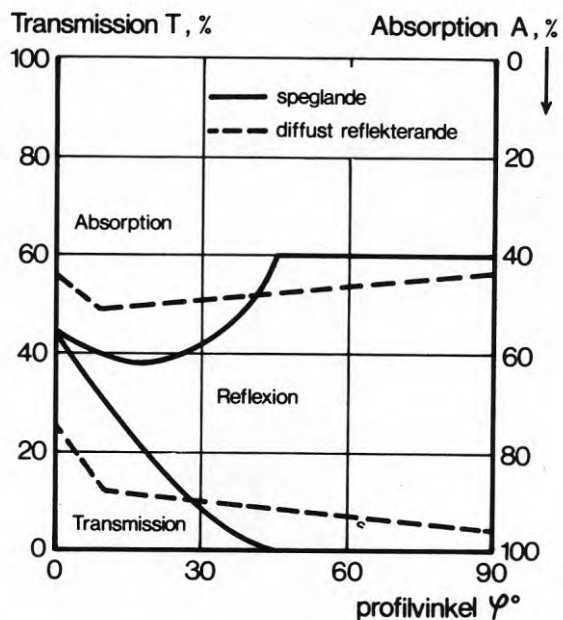


FIG. 3.52a Transmission, reflexion och absorption som funktion av profilvinkeln,  $\psi$ , för en persienn med speglande lameller och en persienn med diffust reflekterande lameller.  $\alpha = 45^\circ$ ,  $a = 0,4$ ,  $w/s = 1,2$

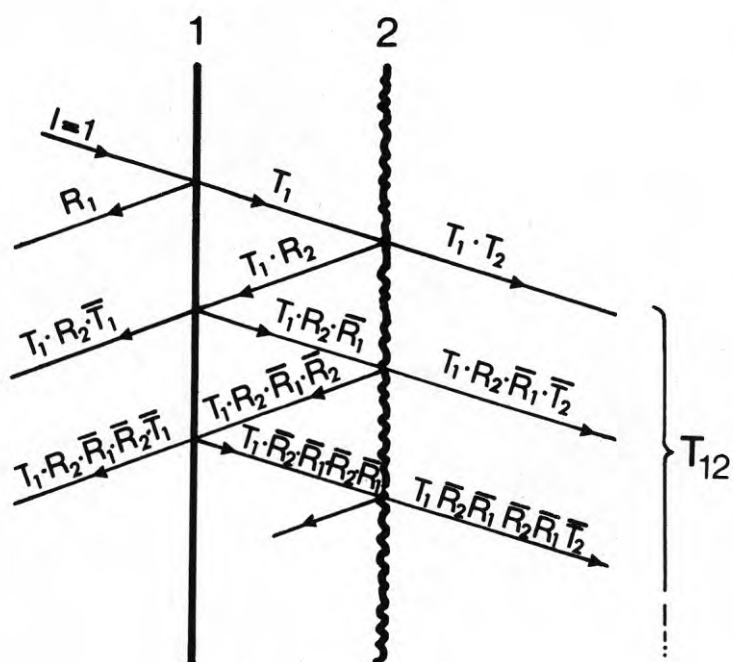


FIG. 3.61a Strålgången vid två skikt när det första i strålningsriktningen är klart och det andra är diffuserande

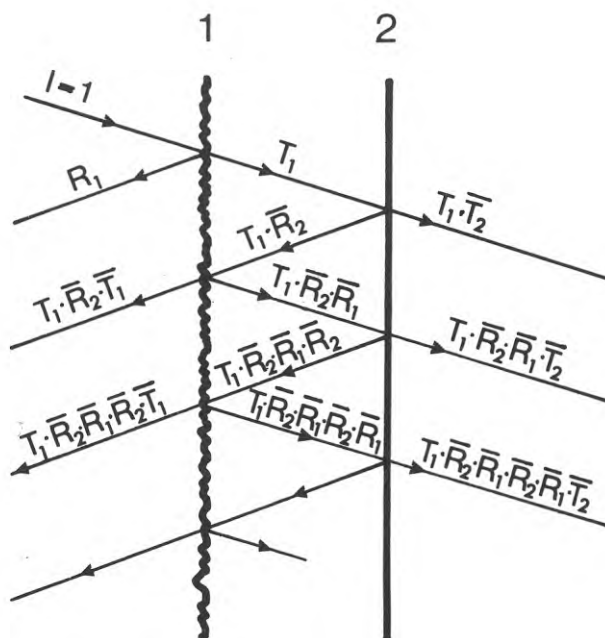


FIG. 3.61b Strålgången vid två skikt när det första i strålningsriktningen är diffuserande och det andra är klart

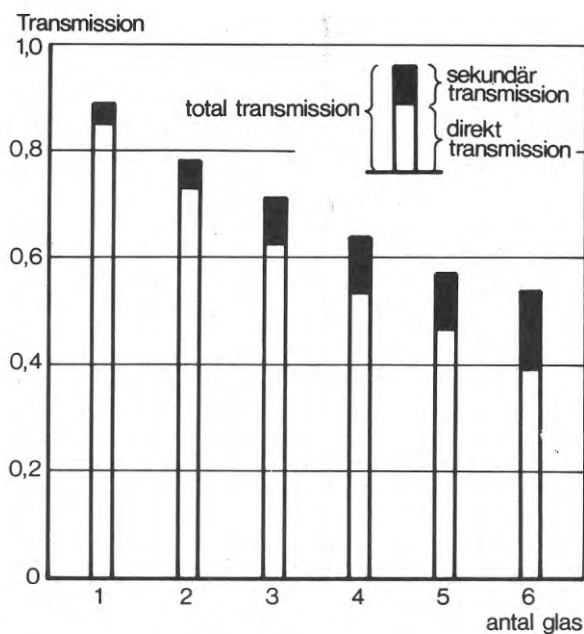


FIG. 3.63a Direkt och total transmission genom ett fönster med olika antal glas, enligt datorberäkningar



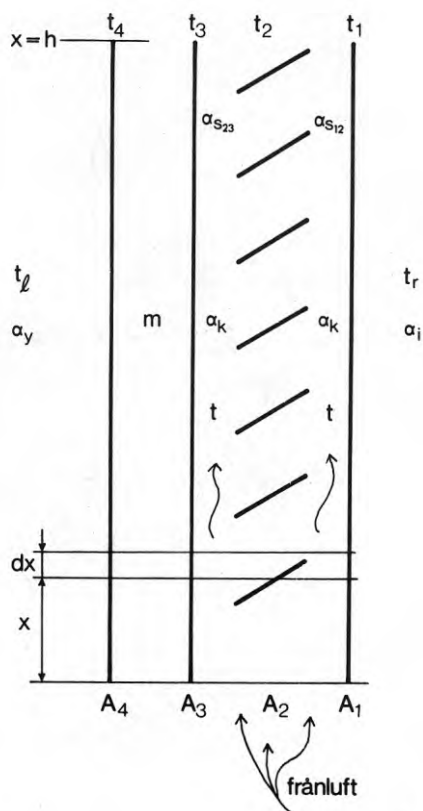


FIG. 3.71a Beteckningar använda vid härledning av värmebalansekvationer för frånluftsfönster.  $A_1$  betecknar här absorptionsfaktorn i skikt nr 1 med hänsyn tagen till inverkan av de övriga skikten (skulle enligt 3.61 betecknas  $A_1(234)$ ). Samma sak gäller övriga skikt. Dessa storheter kan beräknas med hjälp av datorprogrammet beskrivet i 3.63

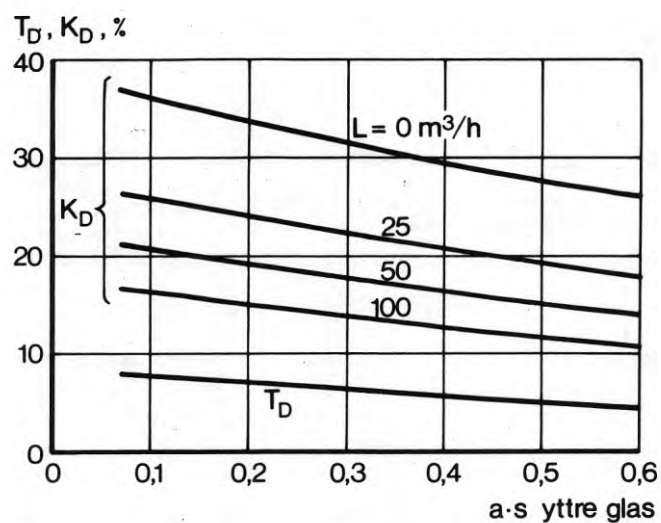


FIG. 3.72a Inverkan på frånluftsfönstrets transmission av solstrålning vid olika luftflöden när det yttre glaset görs mera värmeabsorberande och de övriga glasen är klara

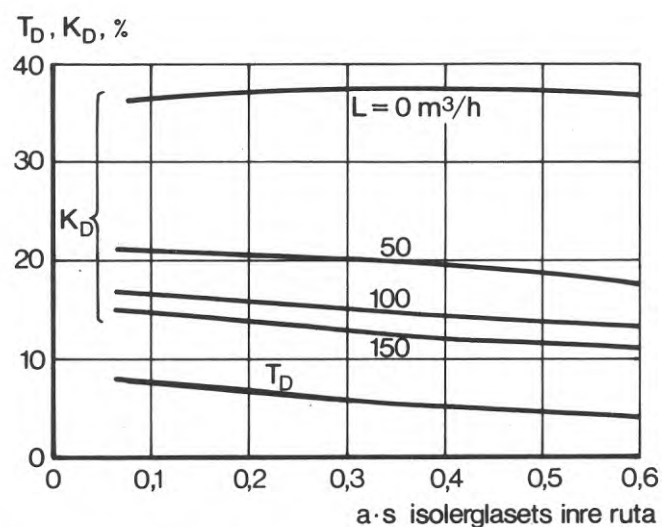


FIG. 3.72b Inverkan på frånluftfönstrets transmission av solstrålning vid olika luftflöden när isolerglasets inre ruta görs mera absorberande och de övriga glasen är klara

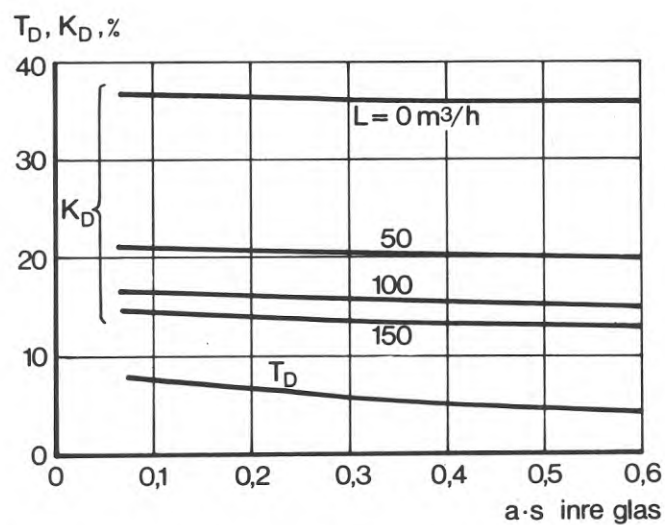


FIG. 3.72c Inverkan på frånluftfönstrets transmission av solstrålning vid olika luftflöden när det inre glaset görs mera absorberande och de övriga glasen är klara

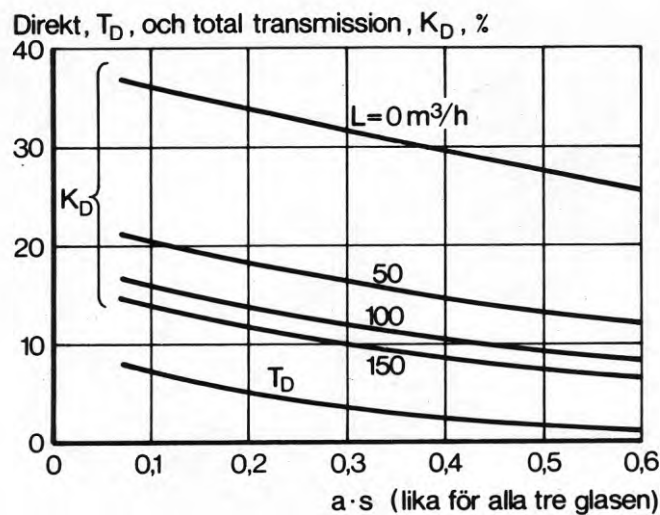


FIG. 3.72d Inverkan på frånluftfönstrets transmission av solstrålning vid olika luftflöden när alla tre glasen är lika och görs mera absorberande

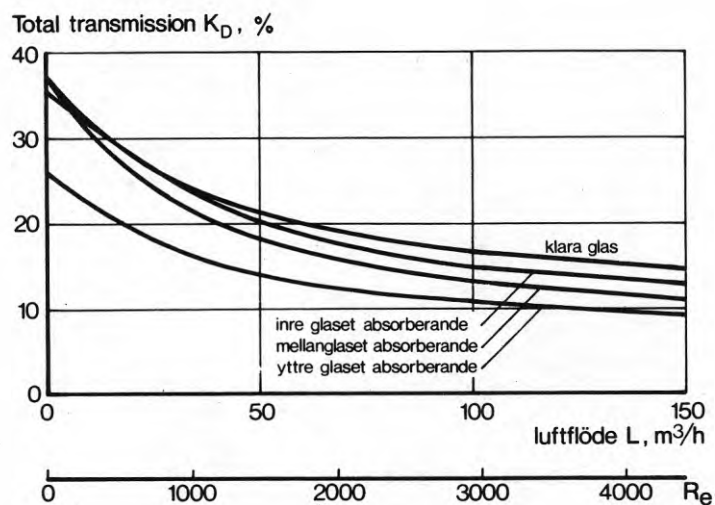


FIG. 3.72e Luftflödets inverkan på frånluftfönstrets transmission av solstrålning vid klara glas och vid olika placering av ett värmeabsorberande glas

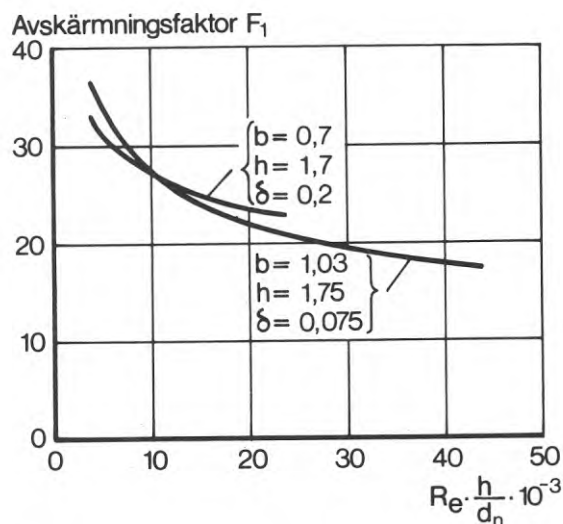


FIG. 3.73a Avskärmningsfaktorn,  $F_1$ , för två olika fönster som funktion av parametern  $Re \cdot \frac{h}{d_n}$ . Direkttransmissionen är densamma för de två fönstren.

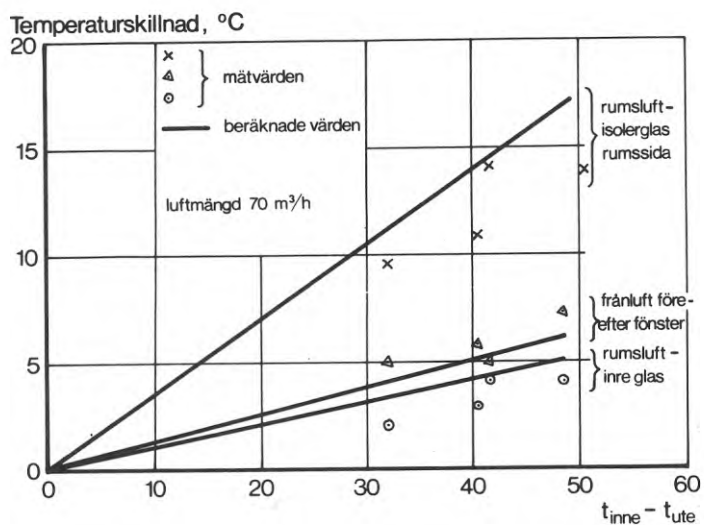


FIG. 3.74a Jämförelser mellan uppmätta och beräknade temperaturdifferenser i ett frånluftsfönster utan persienn under vinterförhållanden

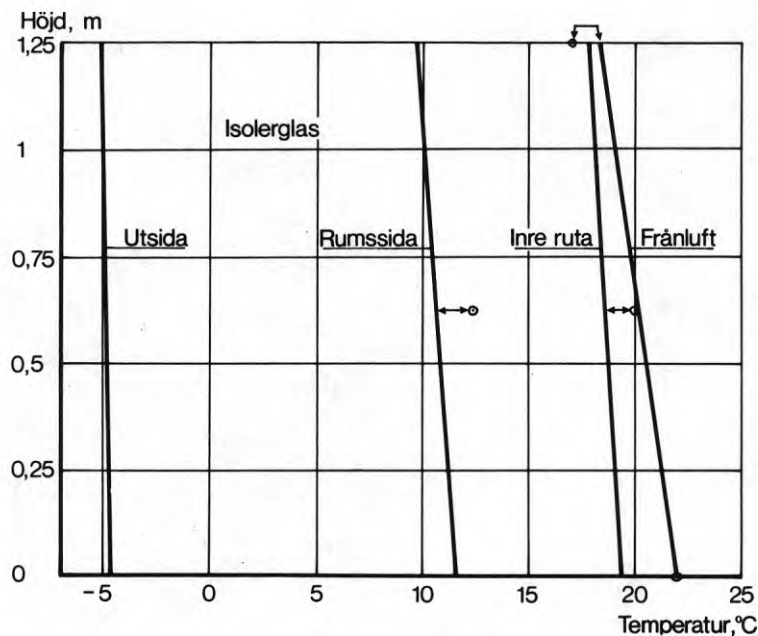


FIG. 3.74b Jämförelse mellan uppmätta och beräknade temperaturer i ett frånluftsfönster utan persienn

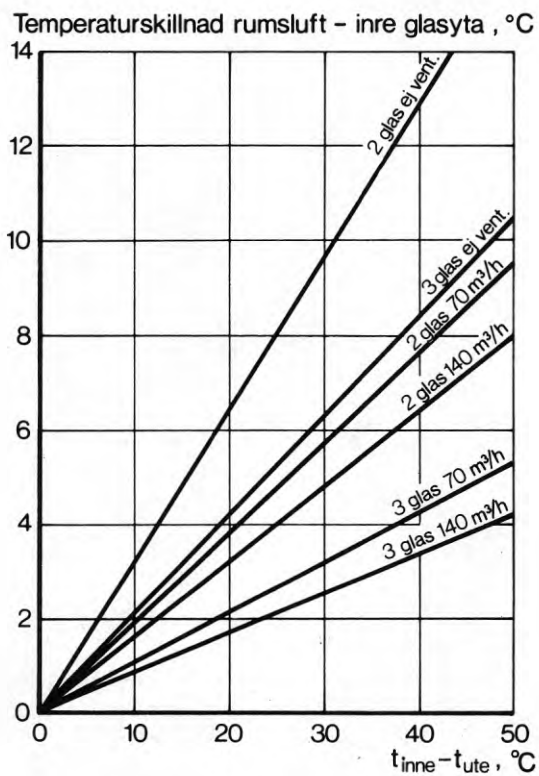


FIG. 3.74c Beräknade temperaturdifferenser mellan rumsluft och inre glasruta vid två- och treglasfönster med olika frånluftsflöden

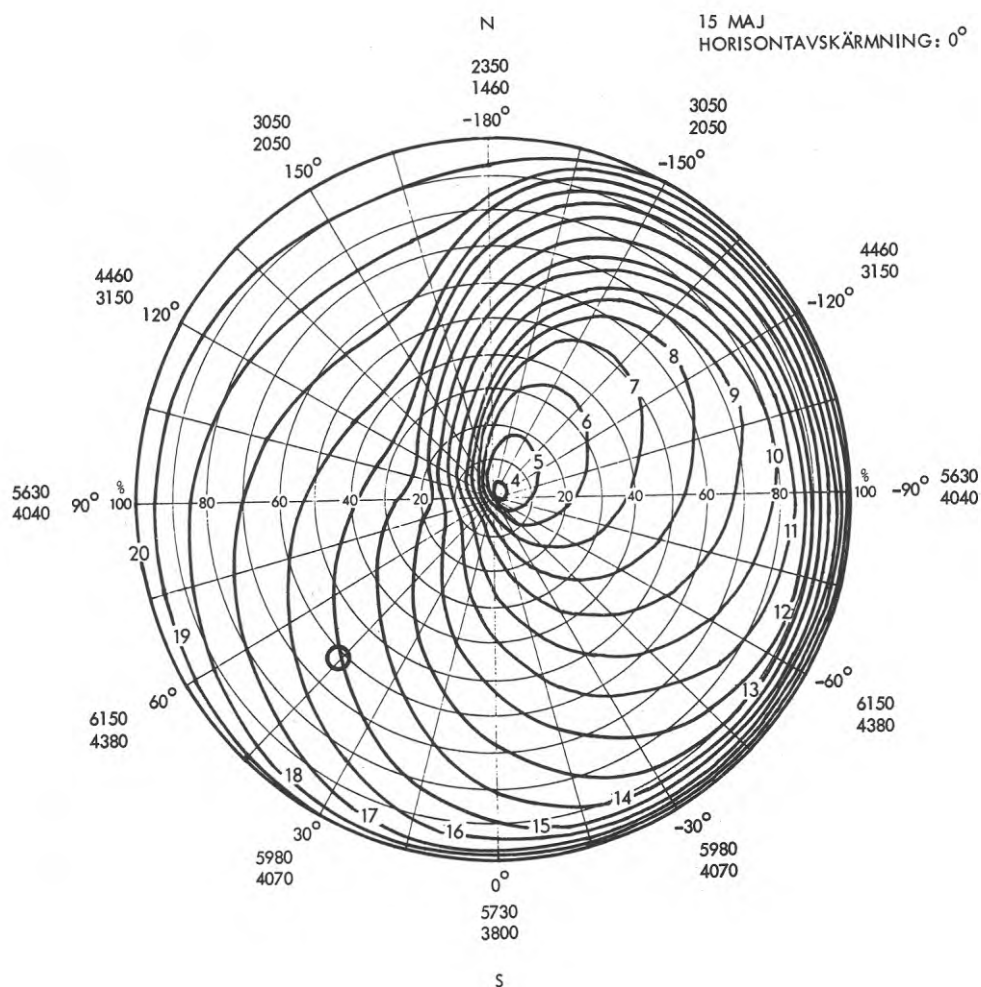


FIG. 3.8a Cirkeldiagram hämtat ur Byggforskningens rapport 19:1969. I diagrammet har markerats värdet på den del av dygnsinstrålningen i Stockholm den 15 maj genom ett vanligt tvåglasfönster som vid klart väder transmitteras fram till kl 15, om horisonten är fri och fönstret är riktat mot sydväst

## KAP. 4 INVERKAN AV ORIENTERING OCH UTFORMNING AV FASADEN PÅ SOLINSTRÅLNINGEN GENOM FÖNSTER

### INNEHÅLL

Beteckningar, använda i kap. 4	234
Denominations	236
Captions	238
4.1 Inverkan av väderstrecket	240
4.2 Inverkan av fasta skärmar vid fönster	241
4.21 Direkt solstrålning	241
4.22 Himmelsstrålning	242
4.23 Markreflekterad strålning	246
4.24 Strålning från sol, himmel och mark	246
4.3 Solvärmediagram för fasta skärmar	248
Figurer	249

## BETECKNINGAR, ANVÄNDA I KAP. 4

B	glasrutornas bredd vid ett fönster, m
H	glasrutornas höjd vid ett fönster, m
$h_n$	skuggvinkel, grader
$I_D$	intensitet hos direkt solstrålning genom oavskärmat fönster, $W/m^2$
$I_d$	intensitet hos himmelsstrålning genom oavskärmat fönster, $W/m^2$
$I_g$	intensitet hos markreflekterad strålning genom oavskärmat fönster, $W/m^2$
p	avskärmad del av total strålning genom fönster, %
$p_D$	avskärmad del av direkt solstrålning genom fönster, %
$p_d$	avskärmad del av himmelsstrålning genom fönster, %
$p_g$	avskärmad del av markreflekterad strålning genom fönster, %
$p_h$	avskärmad del av direkt solstrålning vid enbart vågrät skärm över fönster, %
$p_v$	avskärmad del av direkt solstrålning vid enbart lodrät skärm vid fönster, %
s	avstånd från vågrät skärm över fönster till glasrutornas överkant, m



- t avstånd från lodrät skärm vid fönster till glas-  
rutornas närmaste sidokant, m
- $y_h$  bredd hos vågrät skärm över fönster, m
- $y_v$  bredd hos lodrät skärm vid fönster, m
- $\beta$  horisontalvinkel, grader

Denominations used in chap. 4

- B width of the panes in a window, m
- H height of the panes in a window, m
- $h_n$  profile angle, degrees
- $I_D$  intensity of direct solar radiation transmitted through an unshaded window,  $W/m^2$
- $I_d$  intensity of sky radiation transmitted through an unshaded window,  $W/m^2$
- $I_g$  intensity of ground-reflected radiation transmitted through an unshaded window,  $W/m^2$
- p fraction of total radiation prevented from penetrating by the screen, %
- $p_D$  fraction of direct solar radiation prevented from penetrating by the screen, %
- $p_d$  fraction of sky radiation prevented from penetrating by the screen, %
- $p_g$  fraction of ground reflected radiation prevented from penetrating by the screen, %
- $p_h$  fraction of direct solar radiation prevented from penetrating by a horizontal screen above window, %
- $p_v$  fraction of direct solar radiation prevented from penetrating by vertical screens alongside of window, %
- s distance between horizontal screen above window and upper edge of window panes, m

- $t$  distance between vertical screen alongside window and near edge of window panes, m
- $y_h$  width of horizontal screen over window, m
- $y_v$  width of vertical screen alongside of window, m
- $\beta$  wall solar azimuth, degrees

## CAPTIONS

FIG. 4.1a. Sun and sky radiation per day in Stockholm at different times of the year and in clear weather, transmitted through vertical windows having double-glazing of ordinary plate glass towards different directions. Unbroken lines are values for a free horizon and broken lines for a shielded horizon up to an altitude of  $10^{\circ}$ .

FIG. 4.1b. Maximum hourly solar and sky radiation in Stockholm at different times of the year, clear weather and free horizon, transmitted through vertical windows having double-glazing of ordinary plate glass towards different directions.

FIG. 4.1c. Time of the day when maximum values according to FIG. 4.1b occurs.

FIG. 4.21a. A window where the pane is  $H$  m high and  $B$  m wide is partly shadowed by a horizontal shade  $y_h$  m wide (upper drawing) and a vertical shade  $y_v$  m wide (lower drawing). The shades are installed  $s$  m and  $t$  m respectively from the upper end and side end of the pane.

FIG. 4.21b. The shadow on the pane of a window having a horizontal and a vertical shade.

FIG. 4.21c. Shaded portion of radiation from an evenly shining sky shaded by a shade having horizontal edge, constant width and unlimited length above a window having double-glazing of ordinary plate glass. Indicated values refer to a point on the window from where the edge of the shade appears at the shade angle,  $h_n$ .

FIG. 4.21d. Diagram for determination of  $p_d$ , i.e. the shaded portion of radiation from an evenly shining sky, shaded by a sunshade having horizontal edge, constant width and unlimited length, above a window having double-glazing of ordinary plate glass. If the edge of the shade is on a level with the upper edge of the window,  $h_n$  is the shade angle at the lower border of window. If the edge of the shade is higher up, equation (4.4) must be used together with the diagram.

#### 4 INVERKAN AV ORIENTERING OCH UTFORMNING AV FASADEN PÅ SOLINSTRÅLNINGEN GENOM FÖNSTER

##### 4.1 Inverkan av väderstrecket

I FIG. 4.1a ges instrålad energi i Stockholm genom oskyddade tvåglasfönster mot olika väderstreck under ett dygn vid klart väder, räknat på  $1 \text{ m}^2$  fönsteryta. FIG. 4.1b visar maximalvärdet under 1 h och FIG. 4.1c när under dygnet detta värde inträffar. Figurerna är uppritade för den 15 februari, den 15 april och den 15 juni med hjälp av tabellerna i Brown & Isfält (1969), för att åskådliggöra betydelsen av fasadorienteringen på instrålningen under olika årstider.

Man ser att kurvorna för maximalvärdet har ungefär samma form som kurvorna för dygnsinstrålningen. Under vintermånaden februari uppnås det högsta värdet i båda fallen i söder, och kurvan faller ganska snabbt vid avvikelser från den sydliga orienteringen.

Under vårmånaden april är dygnsinstrålningen nästan konstant upp till ca  $45^\circ$  avvikelser hos väggasimuten (detta gäller främst vid fri horisont), medan kurvan för maximal instrålning per h först stiger något och går upp till nästan  $700 \text{ W/m}^2$ , för väggasimuter mellan  $\pm 50^\circ$  och  $\pm 60^\circ$ . Vid denna årstid har solen stigit så högt på himlen att maximalvärdet för söder inte längre är störst. Solstrålningens infallsvinkel har blivit så stor när solen står mitt för ett fönster mot detta väderstreck att värdet här stannar vid  $660 \text{ W/m}^2$ .

I juni är det fönster i fasader med väggasimuten  $\pm 70^\circ$  som får störst dygnsinstrålning. Genom söderfönster är dygnsinstrålningen 20 % lägre. Även maximalvärdet per h i juni är ca 20 % lägre i söder än det största maximalvärdet som nås, för fönster i fasader mot öster och väster.

Redan den 15 mars når instrålningen per  $m^2$  och h upp till nära 700 W i väderstrecken mellan  $-30^\circ$  och  $+30^\circ$ , enligt Brown & Isfält (1969). Därvid blir dygnsinstrålningen vid fri horisont ca  $4500 \text{ Wh/m}^2$ , eller samma dygnsinstrålning som enligt kurvorna i FIG. 4.1a maximalt erhålles för april och juni.

Av FIG. 4.1c ser man att i väderstrecken norr-öster-söder maximal instrålning per h inträffar tidigare på dagen i april än i februari och tidigare i juni än i april. I t.ex. SO nås maximalvärdet i februari ( $570 \text{ W/m}^2$ ) kl. 10.19, i april ( $690 \text{ W/m}^2$ ) redan kl. 9.10. I juni inträffar det kl. 8.58. I väderstrecken söder-väster-norr gäller det motsatta förhållandet, dvs. man får maximal instrålning senare i april än i februari och i juni senare än i april.

## 4.2 Inverkan av fasta skärmar vid fönster

### 4.21 Direkt solstrålning

I FIG. 4.21a visas ett fönster där glasrutorna är H m höga och B m breda. Man ser hur skuggan faller på dem om man anbringar en horisontell skärm med bredden  $y_h$  m s m över deras överkant eller en vertikal skärm med bredden  $y_v$  m t m från deras ena sidokant. Av höjden H skuggas  $y_h \text{ tg } h_n - s$ , där  $h_n$  är skuggvinkeln, och av bredden B  $y_v |\text{tg } \beta| - t$ , där  $\beta$  är horisontalvinkeln (absolutbeloppet av  $\text{tg } \beta$  används därför att uttrycket gäller även vid negativa värden på  $\beta$ ).

Betecknar man den genom skärmen eliminerade delen av den direkta solstrålningen med  $p_h$  vid en horisontell och med  $p_v$  vid en vertikal skärm får man härav

$$p_h = \left( \frac{y_h}{H} \text{tg } h_n - s/H \right) 100 \% \quad (4.1)$$

$$p_v = \left( \frac{y_v}{B} |\text{tg } \beta| - t/B \right) 100 \% \quad (4.2)$$

(observera att i kap. 4 eliminerad strålning betecknas med  $p$ . I kap. 2 betecknar  $p$  återstående strålning).

Ger ekv. (4.1) ett negativt värde sättes  $p_h = 0$ , ger den ett värde över 100 % sättes  $p_h = 100$  % (skuggan faller ovanför resp. nedanför glasrutorna). Motsvarande gäller ekv. (4.2) och  $p_v$ .

Av FIG. 4.21b ser man hur skuggan på rutorna blir då man har både horisontell och vertikal skärm vid fönstret eller då detta är anbringat så långt från fasadens utsida att väggen själv kastar skugga på fönstret.

Om man här betecknar den direkta solstrålningens minskning med  $p_D$  får man ur figuren

$$p_D = p_h + p_v - \frac{p_h p_v}{100} \% \quad (4.3)$$

Generellt kan man med  $p_D$  avse den avskärmade delen av den direkta solstrålningen, eftersom enligt ekv. (4.3)  $p_D = p_h$  vid enbart horisontell skärm ( $p_v = 0$ ) och  $p_D = p_v$  vid enbart vertikal skärm ( $p_h = 0$ ).

Observera att  $p_D$  avser avskärmad del av den direkta solstrålningen, oberoende av om man betraktar strålningen mot ett fönster eller strålningen transmitterad genom ett fönster. Avskärmningen beror ju endast på minskningen av bestrålad fönsteryta. Vid bestämning av hur stor del av himmelsstrålningen och den markreflekterade strålningen som elimineras måste man ta hänsyn till vilka partier av himlen resp. marken som skärmas av, eftersom strålningen från olika delar av himlen resp. marken faller in med olika vinklar mot fönstret.

#### 4.22 Himmelsstrålning

Vad den genom skärmen eliminerade delen av himmelsstrålningen beträffar kan man vid beräkningar av hur direkt



solstrålning och himmelsstrålning tillsammans avskärmas anta att alla partier av himlen strålar lika mycket, himlen är "jämnt lysande". Ett sådant antagande är mycket approximativt vid klar himmel men är väl motive- rat, därför att den direkta solstrålningen oftast domi- nerar kraftigt i de fall då man är intresserad av hur värmeinläckningen genom fönster påverkas av skärmen.

Diagrammet för lutning  $90^\circ$  i BIL. I:9 är uppritat för en sådan himmel. De båda kurvskarorna som visas där delar tillsammans in himlen framför en vertikal fasad i  $20 \times 10 = 200$  rutor som alla ger lika mycket himmels- strålning mot fasaden. Är himlen delvis avskärmd kan man därför lägga in skärmkonturen i diagrammet och räk- na antalet rutor och dividera med 2 för att få veta hur många procent av himmelsstrålningen mot fasaden som elimineras.

En skärmkontur får samma utseende i diagrammet BIL. I:9 som i ett skärmlinjediagram. Lodräta skärmskanter av- bildas sålunda med vertikala linjer. För att se hur många rutor som är avskärmade om skärmar med vågräta kanter förekommer kan man använda ett transparent pap- per som man först lägger över skärmlinjediagrammet och sedan efter inritning av skärmkonturen flyttar över till diagrammet i BIL. I:9.

I skärmlinjediagrammet i FIG. 2.62a är skalan på ordi- nataxeln dubbelt så stor som skalan på ordinataxeln i BIL. I:9, och detta skärmlinjediagram kan därför inte utan vidare användas på antytt sätt. De kurvor som går genom origo i diagrammet BIL. I:9 (lutning  $90^\circ$ ) avbil- dar emellertid kanten på skärmar som är ställda vin- kelrätt mot fasaden och för vilka gäller att skärmvin- keln är  $9^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $27^\circ$  etc. Detta diagram kan därför också användas som skärmlinjediagram. Är skärmen inte vinkelrät mot fasaden (dvs.  $\beta'$  inte  $\pm 90^\circ$ ) flyttar man det transparenta papperet efter inritningen av den våg- räta skärmskanten på sådant sätt att kurvan får sitt maximum vid  $\beta = \beta'$  och inte vid  $\beta = \pm 90^\circ$  (se 2.62).

Man bör observera följande. Om man har en vågrät skärm med obegränsad längd för vars kant ett visst värde på  $h_n$  gäller, t.ex.  $h_n = 40^\circ$ , behöver man inte rita in skärmkanten i BIL. I:9 (lutning  $90^\circ$ ) för bestämning av hur stor del av himmelsstrålningen som skärmas av. En lodrät skärm med obegränsad höjd för vars kant gäller att  $\beta$  har detta värde eliminerar nämligen hälften av denna strålning då himlen är jämnt lysande. Det är därför bekvämare att rita in den lodräta kantlinjen med linjal i BIL. I:9 och räkna antalet rutor för detta fall i stället och sedan multiplicera med 2.

Vid ett fönster är transmissionen av strålningen beroende av infallsvinkeln  $i$ , se FIG. 3.44a. Från en himmelsruta som ligger mellan kurvorna  $n = 8$  och  $n = 9$  är den transmitterade strålningen t.ex. mindre än den som här rör från en himmelsruta mellan kurvorna  $n = 1$  och  $n = 2$ . Enligt den övre dubbelskalan i BIL. I:9 är  $i$  ca  $67^\circ$  mellan  $n = 8$  och  $n = 9$ . Endast 60 % av strålningen transmittas då enligt FIG. 3.44a genom ett fönster med två rutor av vanligt glas. I det andra fallet är  $i$  ca  $23^\circ$  och transmissionen 79 %. Genom addition av transmissionsfaktorerna för strålning från alla rutorna och efterföljande division med antalet rutor, dvs. med 200, finner man att den genomsnittliga transmissionsfaktorn för strålning från en himmel med fri horisont är 67 %.

Är en skärm anordnad vid fönstret och man vill veta hur stor del transmitterad himmelsstrålning som skärmas av bildar man summan av transmissionsfaktorerna för strålning från alla avskärmade himmelsrutor och dividerar med summan av transmissionsfaktorerna för strålning från alla de 200 rutor som en oavskärmd himmel indelats i, eller med  $200 \cdot 0,67$ .

Har en skärm över fönstret vågrät kant, konstant bredd och obegränsad längd kan den avskärmade delen av himmelsstrålningen mot en punkt på fönstrets yta anges som funktion av  $\text{tg } h_n$ , se FIG. 4.21c, som ritats med hjälp av BIL. I:9 och FIG. 3.44a.

I normala fall är fönsterhöjden så stor att man inte kan bortse från att  $p_d$  varierar då man rör sig från fönstrets överkant till dess underkant. Då kan man i stället använda diagrammet i FIG. 4.21d, som erhållits ur diagrammet i FIG. 4.21c genom grafisk integration.

I FIG. 4.21d är  $p_d$  genomsnittsvärdet på avskärmad del av himmelsstrålningen då man rör sig uppifrån och ned, från en punkt på fönsterfasaden som ligger i höjd med skärmkanten ned till en punkt för vilken gäller att skärmkanten ses under skärmvinkeln  $h_n$ .

Ligger skärmkanten på samma höjd som fönstrets överkant bestämmer man därför  $\text{tg } h_n$  vid fönstrets underkant ur ekv.  $\text{tg } h_n = H/y_h$ , avläser  $p_d \cdot \text{tg } h_n$  i diagrammet och dividerar med  $\text{tg } h_n$ .

Om skärmkanten är  $s$  m över fönstrets överkant (se FIG. 4.21a) får man  $\text{tg } h_{n_1} = s/y_h$ ,  $\text{tg } h_{n_2} = (H + s)/y_h$ , avläser  $p_{d_1} \cdot \text{tg } h_{n_1}$  och  $p_{d_2} \cdot \text{tg } h_{n_2}$  och erhåller avskärmad del av himmelsstrålningen för fönstret ur

$$p_d = \frac{p_{d_2} \cdot \text{tg } h_{n_2} - p_{d_1} \cdot \text{tg } h_{n_1}}{\text{tg } h_{n_2} - \text{tg } h_{n_1}} \quad (4.4)$$

Index 2 avser värden vid fönstrets underkant och index 1 vid dess överkant.

#### Exempel

Bestäm hur stor del av himmelsstrålningen genom ett fönster som elimineras av en skärm över fönstret med vågrät kant, dels om skärmkanten ligger på samma höjd som fönstrets överkant, dels om den ligger 0,3 m högre. Skärmens bredd är  $y_h = 1,2$  m, glasdelens höjd är  $H = 1,5$  m.

Om skärmens kant ligger på samma höjd som fönstrets överkant får man att  $\text{tg } h_n = 1,5/1,2 = 1,25$ , och FIG.

4.21d ger  $p_d \cdot \operatorname{tg} h_n = 55 \%$ , varav  $p_d = 44 \%$ .

Om skärmkanten ligger 0,3 m högre är  $\operatorname{tg} h_{n1} = 0,3/1,2 = 0,25$ ,  $\operatorname{tg} h_{n2} = 1,8/1,2 = 1,5$ . Diagrammet<sup>1</sup> ger  $p_{d1} \cdot \operatorname{tg} h_{n1} = 21 \%$ ,  $p_{d2} \cdot \operatorname{tg} h_{n2} = 58 \%$ . Med hjälp av ekv. (4.4)<sup>1</sup> får man

$$p_d = \frac{58 - 21}{1,5 - 0,25} = 30 \%$$

Även vid en skärm med lodrät kant och obegränsad höjd kan diagrammen i FIG. 4.21c och 4.21d användas. En sådan skärm eliminerar nämligen hälften av den strålning som elimineras av en vågrät skärm, förutsatt att  $|\beta| = h_n$ , liksom fallet är vid strålning som inte transmittats genom fönsterglas.

#### 4.23 Markreflekterad strålning

För reflekterad strålning från obegränsad plan markyta, vars reflexionsfaktor är lika överallt, kan man i fallet lodrät skärm förutsätta att den avskärmade delen  $p_g$  är lika stor som den avskärmade delen för himmelsstrålning,  $p_d$ . Även vid indraget fönster, dvs. ett fönster som ligger innanför fasadens utsida, kan man sätta  $p_g = p_d$ . Man har ju vid underkanten av fönstret en avskärmning som skjuter lika långt ut från fönsterytan som vid överkanten av fönstret, och som därför minskar den markreflekterade strålningen lika mycket som avskärmningen vid överkanten minskar himmelsstrålningen. I fallet vågrät skärm över fönstret är  $p_g = 0$  eftersom den markreflekterade strålningen inte skärmas av.

#### 4.24 Strålning från sol, himmel och mark

Sedan man beräknat hur mycket en skärm minskar den direkta solstrålningen, himmelsstrålningen och den mark-

reflekterade strålningen genom ett fönster med de nämnda metoderna kan man bestämma den avskärmade delen av den totala strålningen genom fönstret. Betecknas denna del med  $p$  % och direkt solstrålning, himmelsstrålning och markreflekterad strålning genom ett oavskärmat fönster med  $I_D$ ;  $I_d$  och  $I_g$  erhålles

$$p = \frac{p_D I_D + p_d I_d + p_g I_g}{I_D + I_d + I_g} \quad (4.5)$$

Observera att ekvationen kan tillämpas inte bara då man har ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas utan i alla de fall då man kan beräkna transmitterad strålning med hjälp av en avskärningsfaktor.

### 4.3 Solvärmediagram för fasta skärmar

De i 4.2 beskrivna ekvationerna har använts för att dator generera värden för uppritning av solvärmediagram med plotter. Diagram har framställts för fönster med horisontella och vertikala skärmar, samt för indragna fönster. Se BIL. I:18 - I:28. Skärmarnas storlek och placering i förhållande till fönstren framgår i resp figur.

Diagrammen gäller, liksom solvärmediagrammet, se 2.43, för en reflexionsfaktor hos marken = 25 %. Med kännedom om solens läge i förhållande till fönstret får man ur dessa diagram instrålningen genom fönstret i W per m<sup>2</sup> fönsteryta.

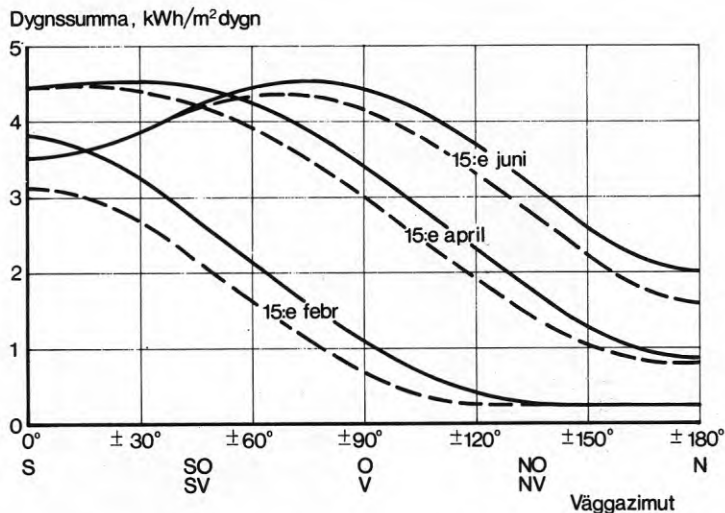


FIG. 4.1a Instrålning per dygn i Stockholm från sol och himmel vid olika tidpunkter på året och vid klar himmel, genom vertikala fönster mot olika väderstreck och med två rutor av vanligt fönsterglas. Heldragna kurvor gäller för fri horisont, streckade kurvor för en horisont som är skyddad runt om upp till en höjd av  $10^{\circ}$ .

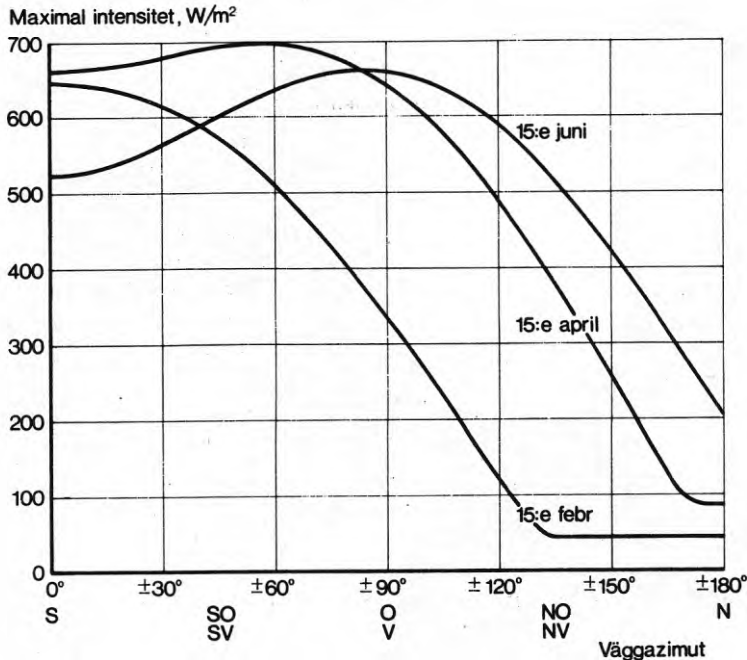


FIG. 4.1b Maximal instrålning per h i Stockholm från sol och himmel vid olika tidpunkter på året och vid klar himmel och fri horisont, genom vertikala fönster mot olika väderstreck och med två rutor av vanligt fönsterglas.

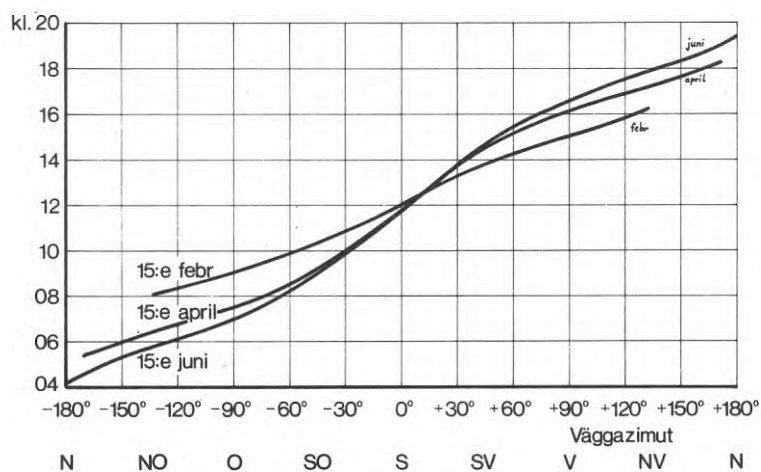


FIG. 4.1c Tiden på dagen då maximalvärdet enligt FIG. 4.1b inträffar.

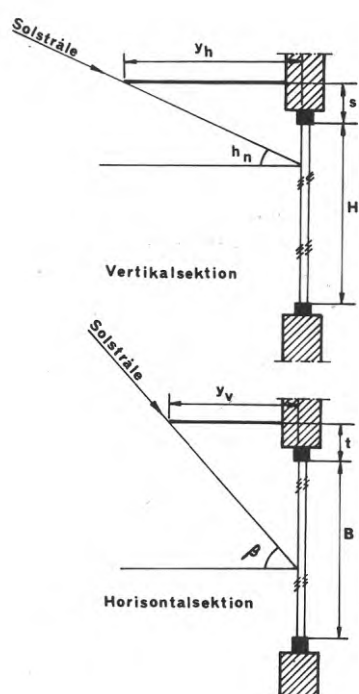


FIG. 4.21a Ett fönster vars glasdell har höjden  $H$  m och bredden  $B$  m skuggas delvis av en horisontell skärm med bredden  $y_h$  m (övre figuren) och en vertikal skärm med bredden  $y_v$  m (undre figuren). Skärmarna är anbringade  $s$  resp.  $t$  m från glasdellens överkant och sidokant.



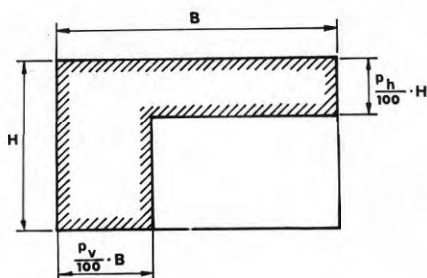


FIG. 4.21b Skuggan på glasdelen av ett fönster med både horisontell och vertikal skärm.

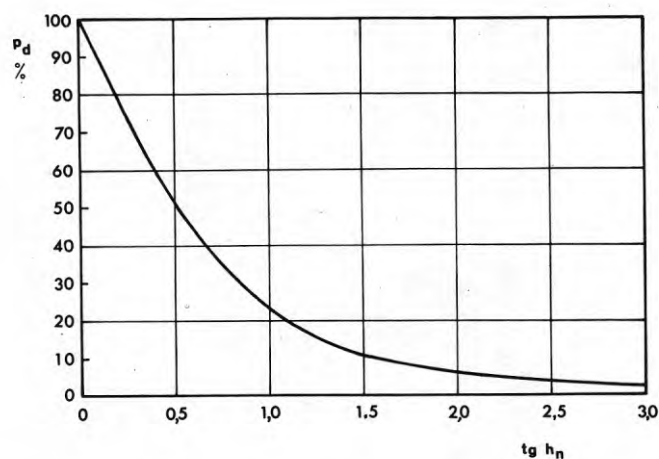


FIG. 4.21c Avskärnad del av strålningen från en jämnt lysande himmel genom ett tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas, då fönstret skuggas av en skärm ovanför fönstret som har vågrät kant, konstant bredd och obegränsad längd. Angivna värden avser en punkt på fönstret från vilken skärmkanten synes under skärmvinkeln  $h_n$ .

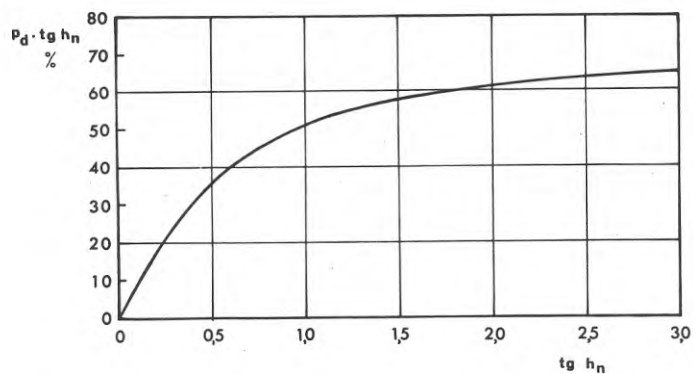


FIG. 4.21d Diagram för bestämning av  $p_d$ , dvs. avskär-  
 mad del av strålningen från en jämnt ly-  
 sande himmel genom ett tvåglasfönster med  
 rutor av vanligt fönsterglas, då fönstret  
 skuggas av en skärm ovanför fönstret som  
 har vågrät kant, konstant bredd och obe-  
 gränsad längd. Ligger skärmkanten på samma  
 höjd som fönstrets överkant är  $h_n$  skärm-  
 vinkeln vid fönstrets underkant. Om skärm-  
 kanten ligger högre måste utom diagrammet  
 också ekv. (4.4) begagnas.

## KAP. 5 METODER FÖR MÄTNING AV SOLVÄRMEINLÄCKNING GENOM FÖNSTER

### INNEHÅLL

	Captions	254
5.1	Mätning med kalorimeter	255
5.2	Intermittent mätning med mätplatta	256
	Figurer	259

## CAPTIONS

- FIG. 5.1a. The Calorimeter of the Laboratory for Thermal Insulation, Danish Institute of Technology.
- FIG. 5.1b. Solarimeter (Kipp & Zonen).
- FIG. 5.2a. Equipment for intermittent measuring with a measuring disc.

## 5. METODER FÖR MÄTNING AV SOLVÄRMEINLÄCKNING GENOM FÖNSTER

### 5.1 Mätning med kalorimeter

En kalorimeter för mätning av solinstrålning genom fönster består i princip av ett isolerat slutet rum där en vägg utgörs av det fönster som skall undersökas. Rummets övriga väggar är svartmålade för att absorbera den transmitterade kortvågiga strålningen och är försedda med rör genom vilka cirkulerande vatten bortför det absorberade värmets. Det värme som från fönsterytan konvektivt överförs till luften kan bortföras genom ventilation med en väl definierad luftmängd. Temperaturen i kalorimetern kan hållas på samma värde som omgivningens temperatur, varvid transmissionsförlusterna bortfaller. Det värme som bortförs med kylvatten och ventilationsluft är lika med tillfört solvärme och kan erhållas med stor noggrannhet genom mätningar av temperaturändringar och flöden hos kylmedia.

En kalorimeter arbetande efter denna princip finns vid Laboratoriet for Varmeisolering vid Danmarks Tekniske Højskole, se Petersen (1966). En bild av kalorimetern visas i FIG. 5.1a.

Denna kalorimeter är utförd med två rum. I det ena rummet mäts solvärmeinläckningen genom ett referensfönster, i det andra genom det fönster som skall provas. På så sätt erhåller man avskärningsfaktorn genom en direkt jämförelse och eliminerar alltså en mängd osäkra faktorer. Den del av solvärmeinläckningen som utgörs av kortvågig strålning mäts med en invändig solarimeter.

Solarimetern arbetar i princip så att temperaturhöjningen vid solbestralning hos en svart yta ger upphov till en elektrisk spänning från seriekopplade termoelement under ytan. Denna skyddas av två koncentriska halvsfärer av ett specialglas som har en mycket hög transmission inom hela solspektrum (Petersen, 1966). FIG. 5.1b visar en bild av en solarimeter.

## 5.2 Intermittent mätning med mätplatta

Den mätutrustning som beskrivs i detta avsnitt är avsedd för fältmätningar.

Instrumentet består av en rund kopparplatta med diametern 200 mm och tjockleken 4 mm. Plattans ena sida är svartmålad ( $a \approx 0,98$  för både lång- och kortvågig strålning), den andra sidan och kanten är isolerade. Plattans temperatur mäts med ett termoelement i centrum. En liknande mätmetod beskrivs av Korsgaard & Petersen (1969).

En mätning tillgår på följande sätt:

Plattan kyls några grader under rumstemperatur. Därefter hängs den upp innanför fönstret med den svarta ytan mot fönstret parallellt med detta på 5 à 10 cm avstånd. FIG. 5.2a visar en bild av mätutrustningen.

Plattans temperaturstegring per tidsenhet  $\frac{d\theta}{dt}$  registreras. Temperaturstegringen i det ögonblick då plattans temperatur = lufttemperaturen är betingad av enbart strålning. Den långvågiga delen av denna strålning  $q'_{ls}$  beräknas ur uppmätta värden på fönsterytans och plattans temperaturer. Den kortvågiga strålningen erhålls som skillnaden mellan den uppmätta strålningen mot plattan och den beräknade långvågiga delen.

Ekvationerna för utvärdering vid mätning med plattan härleds enligt följande:

Under tidsintervallet  $dt$  uppställs värmebalansen per ytenhet för plattan (konvektionen = 0):

$$I_T \cdot a \cdot dt + q'_{ls} \cdot dt = \rho \cdot c \cdot s \cdot d\theta$$

$$I_T = \frac{1}{a} (\rho \cdot c \cdot s \cdot \frac{d\theta}{dt} - q'_{ls})$$

Här betecknar

$I_T$	transmitterad kortvågig strålning, kcal/m <sup>2</sup> h
$a$	plattans absorptionsfaktor, dimensionslös
$\rho$	plattans densitet, kg/m <sup>3</sup>

c	plattans specifika värme, kcal/kg <sup>°C</sup>
s	plattans tjocklek, m
θ	plattans temperatur, °C
t	tiden, h
q' <sub>ls</sub>	långvågig strålning mellan fönster och platta, kcal/m <sup>2</sup> h

Värmeavgivningen från fönsterytan till rummet beräknas ur uppmätta temperaturer hos fönsteryta, rumsluft och väggar. Den konvektiva delen benämns  $q_{kv}$  och strålningsdelen  $q_{ls}$ .

Ur mätningarna fås den totala värmeavgivningen från fönstret till rummet:

$$Q = I_T + q_{kv} + q_{ls} \quad (5.1)$$

Mätningarna avser emellertid att ge den transmissionsfaktor K som ingår i följande uttryck:

$$Q = K \cdot I_{sol} + k (\theta_1 - \theta_r) \quad (5.2)$$

där  $I_{sol}$  betecknar solinstrålningen mot fasaden. Denna mäts med en solarimeter. Den andra termen i ekv. (5.2) utgör transmissionsförlusterna på grund av temperaturskillnaden inne - ute.

Ekv. (5.1) och (5.2) ger

$$K = \frac{1}{I_{sol}} (I_T + q_{ls} + q_{kv} - k (\theta_1 - \theta_r))$$

Härur erhålles avskärmningsfaktorerna

$$F_1 = \frac{K}{K_{ref}} \quad \text{och} \quad F_2 = \frac{I_T}{I_{sol}} \cdot \frac{1}{K_{ref}}$$

Den totala transmissionen genom referensfönstret,  $K_{ref}$ , har vid infallsvinkeln 30<sup>o</sup> värdet 0,78.

Det bör påpekas att den transmitterade kortvågiga strålningen också kan mätas med hjälp av en solarimeter innanför fönstret. En korrektion genom vilken man kan ta hänsyn till långvågig strålning på grund av temperaturskillnaden mellan fönsterytan och solarimetern,  $\Delta t$ , måste då göras. Korrektionen är efter en viss inställningstid av storleksordningen  $\Delta I_T = 0,4 \cdot \Delta t$ , se Petersen (1966).





FIG. 5.1a. Kalorimetern vid Laboratoriet for Varme-  
isolering, Danmarks Tekniske Højskole.

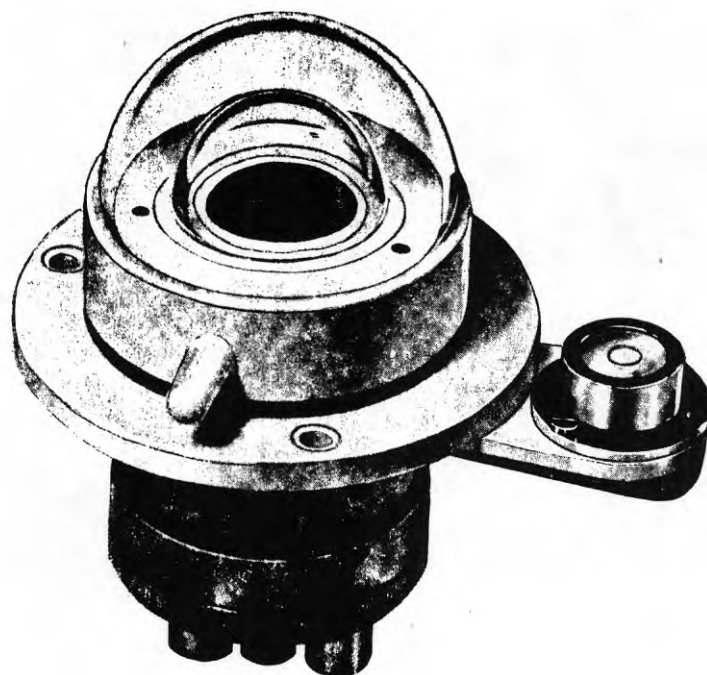


FIG. 5.1b. Solarimeter (Kipp & Zonen).

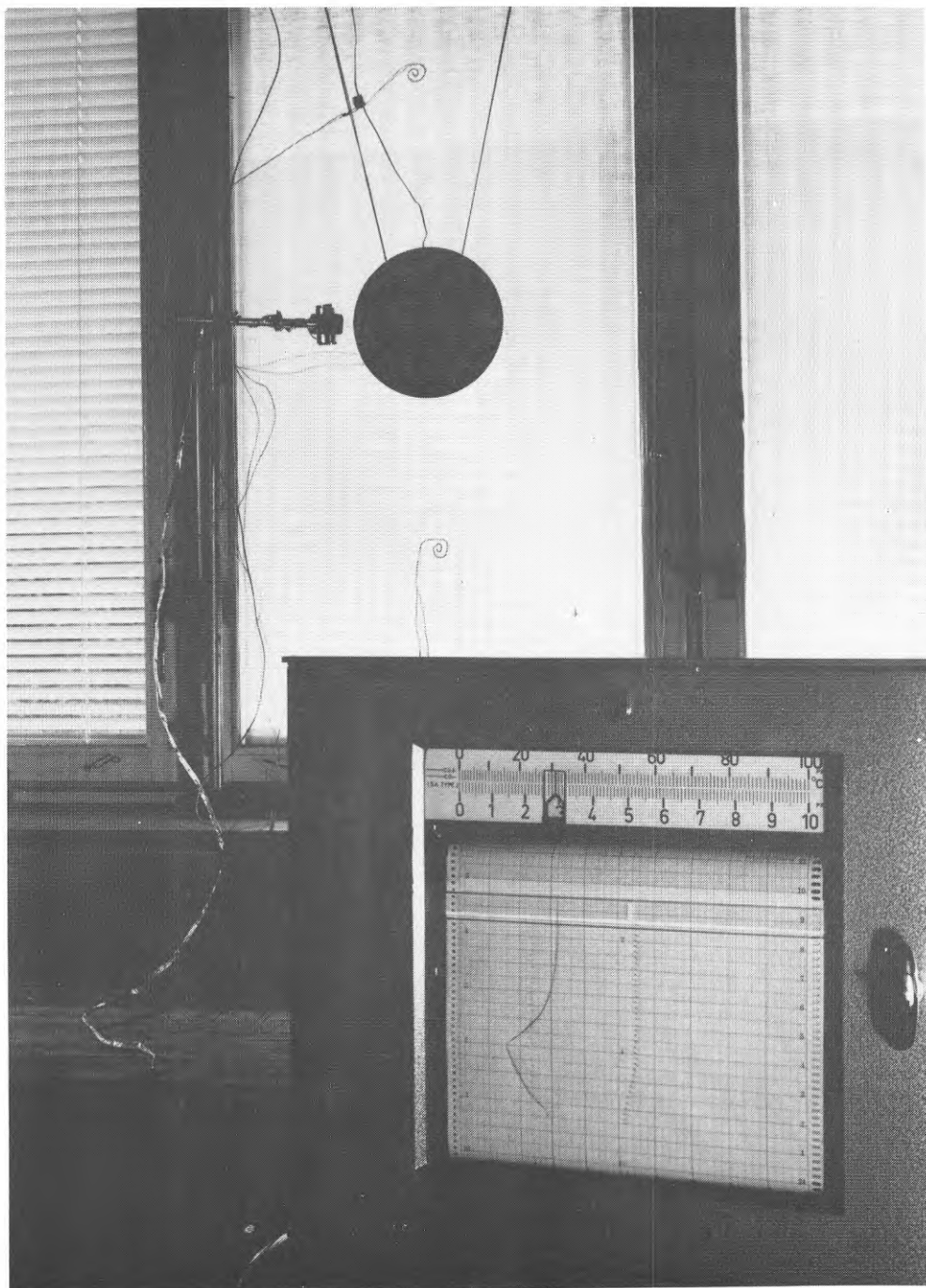


FIG. 5.2a. Utrustning för intermittent mätning med mätplatta.

## KAP. 6 SOLSKYDD

## INNEHÅLL

Beteckningar, använda i kap. 6	263
Denominations	265
Captions	267
6.1 Solskyddsglas	275
6.11 Problematik	275
6.12 Värmeabsorberande glas	277
6.13 Belagda glas	280
6.131 Keramiska beläggningar	280
6.132 Metallbeläggningar	282
6.133 Dielektriska beläggningar	284
6.134 Plastbeläggningar	285
6.14 Ljuskänsliga glas	287
6.15 Avskärmningsfaktorer hos fönster med värmeabsorberande och belagda glas	288
6.2 Persienner	290
6.21 Persiennlamellers absorberande och reflekerande egenskaper	290
6.22 Avskärmningsfaktorer hos fönster med persienner	291
6.221 Egna beräkningar	291
6.2211 Avskärmningsfaktorers variation under dagen	294
6.2212 Markreflexionens inverkan på avskärmningsfaktorn	295
6.222 Egna mätningar	296
6.223 Litteraturuppgifter	300
6.23 Avskärmningsfaktorer hos frånluftsventilerade fönster med persienn	302
6.231 Egna datorberäkningar	302
6.232 Jämförelse mellan mätningar och beräkningar	302
6.3 Gardiner	304
6.31 Inomhusgardiners egenskaper enligt amerikanska källor	304

6.311	Klassificering av gardiner	304
6.312	Gardinernas egenskaper med hänsyn till ljushet och täthet	305
6.313	Mätning av gardiners transmission och reflexion	308
6.32	Avskärningsfaktorer hos fönster med gardiner	311
6.321	Resultat av egna beräkningar	311
6.322	Resultat av egna mätningar	314
6.3221	Laboratoriemätningar	314
6.3222	Fältmätningar	316
6.323	Litteraturuppgifter	317
6.4	Markiser	318
6.5	Relationsvärden för ljustransmission, solvärmeinläckning och värmeförluster för olika glastyper	319
	Tabeller	322
	Figurer	324

## Beteckningar använda i kap. 6

- A absorptionsfaktor, dimensionslös
- a absorptionsfaktorn hos en persiennlamellyta, dimensionslös; absorptionskoefficient i glasmassa,  $m^{-1}$
- F avskärningsfaktor, %  
 $F_1$  betyder totalt transmitterad strålningsenergi och  $F_2$  direkt transmitterad strålningsenergi genom ett fönster i förhållande till totalt transmitterad strålningsenergi genom ett referensfönster bestående av två rutor av vanligt fönsterglas utsatt för samma strålning från sol och himmel. Ur strålningen genom referensfönstret, som erhålles ur tabeller eller diagram, får man också fönstrets luminans i lumen/ $m^2$  genom multiplikation med  $F_3$  och en ljusutbytesfaktor, vars värde är ca 100 lm/W.
- I strålningsintensitet,  $W/m^2$
- i infallsvinkel, grader
- K totalt transmitterad del av infallande kortvågig strålning, dimensionslös
- m värmemotstånd,  $m^2 \text{ } ^\circ C/W$
- R reflexionsfaktor, dimensionslös
- s glastjocklek, m
- T transmissionsfaktor, dimensionslös
- $\alpha$  lutning hos en persiennlamell, grader
- $\varphi$  profilvinkel (skuggvinkel), grader

Index enligt följande anger att storheten gäller:

Direkt strålning	D
Diffus strålning	d
Markreflekterad strålning	g
Insidan av ett fönster	i
Referensfönster	ref
Utsidan av ett fönster	y

Denominations used in chap. 6

- A absorbtance, dimensionless
- a absorbtance of a venetian blind slat surface, dimensionless;  
absorption coefficient of glass  $m^{-1}$
- F shading coefficient of window, %

$F_1$  denotes the ratio of totally transmitted solar radiant energy through a window, while  $F_2$  is the ratio of directly transmitted solar radiant energy through that window, to the totally transmitted energy through a reference window with double glazing of ordinary window glass exposed to an equal amount of radiation from sun and sky. From the radiation values for the reference window, given in tables or diagrams, it is also possible to get the luminance of the window in lumens/ $m^2$  by multiplying by  $F_3$  and a luminous efficiency factor, the value of which is approximately 100 lm/W.

- I radiant intensity,  $W/m^2$
- i angle of incidence, degrees
- K totally transmitted fraction of incident short wave radiation, dimensionless
- m heat resistance,  $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- R reflectance, dimensionless
- s thickness of glass, m
- T transmittance, dimensionless
- $\alpha$  Venetian blind slat angle, degrees
- $\phi$  profile angle, degrees

Index as shown in the following indicates that the unit refers to:

direct radiation	D
diffuse radiation	d
ground reflected radiation	g
inside surface of window	i
reference window	ref
outside surface of window	y



## CAPTIONS

TAB. 6.32a. Measured values of solar heat transmission through 2-glaze window with curtain between the panes.

TAB. 6.5a. Values of relation between different types of glass. The values are calculated on the assumption that the same lightflux shall be obtained by varying the size of the surface. Heat transmission and heat loss through the windows are related to the different surfaces. The reference window is an unshaded 2-glaze window with ordinary plate glass.

FIG. 6.12a. Spectral transmission of perpendicular radiation through three heat absorbing panes of glass. (Pilkington Brothers Ltd, England).

FIG. 6.13a. Spectral emittances for ceramic coated and uncoated glasses; radiative power vs. wavelength for black bodies of 80 F and 120 F (26.7 and 48.9 °C).  
According to Yellott, (1964).  $1 \text{ Btu/h,ft}^2 = 3,16 \text{ W/m}^2$ .

FIG. 6.13b. Spectral transmission and reflexion of a glass with ceramic coatings.

FIG. 6.13c. Spectral transmission and reflexion of transparent coatings of gold and nickel-chrome, fixed to glass under vacuum. According to Schröder, (1968).  
- Au ----- Ni + 10 % Cr.

FIG. 6.13d. Metal coated insulating glass (vertical section).

Such a coating is always applied to the inner surface of the exterior pane. There it is well protected as air between the panes is dried and free from dust. The panes are hermetically sealed by elastic joining of the panes and the list between. The list contains a drying agent which absorbs the humidity between the panes.

FIG. 6.13e. Spectral transmission ( $T_\lambda$ ) and reflexion ( $R_{\lambda G}$  on the glass side,  $R_{\lambda S}$  on the free side) of a gold coating on 4 mm ordinary plate glass. The coating is surrounded by strongly refracting layers. According to Schröder, (1968).

FIG. 6.13f. Spectral transmission of two coated panes. According to Persson, (1966).

a: insulating glass with two 6 mm panes 12 mm distant, one having a gold coating applied under vacuum.

b: insulating glass with two 3 mm panes 12 mm distant, one having a chemically precipitated coating of nickel.

FIG. 6.13g. Spectral transmission and reflexion of a glass pane having three dielectric layers on each side. According to Schröder, (1968).

FIG. 6.15a. Shading coefficient  $F_1$  as a function of  $F_2$  of a 2-glaze window having an interior normal plate glass and an exterior absorbing or reflecting glass. The parameters  $T$ ,  $R$  and  $A$  refer to the exterior pane. If values for light are applied the  $F_3$ -value will be obtained on the  $F_2$ -scale, after an increase of approximately 6 %.

- FIG. 6.15b. Shading coefficient  $F_1$  as a function of  $F_2$  in a 2-glaze window having an interior absorbing or coated pane and an exterior normal plate glass pane. The parameters  $T$ ,  $R$  and  $A$  refer to the interior pane. If values for light are applied the  $F_3$ -value will be obtained on the  $F_2$ -scale after an increase of approximately 6%.
- FIG. 6.21a. Spectral reflexion of five different samples of venetian blind slats.
- FIG. 6.22a. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ), situated outside two ordinary plate glasses ( $a \cdot s = 0.07$ ) as a function of the absorbance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .
- FIG. 6.22b. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ) placed between the panes of a 2-glaze window with ordinary plate glass panes ( $a \cdot s = 0.07$ ) as a function of the absorbance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .
- FIG. 6.22c. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ) placed inside two ordinary plate glasses ( $a \cdot s = 0.07$ ) as a function of the absorbance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .

- FIG. 6.22d. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ) placed outside a window with three panes of ordinary plate glass ( $a \cdot s = 0.07$ ) as a function of the absorbtance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination angle of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .
- FIG. 6.22e. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ) placed between the exterior panes of a window with three panes of ordinary plate glass ( $a \cdot s = 0.07$ ) as a function of the absorbtance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination angle of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .
- FIG. 6.22f. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ) placed between the inner panes of a window with three panes of ordinary plate glass ( $a \cdot s = 0.007$ ) as a function of the absorbtance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination angle of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  and  $60^\circ$ .
- FIG. 6.22g. Calculated values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  of a Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ) placed inside a window with three panes of ordinary plate glass ( $a \cdot s = 0.07$ ) as a function of the absorbtance,  $a$ , of the slat surface. Slats have an inclination angle of  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  och  $60^\circ$ .
- FIG. 6.22h. Diagram showing the shading coefficients  $F_1$  (the whole column) and  $F_2$  (the white part of the column) of a 2-glaze window ( $a \cdot s = 0.07$ ) combined with an ordinary Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ;  $a = 0.4$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ) placed outside the window, between the panes, and in the room.

- FIG. 6.22i. Diagram showing the shading coefficients  $F_1$  (the whole column) and  $F_2$  (the white part of the column) of a 3-glaze window ( $a \cdot s = 0.07$ ) combined with an ordinary Venetian blind ( $w/s = 1.2$ ;  $a = 0.4$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ) placed outside the window, between the exterior panes, between the interior panes and in the room.
- FIG. 6.22j. Solar heat transmission through a window towards the south in Malmö on a clear March day, calculated with regard to varying angles of incidence and profile (curve), and to the values from a reference window multiplied by a constant shading coefficient (points).
- FIG. 6.22k. Comparison between transmission of light measured by a luxmeter and calculated values, of a 2-glaze window with a between-glass Venetian blind, as a function of slat absorptance.  $\psi = i = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ .
- FIG. 6.22l. Comparison between the result of our calculations and measured values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  as a function of the absorptance of slat surface of a Venetian blind placed between the ordinary plate glass panes of a 2-glaze window. Slat inclination  $\alpha = 45^\circ$ ,  $w/s = 1.2$ .
- FIG. 6.22m. Comparison between the result of our calculations and measured values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  as a function of the absorptance of the slat surface of a Venetian blind placed between the ordinary plate glass panes of a 2-glaze window. Slat inclination  $\alpha = 30^\circ$ ,  $w/s = 1.2$ .

FIG. 6.22n. Comparison between the result of our calculations and measured values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  as a function of the absorptance factor of the slat surface of a Venetian blind placed between the inner panes of a 3-glaze window. Slat inclination  $\alpha = 45^\circ$ ,  $w/s = 1.2$ .

FIG. 6.22o. Comparison between the result of our calculation and measured values of shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  as a function of the absorptance of the slat surface of a Venetian blind placed between the inner panes of a 3-glaze window. Slat inclination  $\alpha = 30^\circ$ ,  $w/s = 1.2$ .

FIG. 6.23a. Comparison between measured and calculated values of transmission of solar heat through an exhaust air window.

FIG. 6.31a. Classification of drapery fabrics into 9 categories. Each category is classified by the openness of the weave, colour of the yarn; a figure indicates the openness and a letter the colour. Figure 1 indicates loose fabric, 2 medium close and 3 close fabric, the letter d indicates a dark yarn, m medium dark and l a light colour of the yarn. Below the squares are indicated mean values for transmittance and reflectance of a stretched fabric from sunshine hitting the surface perpendicularly. According to Keyes, (1967).

FIG. 6.31b. Correlation between openness of drapery fabrics and yarn reflectance on the one hand and transmittance and reflectance of the stretched fabric on the other hand when the sunshine hits the surface perpendicularly.

cont.

In the diagram yarn reflectance is indicated by one series of curves, fabric openness by another one. To make the illustration more clear only those curves that indicate the limits of the nine different categories of drapery fabrics described in FIG. 6.31a are indicated. Average transmittance and reflectance is indicated for each category. Keyes, (1967).

- FIG. 6.31c. Examples of spectral transmittance curves for drapery fabrics according to measurements with a spectrophotometer. Moore & Pennington, (1967).
- FIG. 6.31d. Correlation between transmittance values from measurements in artificial light and sunlight. Moore & Pennington, (1967).
- FIG. 6.32a. Shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  with a curtain placed outside two ordinary plate glass panes, having for parameters the solar-optical properties of the curtain.
- FIG. 6.32b. Shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  with a curtain placed between two ordinary plate glass panes, having for parameters the solar-optical properties of the curtain.
- FIG. 6.32c. Shading coefficients  $F_1$  and  $F_2$  with a curtain placed inside two ordinary plate glass panes, having for parameters the solar-optical properties of the curtain.
- FIG. 6.32d. Diagrams showing shading coefficients  $F_1$  (the whole column) and  $F_2$  (the unshaded part) with a dark curtain with varying place and openness of fabric.

FIG. 6.32e. Diagrams showing shading coefficients  $F_1$  (the whole column) and  $F_2$  (the unshaded part) with a medium-dark curtain with varying place and openness of fabric.

FIG. 6.32f. Diagrams showing shading coefficients  $F_1$  (the whole column) and  $F_2$  (the unshaded part) with a light curtain with varying place and openness of fabric.

FIG. 6.32g. Measuring of the reflected light from a sample of drapery fabric in an optical test bench with a luxmeter (to the right).

FIG. 6.32h. Light transmittance and reflectance of a curtain as a function of the angle of incidence according to our measuring with a luxmeter.

FIG. 6.4a. Sun and sky radiation reflected by the ground and directly transmitted through an ordinary 2-glaze window with a light-proof awning. A clear summer day (May-September), sun lit facade and varying reflectance of the ground surface.

FIG. 6.4b. Increase in air temperature under a light-proof awning with lateral blinds at varying radiation on a facade.

Curve No 1: Awning with dark green upside and grey-green downside without ventilation slit at top border.

Curve No 2: Awning with dark green upside and grey-green downside having a 20 mm ventilation slit at top border.

Curve No 3: Awning with white upside and grey downside and having a 20 mm ventilation slit at top border.



## 6 SOLSKYDD

6.1 Solskyddsglas

## 6.11 Problematik

Vanligt fönsterglas transmitterar den allra största delen av strålningen från sol och himmel. Absorptionen och reflexionen är relativt obetydlig inom det våglängdsområde som denna strålning omfattar, se avsnitt 3.

En större del av strålningens energi kan hindras att tränga igenom en glasruta om man gör glaset mera absorberande genom att tillsätta färgämnen i glasmassan. Ett absorberande skikt kan ju också anbringas på glasets yta. Den direkta strålningstransmissionen kan effektivt minskas på så sätt. Mindre värme tränger in i rummet, alltför starkt bländande ljus försvagas, och den materialförstöring som strålningen eventuellt kan förorsaka på textilier, möbler etc. kan elimineras.

Absorptionen av energin förorsakar vissa problem. Glaset blir uppvärmt, vilket minskar effektiviteten ifråga om skyddet mot solvärmeinläckning. Värmet skall bortföras på sådant sätt att så litet av det som möjligt tränger in i rummet. Vid fönster med två eller flera glas bör den absorberande rutan därför placeras närmast fönstrets utsida, eller man bör anordna en luftström över dess yta som bortför värmet.

En varm ruta på fönstrets insida överför inte bara värme till rummet, genom långvågig strålning till rumstorna och genom konvektion till rumsluften. Den strålar också värme direkt till de människor som vistas i rummet. Särskilt för personer som uppehåller sig i närheten av fönstret kan detta förorsaka obehag.

Måste man räkna med att en glasruta blir utsatt för stark uppvärmning är det nödvändigt att man ägnar uppmärksamhet åt de värmespänningar som kan uppstå och som kan orsaka att rutan går sönder, särskilt om skillnaden mellan expansionen hos glaset och hos materialet i bågen är stor.

Möjligheter finnes att minska den "sekundära" värme-strömmen från en varm ruta genom att belägga ytan mot rummet med ett skikt med låg emissionsfaktor. Härigenom minskas ju också strålningen från ytan mot personer i närheten av fönstret. Dessutom reduceras värmeavgivningen från rummet vid kall väderlek eftersom även ytans absorption av strålning från ytorna i rummet blir låg (enligt Kirchhoffs lag). På utsidan av fönstret bör man ju inte ha en sådan beläggning eftersom man vill att så mycket värme som möjligt avges där. Emissionsförmågan för långvågig strålning skall vara stor på denna sida.

I allmänhet kan man behärska solvärmeproblemen vid fönster effektivare om man använder en ruta med ett ytskikt som reflekterar solstrålningen. Lämpligast anbringas den belagda rutan ytterst, om fönstret består av mer än en ruta. Beläggningen är bäst skyddad om den placeras på rutans insida. En idealisk beläggning av detta slag transmitterar tillräckligt med synlig strålning, så att det inte blir för mörkt i rummet, men reflekterar IR-strålningen från solen. Absorptionen i skiktet skall vara liten.

Transmissionen genom skiktet av synligt ljus skall vara så lika som möjligt vid olika våglängder, så att ljuset inte blir färgat. Ätminstone bör dagsljuset inte få en sådan färg att färgen på ytorna i rummet kommer att uppfattas som oangenäm, och skiktet självt bör ju ha en neutral färg. Även på det ljus som reflekteras från skiktet måste dessa fordringar på färgen ställas med tanke på fönstrets utseende då det betraktas utifrån. Ljusreflexionen får inte vara alltför stark eftersom fönstret då kommer att bli starkt speglande.

Ytbeläggningsmetoden bör naturligtvis vara åldringsbeständig och hållbar så att den inte skadas mekaniskt (vid tvättning eller beröring) eller kemiskt, eller också måste den vara anbringad så att den skyddas mot sådan påverkan. Den får inte ha ojämn tjocklek eller göra glasytan ojämn; man skall helst inte kunna märka att den finns.

Ett solskydd av detta slag har den fördelen att man inte behöver riskera att det blir obegagnat när det bäst behövs, t ex tidigt på morgnarna klara dagar vid fönster mot öster. En nackdel är emellertid att dagsljuset försvagas. Man kan inte avlägsna det då fönstret ligger i skugga eller då vädret är mulet. Denna synpunkt bör uppmärksammas, särskilt i vårt klimat med jämförelsevis kort solskenstid. Å andra sidan är man i vissa typer av lokaler alltid beroende av artificiell belysning, och alltså mindre beroende av dagsljuset. Vidare kan dagsljuset i rum med stor fönsteryta vara tillräckligt även om inte lika mycket ljus transmitteras per m<sup>2</sup> glasyta som vid rutor av vanligt glas. I sådana fall är det uppenbart att solskyddsglas kan vara lämpliga att använda.

De ytbeläggningsmetoder som nu finns för att minska solvärmeinläckningen genom fönster är alla nya. Utvecklingen på området går mycket snabbt, och man söker sig fram på olika vägar om vilka man inte kan säga vilken som ter sig mest löftesrik. I de följande avsnitten skall därför ges en kort överblick, som syftar till att visa vilka möjligheter man för närvarande har att välja på enligt några nyligen publicerade artiklar i värmetekniska tidskrifter.

#### 6.12 Värmeabsorberande glas

I avsnitt 3.3 visades hur transmissionen av strålning från solen med infallsvinkeln 0° varierar med våglängden vid fyra fönsterglas med olika halt av järnoxid.

Vid glaset med lägsta halten järnoxid översteg transmissionen inte värdet 91 % vid någon våglängd. Värdet kan inte bli större än 92 % även om absorptionen i glaset är 0, därför att 8 % av strålningen reflekteras.

I FIG. 6.12a har kurvor över transmissionen hos 3 olika värmeabsorberande glas inritats som exempel (efter Persson, 1966). Man ser vid jämförelse mellan transmissionen hos vanligt fönsterglas (TAB. 3.3a) och värmeabsorberande glas att transmissionen vid de sistnämnda minskats i den del av IR-området där solstrålningens intensitet ännu är av betydelse. Detta gäller särskilt för "Calorex" och "Antisun", som båda har ett ganska högt värde på transmissionen i det synliga området. Båda glasen har blågrön färg på grund av hög järnoxidhalt. "Antisun" är lämpligt för användning i flygledartorn och fordon förutom i verkstäder o.dyl. Ytan hos "Calorex" är inte blank utan ger en diffus spridning åt strålningen. Vid "Gråglaset", som har en mera neutral färg, är transmissionen lägre i det synliga området än vid de båda andra glasen. Eftersom reflexionen i varje fall inte ökas av färgtillsatserna i glaset beror den minskade transmissionen hos värmeabsorberande glas helt och hållet på ökad absorption.

Solskyddsverkan av ett absorberande glas kan belysas av följande exempel. Vid en enkelruta av vanligt fönsterglas kan den direkt transmitterade solstrålningen vara 86 %, bestämd på det sätt som visats i avsnitt 3.3. Med kännedom om reflexionsfaktorn vid rutans båda ytor kan man beräkna att av de 14 % som återstår 8 % reflekteras och 6 % absorberas. Om man antar att värmeövergångsmotståndet på rutans insida är dubbelt så stort som på dess utsida ökar den sekundära värmeströmmen, vilken ju orsakas av rutans uppvärmning, den totalt transmitterade energin med  $\frac{1}{3} \cdot 6 = 2$  % till 88 %. Den energi som avges till omgivningen från rutans utsida blir  $8 + \frac{2}{3} \cdot 6 = 12$  %. Vid en ruta av sådant värmeabsorberande glas att absorptionen för solstrål-

ning är 33 %, transmissionen 61 % och reflexionen 6 % blir totalt transmitterad energi  $61 + 11 = 72$  %, medan den energi som avges utåt blir  $6 + 22 = 28$  %. Den totalt transmitterade delen av vinkelrätt infallande solstrålning har alltså minskat från 88 till 72 % genom användningen av ett värmeabsorberande glas i stället för ett vanligt fönsterglas, dvs. med  $100 - 72/88 = 18$  %.

Man bör observera att den solskyddsverkan en ökad värmeabsorption hos rutan i ett englasfönster ger är helt beroende av hur värmeövergången sker på glasets båda sidor, dvs. av vind- och strålningsförhållandena på utsidan och av luftrörelserna och strålningsförhållandena på insidan av glaset. I engelsk och amerikansk litteratur brukar man ibland anta att värmeövergångsmotståndet på rutans insida är mer än dubbelt så stort som på dess utsida, 2,7:1 i stället för 2:1. Detta skulle då medföra att man får den beräknade minskningen av solvärmeinläckningen något större, 20 % i stället för 18 %.

Vinsten med värmeabsorberande ruta blir större vid ett tvåglasfönster än vid ett englasfönster om det är den yttre rutan i tvåglasfönstret som är värmeabsorberande. Den totalt transmitterade delen av vinkelrätt infallande strålning sjunker från 79 till 62 %, dvs. med 21,5 %, under samma förutsättning beträffande värmeövergångsmotstånden på fönstrets in- och utsida som gällde vid enkelrutan och vid samma värden på absorption, transmission och reflexion hos det värmeabsorberande glaset som förut. Är den inre rutan värmeabsorberande i stället för den yttre får man att totalt transmitterad energi blir 74 %, så att minskningen blir ganska obetydlig, 6 %.

Det mest använda färgämnet i värmeabsorberande glas är järnoxid, dvs.  $\text{FeO}$  eller  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Även oxider av Ni, Co, Cr, Mn, V och Cu kan tillsättas glasmassan, varigenom

färgen på glaset kan varieras. Fabrikation av värmeabsorberande glas kräver en förhållandevis stor produktion, och då marknaden för sådant glas är rätt begränsad i Skandinavien tillverkas det inte här.

I samband med detta kanske det förtjänar påpekas att även de små halter järnoxid som förekommer i vanligt fönsterglas ger glaset en färgton som är tydligt märkbar i vissa sammanhang. Om man t.ex. inifrån ett rum i elektrisk belysning betraktar ett tvåglasfönster med en nedfälld persienn mellan rutorna kan persiennlamellerna om de är ljusa få en mycket tydlig blågrön färg. Har rutorna innanför persiennlamellerna i två fönster bredvid varandra olika halt av järnoxid kan en oestetisk verkan uppstå.

Vanligen är färgtillsatsen jämnt fördelad i glassmassan. Vid en ny typ av bronsfärgat glas, vars transmission för ljus är 50 %, utgörs emellertid det absorberande skiktet av utomordentligt små metallpartiklar, som i ett elektrokemiskt fält fällts ut i glassmältan vid tillverkningen i ett skikt omedelbart under glasytan.

## 6.13 Belagda glas

### 6.131 Keramiska beläggningar

Under 1940-talet började man i USA att belägga glasrutor med keramiska ämnen av halvledarkaraktär, transparenta för solstrålning men reflekterande för långvågig strålning. I början användes sådana beläggningar på glasskivor som skulle skydda arbetare för hettan från ugnar. För solskyddsändamål kunde beläggningen utnyttjas om den anbragtes på insidan av ett värmeabsorberande glas. Värmeavgivningen till rummet från det uppvärmda glaset minskas då genom den reducerade emissionsförmågan. Samtidigt vinner man att värmeavgivningen från

rummet till glaset och därmed rummets värmebehov minskas när det är kallt ute.

En keramisk beläggning framställdes senare som i stället var reflekterande för kortvågig strålning (solstrålning), medan emissionen för långvågig strålning var ungefär densamma som för vanligt glas. En värmeabsorberande fönsterruta med denna beläggning på utsidan och den andra på insidan ger ett gott skydd mot solvärmeinläckning.

I FIG. 6.13a visas hur emissionsfaktorerna  $\epsilon$  hos sådana beläggningar varierar med våglängden enligt mätningar av Yellott, som gjort en noggrann undersökning av deras värmetekniska egenskaper (Yellott, 1964). Man ser av figuren att den utvändiga, solreflekterande beläggningen har ett  $\epsilon$ -värde som genomsnittligt väl överensstämmer med  $\epsilon$ -värdet hos vanligt, obelagt glas inom det visade våglängdsområdet. Den invändiga beläggningen har en emissionsfaktor som endast är  $1/3$  till  $1/4$  av detta värde.

Även Yellotts mätningar av  $\epsilon$ -värdet hos obelagt glas har stort intresse. Man fann att det för sådant glas med temperaturen  $120^{\circ}\text{F}$  och integrerat över våglängdsområdet  $5\text{-}50\ \mu\text{m}$  var  $0,896$  i stället för det värde  $0,94$  som brukar användas och som härrör från E. Schmidt (1927). Här avses emissionsfaktorn för strålning mätt vinkelrätt mot glasytan. För den halvsfäriska emissionsfaktorn erhöll han värdet  $0,842$  i stället för  $0,875$ .

Av FIG. 6.33b framgår hur transmission och reflexion hos ett glas med keramiska beläggningar varierar med våglängden. Glasets transmission för solstrålning är  $26\ \%$  och reflexion  $18\ \%$ , varför absorptionen är  $56\ \%$ . Ljustransmissionen är  $35\ \%$  vid detta glas.

De keramiska ytskikten består av oxider av vissa metaller (titan, tenn, indium, järn m.fl). De är kemiskt och

mekaniskt hållbara. Glasytan blir emellertid i allmänhet inte fullt jämn, så att användningen av fönster med detta slag av beläggningar är begränsad.

#### 6.132 Metallbeläggningar

Hos tunna metallbeläggningar ökar förmågan att reflektera strålning med våglängden, i allmänhet långsamt men kontinuerligt. I FIG. 6.13c ser man att reflexionsfaktorn för ett skikt av nickel och krom är praktiskt taget konstant inom våglängdsområdet för synlig strålning medan den hos ett guldsikt är betydligt mera våglängdsberoende, "selektiviteten" är större. Detta gäller också transmissionen. Vid det guldsikt med tjockleken  $0,015 \mu\text{m}$  för vilket de heldragna kurvorna i diagrammet ritades var transmissionen för solstrålning ca 50 % inom ljusområdet men ca 25 % i genomsnitt i IR-området. För transmissionen genom NiCr-skiktet var motsvarande värden 22 resp. 18 %.

Vid samma transmission i IR-området släpper tunna guldsikt igenom ungefär dubbelt så mycket ljus som tunna NiCr-skikt på grund av den större selektiviteten. Å andra sidan blir ljuset färgat, såväl det transmitterade som det reflekterade. Det transmitterade ljuset är svagt grönfärgat. Fönster med guldbelagd ruta ger därför en färgnyans åt rummet som i någon mån avviker från den man får i dagsljus från fönster med obehandlat glas. Utifrån sett har fönstret en karakteristisk guldfärg.

Kurvorna för reflexionsfaktorn i FIG. 6.13c avser reflexionen av strålning vid den fria skiktytan. I praktiken träffar solstrålningen den sida av skiktet som ligger mot glaset, och där är reflexionen lägre. Eftersom transmissionen alltid är lika i båda riktningarna motsvaras minskningen av reflexionsfaktorn av en lika stor ökning av absorptionen i skiktet.



Metallskikt är känsliga för mekanisk påverkan, särskilt guldsikt, och måste skyddas mot beröring. De anbringas därför på insidan av det ena glaset i en isolerruta, på det yttre fönsterglasat eftersom detta är bäst ur värmeteknisk synpunkt, (se FIG. 6.13d), eller mellan två glasskivor (lamellruta). Solstrålarna träffar i båda fallen en skiktyta som ligger mot glas.

Man kan förstärka selektiviteten genom interferensverkan på så sätt att man bäddar in metallskiktet mellan icke absorberande skikt, se FIG. 6.13e. Därvid påverkas också färgen hos transmitterat och reflekterat ljus i viss mån. Av figuren framgår att kurvan för den spektrala reflexionen förlöper olika beroende på från vilket håll strålningen kommer, från den fria sidan eller från glassidan.

Även stora ytor kan man numera metallbelägga med hjälp av vakuumtekniska metoder och därvid få den jämna fördelning av metallen över ytan som är nödvändig. Kemisk utfällning är en annan billigare möjlighet som brukar utnyttjas för beläggning av glas med bl a järn, kobolt, nickel och krom. De båda svenska tillverkarna av belagda isolerglas, Scanglas och Emmaboda, använder detta tillvägagångssätt, varvid huvudbeståndsdelen är nickel. Man får en i det närmaste grå beläggning som obetydligt påverkar färgen hos genomfallande och reflekterat ljus.

I FIG. 6.21f visas exempel på transmissionskurvor för glas med guld- och nickelbeläggning. Transmissionen i området för synlig strålning är lägst för glaset med nickelskikt, varav följer att man får det mörkast inomhus om man väljer detta glas. Gör man nickelskiktet tunnare får man en parallellförskjutning uppåt av kurvan och mera ljus transmittteras, men då ökar också den instrålade energin.

Det bör påpekas att man inte kan jämföra solskyddsverkan av olika metallbelagda glas enbart med hjälp av glasens transmissionskurvor. Strålningens absorption  $A$  och därmed den sekundära värmetransporten kan nämligen inte bestämmas med ledning av transmissionsfaktorn  $T$ . Detta är däremot möjligt vid värmeabsorberande glas, eftersom  $A = 1 - R - T$  och vid dessa glas  $R$  är blott 5-8 %. FIG. 6.12a är därför mera upplysande i detta avseende än FIG. 6.13f.

### 6.133 Dielektriska beläggningar

Reflexionen vid en glasskiva kan ökas selektivt fem till sex gånger genom optisk interferens, med hjälp av dielektriska (dvs. icke ledande) skikt i vilka absorptionen är praktiskt taget noll. Skiktets brytningsindex skall vara tillräckligt stort, och den optiska tjockleken, dvs. tjockleken gånger brytningsindex, skall utgöra  $1/4$ ,  $3/4$  eller högre, ojämn multipel av  $1/4$  av den våglängd för vilken reflexionen skall nå maximivärdet. Man får närmare 50 % reflexion vid en skiva som på båda sidorna är belagd med absorptionsfria skikt med brytningsindex 2,3.

Vid beläggning av ett enkelglas låter man gärna reflexionsmaximum ligga vid gränsen till infrarött. Den färgning av ljuset som uppstår kan man motverka genom att tillsätta ett svagt absorberande ämne, så att man får fullständig färglöshet vid genomsikt. Transmissionen av solstrålning kan för en sådan glasskiva vara 40-60 %, reflexionen 30-40 %.

Genom att belägga båda rutorna i en isolerglasenhet med dielektriska ytskikt har man ytterligare möjligheter att påverka utseendet hos kurvorna för den spektrala transmissionen och reflexionen för att få så god solskyddsverkan som möjligt. För att inte den ökade reflexionen i det synliga området skall bli besvärande

kan man på den yttre rutan använda en svagt ljusabsorberande reflekterande beläggning genom vilken den ljustrålning som reflekteras vid den inre rutan blir tillräckligt försvagad.

Selektiviteten vid reflexion kan förstärkas i hög grad genom användning av flera skikt med olika brytningsindex. Redan tre absorptionsfria skikt med en optisk tjocklek av ca  $1/4$  våglängd för  $1 \mu\text{m}$  våglängd ger ett markant transmissionsminimum resp. reflexionsmaximum i det närmaste IR-området, om det första och det tredje skiktet har ett högt brytningsindex, det andra ett lågt, se FIG. 6.13g.

I första hand är det metalloxider som är lämpade för framställning av sådana ytskikt vid vilka det förutom optiska egenskaper kommer an på beständighet, hårdhet och häftförmåga. Vid s.k. doppningsförfarande bildas på glasytan ur organiska lösningar av metallföreningar gelartade skikt som vid uppvärmning övergår i optiskt klara oxidskikt med brytningsindex mellan 1,45 och 2,4 under hydrolytisk och pyrolytisk sönderdelning. Ur en lösning med flera komponenter kan man kombinera olika egenskaper hos skikten. Deras mekaniska motståndskraft tillåter att belagda rutor används i fönster utan särskilda skyddsåtgärder, t.ex. i englasfönster (Schröder, 1968).

#### 6.134 Plastbeläggningar

I och för sig är det inte nödvändigt att den solskyddande ytbeläggningen anbringas på glaset vid glastillverkningen. Om man kan applicera den efteråt vinner man den i vissa fall värdefulla fördelen att man kan vänta till dess att det har visat sig bli nödvändigt att förse fönstret med solskydd. En solskyddsfilm som framställes separat kan även bli billigare än en ytbehandling av själva glaset.

På senare år har ytskikt av genomskinlig plast använts för solskyddsändamål. I början sprutades plasten, som var av alkydtyp och tillsatt med lämpliga färgpigment, i flytande form på det färdigmonterade fönstret (Alderson, 1960). Sedan skiktet härdat fordras ingen speciell behandling, utan ytan tål att rengöras ungefär som en vanlig glasyta. Eftersom materialet absorberar mera av strålningen i det synliga än i IR-området är beläggningens användning huvudsakligen begränsad till fall då man besväras av bländning eller då man särskilt omsorgsfullt önskar skydda möbler och andra inventarier för solens ultraviolette strålning, t.ex. i butiker och varuhus.

I marknaden finns nu också metalliserade plastfilmer av olika slag. En polyesterhinna av tjockleken 25  $\mu\text{m}$  belägges i vakuum med t ex aluminium, som sedan täcks av ett polyesterskikt. Vid monteringen på en glasruta används ett transparent bindemedel, och filmens kanter tillsluts noga mot glaset för skydd mot skada vid rengöring. Ytan kan tvättas som en normal glasyta. Livstiden vid korrekt behandling uppskattas med ledning av försök till minst 10 år. En sådan plastfilm kan utföras mycket jämn och ger vid genomsikt ingen märkbar förvrängning av utsikten genom fönstret. Färgen är blågrå.

Som exempel på de värden på transmission och reflexion som kan erhållas vid ett glas belagt med metalliserad plastfilm kan nämnas följande. Vid Yellott Solar Energy Laboratory provades två olika filmsorter av samma fabrikat. Applicerad på en vanlig 3 mm tjock glasruta transmitterade den ena filmen 20 % ljus, den andra, som var ljusare, 45 %. Av vinkelrätt infallande solstrålning transmitterade den mörkare filmen 17 % och reflekterade 60 %, medan den ljusare transmitterade 37 % och reflekterade 38 % (Alderson, 1969). Till värdena 17 % resp 37 % skall läggas viss del av absorberat värme, då man bestämmer den totala transmissionen av strålningsenergi. - Eftersom reflexionen är stor får man en god solskyddsverkan, särskilt vid användning av den mörkare filmen. En nackdel vid användning av denna filmsort är att fönstren blir starkt speglade då man betraktar dem utifrån.

## 6.14 Ljuskänsliga glas

En nackdel hos alla solskyddsglas som beskrivits är att skyddet reducerar dagsljuset genom fönstret även då fönstret ligger i skugga eller då vädret är mulet. Emellertid har två slags glas tillverkats som förblir transparenta som vanligt fönsterglas så länge de inte är solbelysta.

Det ena utförs av två glasskivor med mellanliggande skikt av plast jämte vatten och kalciumklorid. Vid solbestrålning blir rutan varm, och en del av vattnet faller då ut i form av mycket små droppar i gränsskiktet mellan glaset och plasten. Därvid blir glaset mjölkaktigt och avskärmar ca 60 % av synlig och infraröd strålning. I skugga återfår glaset full ljusgenomsläpplighet. Övergången till ogenomsynligt tillstånd sker avsevärt snabbare än omvänt (Persson, 1968).

Vid det andra solskyddsglas har man utnyttjat möjligheten att göra glaset ljuskänsligt genom tillsättning av vissa silversalter. Dessa utgörs av mycket små kristalliter av silverhalogener som gör glaset mörkt vid ultraviolett bestrålning men som annars är helt osynliga. Kristalliterna bildas vid glastillverkningen då man återvärmer glasmassan efter den ursprungliga smältningprocessen. De är av samma slag men mindre än de som förekommer i fotografisk film. Grundglaset kan vara av samma typ som vanligt fönsterglas, ett soda-kalksilikatglas.

Vid dessa "fotokroma" glas sker svärtningen helt reversibelt. Glaset färgas mycket snabbt, medan återgången till transparent tillstånd tar några minuter upp till 1 h beroende på glasets sammansättning och den tidigare värmebehandlingen (Persson, 1968).

Fotokroma glas har använts till solglasögon, senare också till fönster i bilar och flygplan. Hittills har de varit för dyra att begagnas i byggnadsindustrin.

Det är emellertid ovisst om de har någon uppgift att fylla som skydd mot solvärme. Svärtningen, som beror på bildandet av metastabila silveratomer genom elektronövergång, sker i det synliga området. Infraröd strålning transmittteras nästan oförsvagad. På grund av att reflexionen härvid är oförändrad uppnår man alltså vid fotokromsvärtning av glaset i solljus huvudsakligen endast ett bländningsskydd vid alltför starkt ljus, men inget nämnvärt skydd mot värme. Glaset blir ett värmeabsorberande glas, men endast i det synliga området. Om därför i framtiden fotokromt planglas skulle komma i marknaden, vilket utan tvivel vore tekniskt möjligt, så skulle man för effektiv kontroll av solstrålningen trots detta dessutom behöva en främst i IR-området starkt reflekterande beläggning (Schröder, 1968).

#### 6.15 Avskärmningsfaktorer hos fönster med värmeabsorberande och belagda glas

Inblandning av färgämnen i glasmassan eller beläggning med tunna skikt på ytan påverkar glasets optiska egenskaper  $T$ ,  $R$  och  $A$ . Om dessa är kända kan avskärmningsfaktorerna för glaset i kombination med andra skikt beräknas exempelvis med datorprogrammet beskrivet i 3.6. För tvåglasfönster med ett vanligt fönsterglas på insidan ( $a \cdot s = 0,07$ ) och olika typer av glas på utsidan har sådana beräkningar utförts. Det yttre glasets optiska egenskaper har varierats på ett systematiskt sätt så att värden för uppritande av FIG. 6.15a erhållits. Här är avskärmningsfaktor  $F_1$  avsatt som funktion av  $F_2$  med det yttre glasets värden på  $T$  och  $R$  som parametrar. Övriga förutsättningar för beräkningarna framgår av figuren.

Vid vissa beläggningar blir strålningens reflexion lägre om strålningen först skall passera glasrutan än om strålningen träffar beläggningen direkt. Då transmissionen är densamma i båda riktningarna är alltså absorptionen högre för strålning som infaller mot den icke belagda sidan.

Beläggningsen är i allmänhet anbringad på det yttre glasets insida. Den högre reflexionen och den lägre absorptionen påverkar då endast de strålningskomponenter som återreflekteras från den inre glasrutan. I detta fall är dessa mycket små, varför avskärningsfaktorerna kommer att ligga mycket nära de värden som erhålles om man genomgående räknar med den reflexion som gäller för den infallande strålningen.

I datorprogrammet kan hänsyn tas till olika optiska egenskaper i olika riktningar.

Beläggningsar kan ha ett lägre emissionstal för långvågig strålning än obelagt glas, för vilket gäller  $\epsilon = 0,85$ . Detta medför ett högre värmemotstånd mellan glaset och ett lägre  $F_1$ -värde. Speciellt guld- och kopparskikt har denna egenskap.

Om det belagda glaset har  $\epsilon = 0,2$  i stället för  $0,85$  ökas värmemotståndet från det förutsatta värdet  $0,17$  till ca  $0,31 \text{ m}^2\text{C/W}$ . För ett glas på utsidan med  $T = R = 0,3$  medför detta enligt gjorda beräkningar en sänkning av  $F_1$ -värdet från  $45 \%$  till  $43 \%$ , en obetydlig förändring.

FIG. 6.15a kan alltså sägas sammanfatta värdena på  $F_1$  och  $F_2$  för alla tvåglasfönster med absorberande och reflekterande glas på utsidan och ett vanligt fönsterglas på insidan, förutsatt att värmemotstånden inte alltför mycket avviker från de antagna, jfr 3,45. Värdena för några vanliga glas ges i BIL. II.

FIG. 6.15b sammanfattar värdena på  $F_1$  och  $F_2$  för ett tvåglasfönster med det belagda eller absorberande glaset på insidan och ett vanligt fönsterglas på utsidan. Figuren är framställd främst med tanke på plastfilmer som appliceras på insidan av ett isolerglasfönster.

## 6.2 Persiennner

En persienn fungerar i huvudsak som ett värmeabsorberande skikt. Detta blir mera uttalat ju mörkare lamellerna är. Vid ytan av lameller med den vanligaste förekommande färgen, ljus grå eller gräddgul, absorberas ca 40 % av solstrålning ( $a = 0,4$ ). Vid normalt utförande med förhållandet lamellbredd/steghöjd  $w/s = 1,2$ , och vid lutningen  $\alpha = 45^\circ$  hos lamellerna utestängs ljuset i hög grad. Endast ca 10 % av strålningen från himlen transmitteras. Värdet är ungefär detsamma för direkt solstrålning som infaller med profilvinkeln  $\varphi = 30^\circ$ . Persiennens absorptionsfaktor  $A$  är då av storleksordningen 50 %, vilket vid solbestrålning ger en kraftig uppvärmning av persiennen. Genom att lamellerna kan vridas kan persiennens egenskaper emellertid varieras inom vida gränser, jfr 3.5.

Lamellernas färg inverkar så att en ljus lamell givetvis ger mera ljus men i allmänhet mindre värmeinläckning. Det senare gäller dock inte vid utvändigt persienn, eftersom absorberat värme här nästan helt avges till uteluften.

### 6.21 Persiennlamellers absorberande och reflekerande egenskaper

För ett antal prover på i marknaden förekommande lameller med olika färger har, med hjälp av en spektrofotometer vid Statens provningsanstalt, mätningar av reflexionen vid olika våglängder utförts, se FIG. 6.21a. Ur dessa mätningar och med den spektrala fördelning hos solstrålningen som anges av Gage (se 3.2) har absorptionen dels av synligt ljus, dels av solstrålning i hela spektrum beräknats:



Färg	Lamellytans absorptionsfaktor	
	Synligt ljus	Hela solspektrum
vit	0,13	0,26
gräddgul	0,35	0,39
ljusblå	0,43	0,39
blå	0,59	0,50
svart	0,96	0,96

Tabellen och FIG. 6.21a visar att somliga färger kan ge jämförelsevis större absorption i det synliga området, medan andra har genomsnittligt större absorption i hela spektrum. Den gräddgula och den ljusblå persiennen har samma medelvärden på absorptionen i hela spektrum ( $a = 0,39$ ). Persiennen med dessa lameller ger alltså samma värmetransmission. Den gräddgula absorberar emellertid mindre i det synliga området, varför bättre ljustransmission erhålls med denna färg.

## 6.22 Avskärmningsfaktorer hos fönster med persiennen

### 6.221 Egna beräkningar

Med det i 3.63 beskrivna datorprogrammet för beräkning av transmission genom fönster har beräkningar avseende kombinationen av glas och persiennen med varierande absorption och lamelllutning enkelt kunnat utföras. Data för persiennen har hämtats ur TAB. 3.51b och 3.51c. Glasrutorna har antagits bestå av vanligt fönsterglas med egenskaper redovisade i FIG. 3.41c.

Beräkningar har gjorts för persiennen med olika placering i två- och treglasfönster. Lamellernas absorptionsfaktor,  $a$ , och lutning,  $\alpha$ , har varierats enligt följande 9 alternativ:

$a$	0,2	0,4	0,6
$\alpha$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$

Beräkningarna är gjorda för  $\varphi = i = 30^\circ$ .

Värmemotstånden har antagits ha följande värden i  $\text{m}^2\text{°C/W}$ :

på utsidan	0,06
på insidan	0,11
mellan två glas	0,17

En persienn mellan glas ger vid solbelyst fönster och  $\alpha = 45^\circ$  en ökning av värmemotståndet med ca  $0,06 \text{ m}^2\text{°C/W}$  (Ozisik & Schutrum, 1960). Vid denna placering har värmemotståndet glas-persienn därför satts till  $\frac{0,17 + 0,06}{2} = 0,115 \text{ m}^2\text{°C/W}$ . Den eventuella ändringen med lamellutningen har inte beaktats, vilket dock torde innebära en godtagbar approximation (se FIG. 3.45d).

Värmeavgivningen från in- och utvändiga persiennar är svårbestämd. Ett rimligt antagande är att persiennen här inte påverkar fönstrets k-värde (Farber et al, 1963). Värmemotstånden på in- och utsidan skall alltså vara oförändrade. Vid beräkningarna har förutsatts att persiennen delar värdena i två lika delar.

Vid invändig persienn blir då värmemotståndet mellan inneglas och persiennen =  $0,11/2$ . Samma värde får värmemotståndet mellan persiennen och rummet.

Beräkningsresultaten redovisas i FIG. 6.22a-g. De olika alternativens innebörd framgår av skiss införd i resp figur.

Betydelsen av persiennens placering framgår tydligast av stapeldiagrammen i FIG. 6.22h och 6.22i. Värdena gäller en persienn med lutningsvinkeln  $\alpha = 45^\circ$  och lamellytans absorptionsfaktor =  $0,4$ . Vid tvåglasfönster erhåller man en ökning av  $F_1$  med ca 25 procentenheter för varje steg som persiennen flyttas inåt. Motsvarande ökning vid treglasfönster är av storleksordningen 18 procentenheter.

I FIG. 6.22a-g kan vidare följande iakttagelser göras:

Lamellutningens inverkan på  $F_1$  för persiennier med  $a$  i närheten av 0,4 är för de alternativa placeringarna av storleksordningen 5 procentenheter höjning för  $15^\circ$  mindre lutning. Ändringen är något större för ljusare och mindre för mörkare persiennier. För utvändig persienn är denna ändring dock mindre.

En ökning av lamellytans absorptionsfaktor ger, trots lägre direkttransmission ( $F_2$ ) en ökning av solvärmeinläckningen ( $F_1$ ). (Undantag: utvändig persienn.) Starkast är beroendet i fallet tvåglasfönster med invändig persienn. Skillnaden vid  $\alpha = 45^\circ$  mellan en ljus ( $a \approx 0,15$ ) och en mörk ( $a \approx 0,8$ ) persienn är här av storleksordningen 25 procentenheter. För persienn mellan glaset ger jämförelsen ljus-mörk lamellyta ca 10 procentenheter högre  $F_1$ -värde för den mörka. Med persiennen placerad mellan de yttre glaset i ett treglasfönster är motsvarande skillnad mycket obetydlig, endast någon enstaka procentenhet.

Direkttransmissionen (även ljustransmissionen) är jämförelsevis låg, varför förändringarna i  $a$  och  $\alpha$  relativt sett ger mycket kraftiga förändringar. Sålunda medför en ändring av lamellutningen,  $\alpha$ , från  $60^\circ$  till  $30^\circ$  att direkttransmissionen oavsett placeringen i det närmaste fördubblas. Ungefär dubbelt så hög direkttransmission erhålles också om lamellytans absorptionsfaktor  $a$  minskas från normala c. 0,4 till c. 0,15. Detta kan ha en mycket stor betydelse för värmebelastningen i rum med krav på hög belysningsstyrka, då persiennens transmission av dagsljus avgör hur länge den artificiella belysningen skall vara tänd. En mörk persienn ger även vid stark solbestrålning låg dagsljusbelysning. Den värmebelastning i rummet som den artificiella belysningen ger kan i vissa fall bli högre än den solvärme som persiennen avskärmar. Ett fönster med mörk persienn kan härigenom ge högre kylbehov än ett oavskärmat fönster.

## 6.2211 Avskärmningsfaktorers variation under dagen

Användandet av avskärmningsfaktorer innebär en viss approximation eftersom samma proportionalitet mellan transmissionen genom referensfönstret och ett aktuellt fönster inte råder vid alla infallsvinklar hos solstrålningen. För en persienn avgörs dessutom transmissionens storlek av profilvinkeln  $\varphi$ , medan för glas infallsvinkeln  $i$  är bestämmande. För uppskattning av vilka fel vid beräkningen av solvärmeinläckningen som uppstår genom den förenkling som användandet av avskärmningsfaktorer innebär, har en undersökning för vanlig persienn mellan glas genomförts enligt följande:

För en sydfasad i Malmö har timme för timme den 15 mars solens läge och instrålningens värdena uppdelade i direkt solstrålning, himmelsstrålning och markreflekterad strålning ( $r_{\text{mark}} = 0,25$ ) bestämts. Transmissionen av direktstrålning har beräknats som funktion av infallsvinkeln när det gäller glaset, av profilvinkeln när det gäller persiennen. Transmitterad strålning från himmel och mark har beräknats var för sig. Den på detta sätt noggrant beräknade solvärmeinläckningen jämförs med de värden som erhålls med en konstant avskärmningsfaktor, se FIG. 6.22j.

Avskärmningsfaktorn är bestämd vid en infallsvinkel,  $30^\circ$ , vid vilken hög solinstrålning råder. Härigenom blir felet minst när solinstrålningen är som starkast.

Avvikelsen är enligt figuren märkbar endast på morgonen och på kvällen då solen står mycket snett i förhållande till fönstret och den direkta solstrålningen inte är lika starkt dominerande som mitt på dagen. Instrålningens värdena morgon och kväll är emellertid låga, varför de i och för sig små avvikelserna i detta fall saknar betydelse.

Förutsättningen för denna slutsats är att lamellerna är ställda så att direkt solstrålning inte kan passera genom persiennen utan reflexion mot lamellytorna.

För persienner med liten lamellutning transmitteras en stor del av strålningen mellan lamellerna utan att reflekteras. Transmissionen som funktion av profilvinkeln följer då en kurva som avviker alltför mycket från referensglasets transmissionskurva för att någon avskärmningsfaktor skall kunna användas, se FIG. 3.51e och 3.44a.

#### 6.2212 Markreflexionens inverkan på avskärmningsfaktorn

En persienn med positiv lamellutning transmitterar mera markreflekterad strålning än himmelsstrålning. Vid beräkningarna av avskärmningsfaktorerna redovisade i FIG. 6.22a-i har förutsatts att den direkta solinstrålningen dominerar starkt, varför ingen hänsyn till himmelsstrålning och inte heller till markreflekterad strålning tagits. Detta kan sägas innebära, att strålning från himmel och mark antas bli avskärmd lika mycket som direkt solstrålning. För att undersöka det fel som härvid uppkommer har avskärmningsfaktorn vid varierande markreflexion för en vanlig persienn mellan glas beräknats ur följande uttryck

$$F_1 = \frac{K_D \cdot I_D + K_d \cdot I_d + K_g \cdot I_g}{K_{Dref} \cdot I_D + K_{dref} (I_d + I_g)}$$

Solen har därvid tänkts belägen mitt framför fönstret på en höjd av  $30^\circ$ .

Resultatet av beräkningarna blev:

$r_{\text{mark}}$	$F_1$ %
0	39
0,25	41
0,85	46

Ökningen av  $F_1$  med ökad markreflexion är ganska liten i de fall då den direkta solstrålningen dominerar.

Under sommaren har markreflexionen i allmänhet relativt låga värden, se TAB. 1.33a.

## 6.222 Egna mätningar

Fönster bestående av två rutor av vanligt fönsterglas och mellanliggande persienn har undersökts med avseende på transmission av ljus och solvärme. Undersökningen har omfattat olika persienner med lameller vars absorptionsfaktorer redovisas i 6.21.

Mätningarna utfördes vid Institutionen för Uppvärmnings- och Ventilationsteknik vid KTH i Stockholm i ett rum beläget på andra våningen i en byggnad med fasaden orienterad  $62^{\circ}$  mot väster från söder räknat.

Vid ljustransmissionsmätningarna placerades en luxmeter först utanför därefter innanför fönstret, i båda fallen med den ljuskänsliga ytan parallell med fönstret. Ljustransmissionens storlek erhöles därvid direkt som kvoten mellan utslagen. Resultatet av dessa mätningar jämförs med beräknade värden i FIG. 6.22k.

Mätningarnas enkelhet torde medföra en god noggrannhet i resultaten. Mätvärdena har en svag tendens att ligga högre än de beräknade värdena vid låg lamellabsorption, vilket troligen beror på att, trots att gatan framför fönstret skuggades av en mitt emot liggande byggnad, i verkligheten en viss (låg) markreflexion förekommer. Till denna har ingen hänsyn tagits vid beräkningarna. Med hänsyn härtill får jämförelsen anses ge en god bekräftelse på beräkningarnas riktighet.

Transmissionen av solvärme mättes enligt en metod beskriven i 5.2.

Resultatet från dessa mätningar jämförs med beräknade värden i FIG. 6.22 l-m. Varje punkt i figurerna utgör medelvärden av mätningar utförda en klar dag under den tidsperiod då profilvinkeln legat mellan ca  $20^{\circ}$  och ca  $40^{\circ}$ . De flesta mätningarna gjordes för lamellutningar  $\alpha = 45^{\circ}$ . Spridningen är större än vid ljustransmissionsmätningarna. Undersökningen är utförd under en utsträckt tidsperiod med stora variationer i temperatur- och

strålningsförhållanden, vindhastighet m m, faktorer som mer eller mindre påverkar transmissionen. Mätresultaten är framräknade ur ett stort antal uppmätta variabler, var och en med en viss spridning, vilket ger en viss osäkerhet.

Mätningarna för  $\alpha = 30^\circ$  (FIG. 6.22m) är med tanke härpå för få för att ge någon bekräftelse på beräkningarnas riktighet. Mätningarnas noggrannhet behandlas nedan.

Även treglasfönster med persienn mellan de båda inre glasen har undersökts med avseende på transmissionen av solvärme med den metod som beskrivs i 5.2. Mätningarna utfördes vid Wenner-Gren Center i Stockholm på där befintliga persiennförsedda fönster. Rummet var beläget på tionde våningen vid den fasad som är orienterad ca  $66^\circ$  mot väster från söder räknat. Persiennlamellerna hade den vanliga ljusa färg för vilken absorptionsfaktorn kan uppskattas till ca 0,4. Resultat från dessa mätningar visas i FIG. 6.22 n-o. Punkterna utgör här liksom i FIG. 6.22 l-m medelvärden av flera mätningar under en dag. Överensstämmelsen med beräknade värden är mycket god, men med hänsyn till den spridning i mätresultaten som undersökningarna vid KTH gav, torde de vara för fåtaliga för att med säkerhet verifiera beräkningsresultaten.

En uppskattning av mätningarnas noggrannhet kan göras enligt följande:

Beteckningar se 5.2.

De värden som här används är av den storleksordning som gäller för ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vanlig persienn med lamellutningen  $45^\circ$  mellan glasen. Solinstrålningen sätts till  $600 \text{ kcal/m}^2\text{h}$  och profilvinkeln till  $30^\circ$  varvid ca  $240 \text{ kcal/m}^2\text{h}$  trans-

mitteras totalt. Temperaturen ute och inne förutsätts vara ungefär lika. Direkttransmissionen beräknas som

$$T = \frac{I_T}{I_{sol}}$$

Det sannolika maximala relativa felet kan då uppskattas ur uttrycket

$$\frac{dT}{T} = \pm \sqrt{\left(\frac{dI_T}{I_T}\right)^2 + \left(\frac{dI_{sol}}{I_{sol}}\right)^2}$$

$dI_T$  och  $dI_{sol}$  betecknar de uppskattade maximala felen hos respektive storhet.

Solinstrålningen mot fasaden  $I_{sol}$  mäts med en utvändig solarimeter. Mätfelet sätts här till  $\pm 10\%$ .

Den direkt transmitterade kortvågiga strålningen  $I_T$  beräknas i sin tur ur observerade värden på andra storheter:

$$a \cdot I_T = \rho c s \cdot \frac{d\theta}{dt} - q'_{1s}$$

$a$  är konstant  $\approx 1$ .

Plattans temperaturstegring  $\frac{d\theta}{dt}$  utvärderas från skrivarpapper med en noggrannhet som uppskattas till  $\pm 10\%$ . Värdet vid de antagna förutsättningarna är av storleksordningen  $30^\circ\text{C}/\text{h}$ . Produkten  $\rho \cdot c \cdot s \approx 3,3$ . Det långvågiga strålningsutbytet mellan fönsterytan och plattan beror av temperaturskillnaden mellan ytorna

$$q'_{1s} = \alpha_s \cdot \Delta t$$

Då yttemperaturerna är svåra att mäta - ett termoelement anbringat på en yta med hög temperatur kyls av den förbiströmmande luften - antages här  $3^\circ\text{C}$  som ett maximalt fel. Detta ger, om  $\alpha_s$  betraktas som konstant  $\approx 4 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ,  $dq'_{1s} \approx 12 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}$ . Det sannolika maximala felet i  $I_T$  blir alltså

$$dI_T = \pm \sqrt{(3,3 \cdot 30,0,10)^2 + 12^2} = 16 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}$$



$I_T$  är i detta fall av storleksordningen  $50 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ , varför

$$\frac{dI_T}{I_T} = \frac{16}{50} \quad \text{eller ca } 32 \%$$

Härtill kommer  $\frac{dI_{\text{sol}}}{I_{\text{sol}}} = 10 \%$

För transmissionsfaktorn  $T$  fås då

$$\frac{dT}{T} = \pm \sqrt{0,32^2 + 0,1^2} \quad \text{eller } \pm 33 \%$$

Det sannolika maximala felet i avskärningsfaktorn  $F_2$  kan uppgå till  $\pm 33/0,78 = \pm 42 \%$ .

Den totala transmissionen utvärderas ur uttrycket

$$Q = I_T + q_{1s} + q_{kv} - k(\theta_1 - \theta_r)$$

Felet i  $I_T$  har tidigare uppskattats till  $16 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ .  
 $q_{1s}$  antages ha samma fel som  $q'_{1s}$ , dvs  $12 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ .

Den konvektiva värmeavgivningen från fönsterytan till rumsluften beräknas ur

$$q_{kv} = \alpha_k \cdot \Delta t$$

Om  $\alpha_k$  har det maximala felet  $20 \%$  och  $\Delta t$  är av storleksordningen  $15^\circ\text{C}$  bestämd med en noggrannhet av  $\pm 2^\circ\text{C}$  fås

$$\frac{dq_{kv}}{q_{kv}} = \pm \sqrt{0,2^2 + \left(\frac{2}{15}\right)^2} \quad \text{eller } 24 \%$$

Med  $\alpha_k = 4 \text{ kcal/m}^2\text{C}$  blir

$$dq_{kv} = 0,24 \cdot 4 \cdot 15 = 14 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

Termen  $k(\theta_1 - \theta_r)$  är enligt de antagna förutsättningarna försumbar. Om man ändå skulle anta att  $\theta_1 - \theta_r = -10^\circ$ , blir termens storleksordning  $2,5 \cdot 10 = 25 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ . Felet sätts till  $20 \%$  eller  $5 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ .

Det sannolika maximala felet i  $Q$  kan nu beräknas:

$$dQ = \pm \sqrt{16^2 + 12^2 + 14^2 + 5^2} = 25 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

Det relativa felet blir

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{25}{240} \quad \text{eller drygt } 10 \%$$

Transmissionsfaktorn  $K$  erhålles slutligen som

$$K = \frac{Q}{I_{\text{sol}}}$$

Eftersom felet i  $I_{\text{sol}}$  bedömts vara 10 % blir

$$\frac{dK}{K} = \pm \sqrt{0,1^2 + 0,1^2} \quad \text{eller } 14 \%$$

Avskärmningsfaktorn  $F_1$  blir härigenom vid en mätning bestämd med det sannolika relativa maximala felet  $\pm 14/0,78$  eller  $\pm 18 \%$ .

Denna beräkning avser ett ogynnsamt fall med hög absorption i fönstret med åtföljande hög fönstertemperatur. Vid mätning på t ex ljusa gardiner blir felen i  $F_1$  och  $F_2$  väsentligt mindre. Speciellt gäller detta när fönstertemperaturen endast obetydligt överskrider rumstemperaturen och  $I_T$  registreras med hjälp av en invändig solarimeter.

### 6.223 Litteraturuppgifter

Solvärmetransmissionen genom olika typer av fönster har behandlats främst i USA av en rad forskare. Den sammanställning som ges i The ASHRAE Handbook of Fundamentals ("GUIDEN") (1967), utgör ett extrakt av de resultat som framkommit under åren. Boken innehåller också en omfattande referenslista. Amerikanska litteraturuppgifter inskränker sig därför här till ett urval ur handboken, varvid  $F_1$  värdena omräknats med hänsyn till att vårt referensfönster är utfört med två i stället för med ett glas.

Andra uppgifter i litteraturen grundar sig oftast på de amerikanska. I andra fall är uppgifterna och framför allt deras förutsättningar oftast för knapphändiga för att de skall ha något värde. Ett undantag utgör de arbeten som utförts vid Laboratoriet for Varmeisolering vid Danmarks Tekniske Højskole, se Petersen (1966) och Petersen (1971).

I nedanstående sammanställning ges amerikanska och danska värden på  $F_1$  enligt ovanstående källor, jämförda med egna beräkningsresultat:

Fönsterkombination	Guiden	Petersen	Egna beräkningar
Två glas med persienn			
utv. vit a=0,25		21	17
medium a=0,4		15	14
mörk a=0,75		10	11
mellan glaset vit	36	33-40	37
medium	39	34-43	39
mörk		39-52	44
invändigt vit	56	55-60	59
medium	62	60-64	65
mörk		77-81	77

Fönsterkombination	Petersen	Egna beräkningar
Treglasfönster med persienn		
mellan de yttre glaset vit	29-35	29
medium	27-34	30
mörk	28-39	31
mellan de inre glaset vit	43-48	45

### 6.23 Avskärningsfaktorer hos frånluftsventilerade fönster med persienn

De värden som här redovisas avser ett fönster bestående av utifrån räknat: ett isolerglas med två rutor, en persienn och ett inre glas. Frånluften evakueras genom den spalt där persiennen är placerad. Glasen är klara ( $a \cdot s = 0,07$ ) och för persiennen gäller  $w/s = 1,2$ ,  $a = 0,4$ ,  $\alpha = 45^\circ\text{C}$ .

#### 6.231 Egna datorberäkningar

I 3.7 konstaterades att den sekundära transmissionen med ganska god noggrannhet bestäms av luftmängden, fönstrets höjd,  $h$ , och luftspaltens hydrauliska diameter,  $d_h$ , sammanfattade i det dimensionslösa talet  $Re \cdot \frac{h}{d_h}$ . Ett realistiskt värde på detta tal är av storleksordningen  $15 \cdot 10^3$ .

Motsvarande värde på  $F_1$  har beräknats till 24-25 % (se FIG. 3.73a).

#### 6.232 Jämförelse mellan mätningar och beräkningar

Mätningar av frånluftsfönsters solvärmestransmission har utförts av Södergren & Boström (1969) och av Gabrielsson & Matilainen (1969).

I FIG. 6.23a visas några av dessa mätresultat tillsammans med beräknade värden. De olika fönstren har olika dimensioner, varför avskärningsfaktorn avsattes som funktion av den dimensionslösa storheten  $Re \cdot \frac{h}{d_h}$ , jfr 3.73.

Mätvärdena enligt Södergren & Boström avser ett fönster med höjden 1,7 m och glasavståndet i den ventilerade spalten 0,2 m. De är lägre än de beräknade värdena. Skillnaden torde bero på det stora glasavståndet.

Förmodligen uppträder dubbelströmmar i luften till vilka ingen hänsyn tas vid beräkningarna. Senare utförda mätningar på fönster med mindre glasavstånd har enligt Södergren givit högre värden.

Mätvärdena enligt Gabrielsson & Matilainen avser ett fönster med höjden 1,53 m och glasavståndet 0,11 m samt nedåtriktad luftström.

Luftrörelsen på grund av egenkonvektion vid persiennen kommer då att vara riktad mot frånluften, varför värmeöverföringen vid låga luftflöden blir sämre. Vid högre luftflöden dominerar den påtryckta strömningen och avskärningsfaktorn blir av samma storleksordning som vid uppåtriktad luftström. Detta resonemang bekräftas av mätresultaten. Vid luftmängden  $65 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , vilket för det aktuella fönstret motsvarar  $Re \cdot \frac{h}{d_h} \approx 24 \cdot 10^3$ , har uppmätts  $F_1 = 21 \%$ . Vid luftmängden  $100 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , motsvarande  $Re \cdot \frac{h}{d_h} \approx 37 \cdot 10^3$ , uppmättes  $F_1$  till ca 16 %. Det förra värdet överensstämmer med beräkningar enl. FIG. 6.23a, medan det senare enligt beräkningarna blev ca 18 %. Vid lägre luftflöden inverkar strömningsriktningen, varför mätvärdena blir högre än de beräknade värdena. Vid  $50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  blir  $F_1 \approx 28 \%$  mot beräknade 23 %.

Med ledning av ovan redovisade beräkningar och mätningar kan man för frånluftsventilerade treglasfönster med persienn och luftström mellan de inre glasen vid normala luftflöden och inte alltför stora glasavstånd rekommendera ett värde på  $F_1$  som ligger mellan 20 och 25 %. För  $F_2$  gäller samma värden som för oventilerat fönster, se t ex FIG. 6.22f.

### 6.3 Gardiner

Av förekommande fönsterskydd är gardinerna vanligast. Detta kan inte bero på att de ger det bästa skyddet mot solvärmen - oftast placeras de innanför fönstren och blir därför ganska ineffektiva. Anledningen är snarare att de också kan utnyttjas för andra uppgifter: de skall ge trevnad, skydda mot för starkt ljus och ge avskildhet, ofta utan att därför behöva utestänga all kontakt med omgivningen. Vidare har de en ljudabsorberande effekt vid buller som alstras inomhus.

För bestämning av gardinernas solskyddsverkan är det naturligt att liksom vid solskyddsglasen och persiennerna utgå ifrån uppmätta värden på materialets transmissions- och reflexionsfaktorer. Vid gardinerna är det emellertid också möjligt att göra en approximativ bestämning genom att visuellt bedöma gardinvävens täthet och ljushet. I USA har man publicerat några arbeten i vilka det bl a visas hur inomhusgardinernas funktioner kan bedömas genom en klassificering av väven grundad på dessa båda egenskaper. Här skall först ges en resumé av innehållet i dessa arbeten (ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967, Yellott, 1965, Moore & Pennington, 1967, och Keyes, 1967).

#### 6.31 Inomhusgardiners egenskaper enligt amerikanska källor

##### 6.311 Klassificering av gardiner

Gardiners egenskaper beror främst av hur mörkt garnet är och hur tätt det har vävts. Man har gjort en indelning av gardinväv i klasser på grundval av dessa faktorer, se FIG. 6.31a. Mörka garner enligt denna klassificering reflekterar 0-25 % av solstrålningen, medelmörka 25-50 % och ljusa mer än 50 %, medan för gles väv öppningsfaktorn är > 25 %, för medeltät väv 7-25 % och för tät väv < 7 %. Öppningsfaktorn är förhållandet mellan den öppna arean mellan fibrerna och vävens totalarea.

Vid en så grov indelning kan man klassa en viss gardinväv visuellt. Om garnet varken är ljust eller mörkt är det medelmörkt. Vid en gles väv kan man se de flesta föremål genom väven då man ser ut mot en ljus omgivning och gardinen inte är solbelyst. Är den medeltät ser man inga detaljer, men stora föremål visar tydliga konturer. Vid tät väv kan inga föremål skönjas, men stora ljusa eller mörka partier kan eventuellt framträda.

Eftersom det endast är garnet i väven som reflekterar råder följande samband mellan reflexionsfaktorn för väven i sträckt tillstånd,  $R_v$ , och reflexionsfaktorn för garnet,  $R_y$ :

$$R_v = R_y (1-H)$$

där  $H$  betecknar öppningsfaktorn.

#### 6.312 Gardinernas egenskaper med hänsyn till ljushet och täthet

Den nämnda klassindelningen kan utnyttjas inte bara vid bedömningen av gardinernas solskyddsverkan utan också vid beskrivningen av hur gardiner fungerar i andra avseenden.

Utsyn. Gles, mörk, omönstrad väv ger god utsyn vid dagsljus. Medeltät väv kan lämpligen användas då utsikten är "tråkig" eller distraherande.

Skydd mot insyn. Insynen bestäms av hur ljuset i rummet förhåller sig till ljuset ute, dessutom av vävens täthet och ljushet. Tät väv fordras när det är mörkt ute, medan även ljus och ganska gles väv kan användas i starkt dagsljus.

Strålningsskydd. För personer som vistas nära fönstret kan strålningens värmeverkan vara besvärande, vare sig det är fråga om direkt transmitterad solstrålning eller långvägig strålning från en uppvärmd glasruta eller ett varmt solskydd.

En ljus och tät gardin ger hög reflexion och låg transmission av infallande solstrålning och fungerar därför bättre som skydd för strålningsvärme än en mörk och gles. Även transmissionen av långvågig strålning hålls nere om gardinen är tät, vilket har betydelse också under vinterförhållanden. En starkt veckad solbelyst gardin får en lägre yttemperatur än en mera sträckt, eftersom den absorberade strålningsenergin lättare bortförs konvektivt från gardinen av den omgivande luften på grund av den större ytan.

Ljudabsorption. Gardiner hindrar knappast utomhusljud att tränga in i rummet. Däremot kan de effektivt dämpa ljud som alstras inomhus. Absorptionen är större ju tätare gardinen är.

Bländskydd. För god ljuskomfort fordras att direkt solljus inte når ögat. Solstrålning reflekterad av ljusa glänsande ytor är lika störande och kan omöjliggöra all verksamhet. En tät, vit, solbelyst gardin med hög transmission kan få så hög luminans att den blir starkt bländande genom kontrast mot omgivande ytor. En inte helt vit väv är bättre att använda.

Har man två olika gardiner vid fönstret bör den inre väven vara mörkare och glesare än den yttre och användas som bländskydd mot ljuset från denna. Även utan den yttre gardinen fördragen ger den bländskydd, samtidigt som den då ger viss möjlighet till utsyn.

I USA har man genom att sammanställa värden från mätningar utförda på olika håll med flera olika slag av gardinväv kunnat bestämma sambandet mellan garnets reflexionsfaktor och öppningsfaktorn å ena sidan och vävens transmissions- och reflexionsfaktorer å den andra, se FIG. 6.31b. I diagrammet i figuren har för åskådlighetens skull endast de kurvor inritats representerande olika värden på garnets reflexionsfaktor och öppningsfaktorn, vilka utgöra gränsvärdena mellan de förut nämnda nio klasserna. Keyes (1967) ger ett mera full-



ständigt diagram. I detta har också linjer för avskärmningsfaktorn hos ett englasfönster med gardin inritats, varvid man satt avskärmningsfaktorn = 100 % för englasfönster utan gardin.

Av diagrammet i FIG. 6.31b ser man att om garnets reflexionsfaktor är nära noll (opakt garn) så är också vävens reflexionsfaktor nära noll. Då har öppningsfaktorn och vävens transmissionsfaktor nästan samma värde. Vid ökande reflexionsfaktor hos garnet ökar vävens transmissionsfaktor vid oförändrad öppningsfaktor. Detta betyder att strålningen inte transmittas genom väven som genom en opak skiva med en hålarea som bestäms av öppningsfaktorns storlek, utan att transmissionen är större. Strålningen reflekteras från fiber till fiber i garnet och genom öppningarna mellan fibrerna, eller transmittas genom fibermaterialet. Strålningen kommer ut på vävens andra sida som diffus strålning. Även den strålning som reflekteras tillbaka mot strålningskällan blir diffus, den "diffuseras".

Möjligheten att utan instrument klassificera gardiner i avseende på ljushet och täthet provades vid en undersökning. Det visade sig att otränade observatörer kunde utföra en korrekt bestämning i över 80 % av fallen.

Vill man emellertid mäta öppningsfaktorn kan man använda samma instrumentering (kisel- eller selencell) som är vanlig för mätning av transmissionsfaktorn (se nedan). Mellan väven och strålningsmätaren placeras då ett kollimatorrör genom vilket strålningen efter transmissionen genom väven får passera, för eliminering av annan strålning än den som transmittas direkt genom öppningarna i väven. Röret, som skall vara svärtat, bör ha en längd som är minst sex gånger diametern. Öppningsfaktorn blir då förhållandet mellan mätarens utslag med väven hängande framför röret och mätarens utslag då väven är borttagen.

## 6.313 Mätning av gardiners transmission och reflexion

Transmission och reflexion hos gardiner kan mätas med solkalorimeter (se 5.1). Provet hängs då upp innanför instrumentets glasfönster. Känner man glasets egenskaper i strålningshänseende kan gardinens egenskaper bestämmas ur erhållna mätvärden och efterföljande beräkning. Användning av kalorimetern för dessa ändamål är fördelaktig genom att mätningen sker på ett prov som monteras i ett fönster på det brukliga sättet vid gardinens användning, och att mätningen görs med solen som strålningskälla. Vid de i ASHRAE Handbook of Fundamentals (1967) och ASHRAE Transactions, vol. 71 och 73, publicerade undersökningarna har man då veckad gardin behandlas, betraktat det fall då veckningen är sådan att tygätgången är dubbelt så stor som vid sträckt gardin. Vidare antas att luften har fri passage i mellanrummet mellan fönsterglas och gardinen innanför, liksom vid gardinens nederkant och överkant.

Reflexionsfaktorn hos den monterade gardinen bestäms på så sätt att man subtraherar glasets reflexionsfaktor från den reflexionsfaktor som uppmätts för fönsterkombinationen glas + gardin och dividerar resten med kvadraten på glasets transmissionsfaktor

$$R_{dr} = \frac{R_{g,dr} - R_g}{T_g^2}$$

$R_{g,dr}$  mäter man med en pyrhelimeter placerad några få tum utanför fönstret och riktad mot detta.

Vid bestämning av fönsterkombinationens transmissionsfaktor subtraheras den beräknade värmeinläckningen p g a konvektion och långvågig strålning från den totala värmeinläckningen. Den monterade gardinens transmissionsfaktor får man sedan genom division med glasets transmissionsfaktor.

$$T_{dr} = \frac{T_{g,dr}}{T_g}$$

(index: dr = drape (gardin), g = glas).

Värmeinläckningen p g a konvektion och långvägig strålning beräknas ur temperaturerna hos gardinen och hos kalorimeterns väggar.

Att mäta med solkalorimeter är relativt dyrbart och besvärligt. Vid universitetet i Florida (Moore & Pennington, 1967) har man utvecklat en metod för mätning på veckad gardin med en rörlig strålningsmätare. Det strålningskänsliga elementet rör sig i ett plan parallellt med väven i cirklar med diametrar mellan 25 och 50 cm. Väven kan monteras i godtycklig vinkel så att man kan studera inverkan av såväl strålningens infallsvinkel som veckningen hos väven. Med vecken utförda i sinusform och vid en dubbelt så stor tygätgång som vid sträckt väv överensstämde mätresultaten vid denna metod väl med värden erhållna vid kalorimetermetoden.

Mätning av reflexionsfaktorn och transmissionsfaktorn är enklare att utföra på sträckt väv än på veckad väv, och man har funnit att mätvärdena kan tillämpas med god approximation även i fallet veckad väv om man multiplicerar dem med lämpliga koefficienter då avskärmningsfaktorn för en fönsterkombination med sådan gardin skall bestämmas. Reflexionsfaktorn för veckad väv, då strålningen har  $45^\circ$  infallsvinkel, erhåller man ur reflexionsfaktorn för sträckt väv vid  $0^\circ$  infallsvinkel genom multiplikation med 0,75. För transmissionsfaktorn är motsvarande koefficient 0,90. Att man använder  $45^\circ$  infallsvinkel vid veckad väv och  $0^\circ$  infallsvinkel vid sträckt väv beror på att  $45^\circ$  kan anses vara ett normalvärde på infallsvinkeln vid de förhållanden för vilka man beräknar solinstrålningen, medan  $0^\circ$  är den infallsvinkel man har vid mätning på sträckt väv.

Vid noggrann mätning på sträckt väv kan spektrofotometer användas. Man får då intensiteten hos reflekterad respektive transmitterad strålning vid olika våglängder. Den procentuella intensiteten måste för varje våglängd multipliceras med intensiteten hos solstrålningen vid motsvarande våglängd för att man efter summering av

produkterna och efterföljande division med solstrålningens totala intensitet skall få reflexionsfaktorn respektive transmissionsfaktorn för väven. Vid amerikanska mätningar brukar solstrålningens spektrala fördelning vara den som anges av Parry Moon vid  $30^{\circ}$  solhöjd (Moon, 1940).

I FIG. 6.31c visas några kurvor över transmissionsfaktorn som funktion av våglängden, erhållna vid mätning med spektrofotometer. Man ser att kurvorna förlöper olika vid olika material. Medan transmissionsfaktorn för en gardin av vit bomullsväv är mindre i IR-området än i det synliga området, är den för en gardin av akrylfiberväv större. Detta visar att det kan vara svårt att bedöma solstrålningens transmission inom det totala våglängdsområdet ur enbart mätning med t ex selen-cell inom det synliga området eller ur visuella iakttagelser utan hjälp av instrument. Detta gäller också solstrålningens reflexion.

Då man bestämmer reflexionen med de portabla instrumenten, dvs selen- och kiselcellerna och pyrheliontern, mäts växelvis (eller samtidigt om man har två likadana instrument) den reflekterade strålningen från väven och den strålning som faller in mot väven, varvid ytan av känselorganet hålls parallellt med ytan av väven. Vid mätningen av den reflekterade strålningen måste man ta noggrann hänsyn till den strålning som eventuellt når instrumentet från ytor bakom eller vid sidan av väven. Bakgrunden bör ha en yta som är absorberande för strålning.

Mäter man solstrålningens transmission med portabelt instrument får detta först registrera den strålning som faller in mot provet. Sedan håller man instrumentets strålningskänsliga element ca 5 cm bakom provet, så att man får den transmitterade strålningen uppmätt. Transmissionsfaktorn är förhållandet mellan utslagen. Även vid transmissionsmätningarna är det av vikt att man förhindrar instrålning från ytor vid sidan av pro-

vet, som därför bör vara tillräckligt stort och vid behov avmaskat med ett strålningsabsorberande material.

Man har jämfört resultaten från mätningar på sträckt väv med selencell i ljus från en volframlampa med kiselcell i solljus. Man fann att transmissionen i det artificiella ljuset var lägre än i solljuset i nästan samtliga fall, se FIG. 6.31d.

Fördelen med mätning i artificiellt ljus är inte bara att metoden är bekväm och ekonomisk utan också att man har kontroll över strålningskällans intensitet. Vid transmissionsmätningen riktar man strålen från en projektionsapparat för ljusbilder mot väven och placerar selencellen omedelbart bakom väven. Man får ett approximativt värde på transmissionsfaktorn som förhållandet mellan mätarens utslag med väven framför cellen och mätarens utslag utan väv framför cellen. Även om man får betrakta resultatet av en mätning i artificiellt ljus endast som ett approximativt mått på direkt transmitterad solenergi har det intresse på så sätt att det ger upplysning om kvantiteten transmitterat ljus, en faktor som är bestämmande för bländningsrisken vid gardinens användning.

## 6.32 Avskärmningsfaktorer hos fönster med gardiner

### 6.321 Resultat av egna beräkningar

Det datorprogram för beräkning av de optiska och värmekniska egenskaperna hos kombinationer av genomskinliga skikt som omnämnts i 3.6 har använts för en genomräkning av två vanliga fönsterglas i kombination med ett diffuserande skikt. Skikten definieras i detta program genom sina optiska egenskaper. Det diffuserande skiktets egenskaper har vid beräkningarna varierats enligt följande schema:

T	R	A
0,2	0,1	0,7
0,2	0,3	0,5
0,2	0,5	0,3
0,2	0,7	0,1
0,4	0,1	0,5
0,4	0,3	0,3
0,4	0,5	0,1
0,6	0,1	0,3
0,6	0,3	0,1

I verkligheten kan det diffuserande skiktet tänkas motsvara en gardin, vars optiska egenskaper som nämnts, kan variera inom vida gränser.

För enkelhets skull har för detta skikt samma data antagits gälla för direkt och diffus strålning. Beräkningarna har gjorts med skiktet placerat utvändigt, mellan glaset och invändigt.

De värmemotstånd som använts vid beräkning av den sekundära transmissionen är:

utvändigt	0,06 m <sup>2</sup> C/W
invändigt	0,11
glas - glas	0,17
glas - gardin	0,13 vid utvändig gardin
annars	0,15

Resultaten av beräkningarna uttryckta i  $F_1$  och  $F_2$  har sammanställts i FIG. 6.32a-c. I dessa figurer är  $F_2$  avsatt som oberoende variabel och  $F_1$  som beroende, medan gardinens solaroptiska egenskaper är parametrar. Denna representation motiveras av att det som i första hand intresserar är kombinationens direkttransmission som normalt också ger en uppfattning av ljustransmissionen. Med utgångspunkt från ett önskat värde på  $F_2$  kan man i diagrammet avläsa vilken solvärmebelastning, uttryckt i  $F_1$ , som en viss gardin ger.

De konsekvenser som olika solskydd ger när belysningskrav, dagsljus och solvärme samtidigt beaktas beskrivs i 7.6. Om belysningskraven är höga och man väljer ett solskydd som starkt reducerar dagsljuset kan den energi som man utestänger med solskyddet i stället belasta rummet i form av belysningsvärme. Solskyddet kan rent av få en negativ effekt. Belysningsvärme i motsats till solvärme kostar dessutom pengar.

Med hjälp av diagrammen FIG. 6.32a-c kan de gardiner som representerar de olika klasserna enligt det amerikanska systemet jämföras dels sinsemellan, dels med avseende på placering relativt de två glasrutorna. För detta ändamål har stapeldiagrammen FIG. 6.32d-f uppritats. Varje diagram visar betydelsen av gardinens placering. I figurerna avser den ljusa delen av stapeln  $F_2$ -värdet, medan den mörka delen avser den sekundära transmissionen och hela stapeln sålunda  $F_1$ -värdet. Den sekundära transmissionen bör vara så liten som möjligt, eftersom den enbart belastar rummet i form av värme. Ett solskydds egenskaper kännetecknas förutom av sitt  $F_1$ -värde också av förhållandet mellan den mörka och den ljusa delen av stapeln. Generellt visar stapeldiagrammen att solskydden, oavsett graden av absorption, blir mindre effektiva ju längre in de placeras. Detta blir mera märkbart ju mörkare (mer absorberande) gardinen är. Vidare kan man ur diagrammen utläsa att en ljusare färg oavsett placering ger ett gynnsammare förhållande mellan ljus och värme. Detsamma gäller givetvis när väven blir glesare.

Utvändig placering ger som synes det effektivaste solskyddet, då endast en liten del av den absorberade solvärmén transporteras vidare in i rummet. Den direkta transmissionen utgör här den dominerande delen (utom i fallen mörktät respektive mörk medeltät gardin).

Beträffande placering mellan glasen kan för medeltät och gles gardin följande iakttagelser göras: En ljusare gardin ger naturligtvis högre  $F_2$ -värde och därmed mera ljus. Däremot påverkas  $F_1$ -värdet endast obetydligt av gardinens färg.

Vid invändig placering blir färgen av mycket stor betydelse för  $F_1$ -värdet genom att den absorberade solvärmem till största delen tillföres rummet. För en mörk tät gardin på insidan gäller enligt FIG. 6.32d  $F_1 = 64 \%$  och  $F_2 = 5 \%$ . Sekundärt avges alltså  $59 \%$ . Om solinstrålningen genom ett oskyddat tvåglasfönster är  $700 \text{ W/m}^2$ , avges med denna gardin  $0,59 \cdot 700 = 413 \text{ W/m}^2$  sekundärt. Om värmemotståndet på insidan är  $0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$  blir gardinens temperatur över rumstemperaturen  $0,11 \cdot 413 = 45,4^\circ$ , vilket vid en rumstemperatur av  $25^\circ$  skulle ge en gardintemperatur av ca  $70^\circ\text{C}$ . Om gardinen är luftigt upphängd avges värme från båda sidorna till rumsluften. Detta medför en sänkning av temperaturen, men värmeavgivningen blir fortfarande av samma storleksordning eftersom den värmeavgivande ytan blir större. Fönstrets ljustransmission är reducerat med ca  $95 \%$ .

#### 6.322 Resultat av egna mätningar

##### 6.3221 Laborariemätningar

Enligt vad som framkommit tidigare kan gardiners optiska egenskaper variera inom vida gränser beroende på variationen i vävens täthet och färg. Ändamålet med de mätningar som här redovisas var närmast att undersöka hur vävens transmission och reflexion hos några olika prover beror av den infallande strålningens infallsvinkel. Mätningarna utfördes i en optisk bänk, se FIG. 6.32g. Belysningskällan, en xenonlampa, levererade via ett linssystem ett knippe av parallella strålar. I strålarnas väg monterades provet vridbart med en skala för avläsning av infallsvinkeln. Vid transmissionsmätningarna monterades en luxmeter omedelbart bakom provet. Kvoten mellan utslaget (i lux) med och utan prov gav transmissionsfaktorn (för synligt ljus från den använda ljuskällan). Vid reflexionsmätningarna mättes luminansen från det belysta provet i olika riktningar, varefter reflexionsfaktorn vid den aktuella infallsvinkeln kunde integreras fram.

Resultaten av mätningarna framgår av FIG. 6.32h.



Man ser att såväl transmission som reflexion för denna väv är svagt beroende av infallsvinkeln så länge denna är mindre än ca  $30^\circ$ .

Ur de uppmätta värdena kan vävens transmission  $T_d$  och reflexion  $R_d$  av diffus, jämnt fördelad strålning beräknas. För transmissionen erhålles:

$$T_d = \frac{\sum_{h=0}^{90} \sum_{\beta=0}^{90} T(i) \cdot \cos i}{\sum_{h=0}^{90} \sum_{\beta=0}^{90} \cos i}$$

där  $h$  är höjdvinkeln,  $\beta$  horisontalvinkeln samt  $i$  infallsvinkeln erhållen ur uttrycket  $\cos i = \cos h \cdot \cos \beta$ . Reflexionen  $R_d$  erhålles ur samma uttryck med  $T(i)$  ersatt av  $R(i)$ .

Denna summering utförd med steget  $5^\circ$  i  $h$ - och  $\beta$ -led (med dator) gav för väven med egenskaper enligt FIG.

$$6.32h: T_d = 0,38$$

$$R_d = 0,52$$

Detta betyder att transmissionen är 15 % lägre, reflexionen 15 % högre än motsvarande värden för direkt strålning vid vinkelrätt infall ( $T_d/T_N = 0,85$ ,  $R_d/R_N = 1,15$ ).

Om väven är gles kan man tänka sig att mera strålning än vid ifrågavarande prov passerar genom öppningarna mellan trådarna vid små infallsvinklar. För sådana tyger blir transmissionens och reflexionens beroende av infallsvinkeln starkare.

En summering enligt ovanstående för glesare väv (med data enligt Farber et al, 1963) gav upp till 70 % högre reflexion för diffus strålning jämfört med reflexionen av direkt strålning vid vinkelrätt infall ( $R_d/R_N = 1,7$ ).

För gardinen enligt FIG. 6.32h kombinerad med tvåglasfönster ( $a \cdot s = 0,07$  för båda glasen) har beräkningar av avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  utförts, dels

med förutsättningen  $T_d/T_N = R_d/R_N = 1$ , dels  $T_d/T_N = 0,85$ ,  $R_d/R_N = 1,15$  för gardinen. Resultaten framgår av följande sammanställning:

gardinens placering	$T_d/T_N = R_d/R_N = 1$		$T_d/T_N = 0,85, R_d/R_N = 1,15$		Skillnad procentenheter
	$F_1$	$F_2$	$F_1$	$F_2$	
utvändigt	45,4	38,3	46,4	39,2	-1,0 -0,9
mellan glasen	55,0	44,1	55,0	44,1	0 0
invändigt	63,9	48,9	63,1	48,1	+0,8 +0,8

I detta fall blir felet i  $F_1$  och  $F_2$  mycket litet om man räknar med att  $T_d = T_N$  och  $R_d = R_N$  för gardinen. För glasen har hänsyn tagits till att gardinen diffuserar strålningen i samtliga fall. FIG. 6.32a-c är grundade på approximationen  $T_d = T_N, R_d = R_N$  för gardinen. Bearbetningen av laboratoriemätningar enligt ovan indikerar att inget större fel härigenom torde ha uppkommit.

#### 6.3222 Fältmätningar

Enligt mätmetod beskriven i 5.2 undersöktes 8 st olika gardinprover monterade mellan två vanliga fönsterglas. Mätningarna utfördes under juni månad i ett kontorsrum på 4:e våningen i en fasad som avviker  $9^\circ$  åt väster från sydriktningen. Solstrålningens infallsvinkel varierade vid mätningarna mellan  $54^\circ$  och  $56^\circ$ . Då är referensglasets totaltransmission 71 %. I TAB. 6.32a återges de uppmätta värdena samt utvärderingen av dessa. Sist i tabellen finns en kolumn för  $F_1-F_2$ , dvs sekundärtransmissionen. Denna bör ur solskyddssynpunkt vara så låg som möjligt. Samtliga prover utom prov nr 8 var ljusa. Allra ljusast var prov nr 4 som gav intryck av att vara helt vitt. Värdet på  $F_1-F_2$  för detta prov är 10 %, vilket torde närma sig det lägsta, som praktiskt går att åstadkomma. Värdet 0 kan inte uppnås, eftersom även glasen absorberar solstrålning.

Prov nr 7 och 8 har de lägsta  $F_1$ -värdena, 38 resp 37 %. Proven är mönstrade, nr 8 mörkare än nr 7, vilket återspeglas i  $F_2$ - resp  $F_1-F_2$ -värdena.

Vid en jämförelse med stapeldiagrammen FIG. 6.32d-f ser man att proven 1 t o m 7 kan rubriceras som "ljusa, tät - medeltät" enligt den amerikanska klassificeringen. Prov nr 8 torde falla någonstans inom området ljus-medelmörk, tät-medeltät.

### 6.323 Litteraturuppgifter

När det gäller litteraturuppgifter om solvärmeinläckning genom fönster med gardiner gäller detsamma som för persiennförsedda fönster, se 6.223. I ASHRAE Handbook of Fundamentals (1967) ges avskärmningsfaktorn refererad till enkelglas (S.C.) i diagram där vävens reflexionsfaktor är avsatt på den ena axeln, dess transmissionsfaktor på den andra. Sådana diagram ges för invändiga gardiner i kombination med klara och värmeabsorberande enkel- och dubbelglas. Enligt handboken är värdena beräknade för en infallsvinkel av  $45^\circ$ . För en infallsvinkel av  $30^\circ$  eller mindre rekommenderas en höjning med 5 procentenheter av det avlästa värdet. För det klara glaset gäller här  $T_N = 0,8$ .

Nedan följer en jämförelse för tvåglasfönster med invändig gardin mellan värden avlästa i ett sådant diagram omräknade till  $F_1$ -värden (refererande till tvåglasfönster) och värden enligt egna beräkningar avlästa i FIG. 6.32c.

Vävens		Avskärmningsfaktor $F_1$		
T	R	Guiden	Egna beräkningar	Skillnad
0,6	0,3	69	75	6
	0,1	76	85	9
0,4	0,5	58	59	1
	0,3	66	70	4
	0,1	70	81	11
0,2	0,7	48	51	- 7
	0,5	57	54	- 3
	0,3	64	66	2
	0,1	69	76	7

De i och för sig relativt små skillnaderna beror bl a på att glaset är något olika, vid de egna beräkningarna förutsätts  $T_N = 0,86$ , samt på något olika förutsättningar beträffande värmeavgivningen vid glasens och vävens ytor.

## 6.4 Markiser

En kort beskrivning av markisers konstruktion och funktion ges i 8.12.

Är ett fönster helt skuggat av en markis är all genom fönstret direkt transmitterad sol- och himmelsstrålning först reflekterad vid markytan (eller andra ytor i omgivningen). Denna del av solvärmeinläckningen erhålles ur FIG. 6.4a. Diagrammet i figuren gäller med tillräcklig noggrannhet så länge fasaden är solbelyst, oberoende av i vilket väderstreck solen står i förhållande till fasaden. Kurvorna har beräknats med de strålningsintensiteter som gäller i Sverige enligt 1.2 under maj-september. Under övriga månader är värdena ungefär 10 % högre vid samma solhöjd. Instrålningen avser fönster med två rutor av vanligt glas. Vid andra fönsterkombinationer kan man räkna med att den är proportionell mot avskärmningsfaktorn  $F_2$ .

Strålningen från sol och himmel orsakar också en värmetransmission genom fönstret på grund av långvågig strålning och konvektion. Den största posten uppstår här genom att markisduken blir uppvärmd, särskilt om dukens översida har en mörk färg. Temperaturen hos luften under duken blir högre, och värme transporteras också genom långvågig strålning från dukens undersida till fönsterytan. Man kan ta hänsyn till denna sekundära värmetransport, inkluderande i fönstret absorberad markreflekterad strålning, genom att räkna med en temperaturstegring hos luften utanför fönstret, då man bestämmer den totala värmetransporten genom fönstret.

I FIG. 6.4b anges denna delvis fiktiva övertemperatur som funktion av instrålningen från sol och himmel mot fönsterfasaden (instrålningen kan bestämmas med hjälp av BIL. I:13). Diagrammet i FIG. 6.4b liksom diagrammet i FIG. 6.4a har konstruerats genom bearbetning av mätvärden från en amerikansk undersökning (Ozisk &

Schutztrum, 1958). Värdena erhöjls vid en vindhastighet av 2,5-5 mph (= 1,1-2,2 m/s). Vid större vindhastighet sjunker naturligtvis övertemperaturen. Saknas sidstycken blir temperaturhöjningen liten.

Exempel. Antag att fönstren vid en solbelyst fasad, mot vilken instrålningen beräknats till  $600 \text{ W/m}^2$  vid solhöjden  $40^\circ$ , är helt skuggade av mörkgröna ljusstäta markiser med sidstycken. Ingen öppning finns vid markisens överkant. Fönstren är vanliga tvåglasfönster med värmegenomgångstalet  $k = 2,9 \text{ W/m}^2\text{C}$  hos glasdelen. Lufttemperaturen ute är  $28^\circ\text{C}$ , inne  $23^\circ\text{C}$ . Reflexionsfaktorn hos marken framför fasaden är 0,2. Hur stort är värmeflödet genom fönstren?

Enligt FIG. 6.4a är den från markytan reflekterade och direkt genom fönstren transmitterade strålningens energi  $45 \text{ W/m}^2$ . Kurva 1 i FIG. 6.4b visar att man skall räkna med  $9^\circ$  högre lufttemperatur ute då värmegenomgången på grund av temperaturskillnaden ute-inne beräknas.

Den totala värmegenomgången blir då

$$Q = 45 + 2,9 (28 + 9 - 23) = 86 \text{ W/m}^2$$

#### 6.5 Relationsvärden för ljustransmission, solvärmeinläckning och värmeförluster för olika glastyper

Olika solskydd har olika egenskaper i fråga om skydd mot solvärme, ljustransmission (bländning), in- och utsyn och manövrerbarhet. Kostnader för anskaffning och underhåll av solskydden liksom de av dessa betingade kostnaderna för t ex belysning och kylning är av primärt intresse vid jämförelsen mellan olika solskydd. Estetiska synpunkter och ljudtekniska egenskaper är ytterligare faktorer att ta hänsyn till.

Valet av solskydd blir en kompromiss där de olika faktorerna får vägas efter kraven i det aktuella fallet.

Följande jämförelse avseende olika typer av solskyddsglas utvändigt placerade i ett tvåglasfönster görs med utgångspunkt från ett bestämt ljusflöde från fönstret. Jämförelser utgår från ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med glasytan  $1 \text{ m}^2$ . Därefter beräknas den glasarea som fordras för att de övriga glas typerna skall ge samma ljusflöde genom fönstret. Denna area står i omvänd proportion till  $F_3$ , se BIL. II:4. För de olika fönsteralternativen ges sedan solvärmeinläckningen som är proportionell mot produkten av  $F_1$  och glasarean.

Vissa beläggningar inverkar starkt förbättrande på fönstrets k-värde. För att komplettera bilden anges också den relativa transmissionen på grund av temperaturskillnaden ute-inne. Transmissionen genom  $1 \text{ m}^2$  fönster med rutor av vanligt fönsterglas har satts till 100 %. Dessa värden gäller vinterförhållanden. Sammanställningen är gjord i TAB. 6.5a.

Tabellen visar att man med detta betraktelsesätt i allmänhet får en större solvärmeinläckning vid användning av absorberande och belagda glas. Endast glas med en starkt selektiv transmission i det synliga området ger en förbättring.

Det bör dock noteras att detta resonemang endast äger sin giltighet om glasareorna bestäms av ett fixerat ljusflöde. I de flesta fall kan andra synpunkter och önskemål vara utslagsgivande. Exempel härpå är att man vill ha en god visuell kontakt med omgivningen utan att därför tvingas acceptera en alltför hög solvärmeinläckning. Det kan också vara på sin plats att notera att skillnaden i solvärmeinläckning mellan absorberande och reflekterande glas är relativt liten. FIG. 6.15a, som sammanfattar alla typer av tvåglasfönster med belagda eller absorberande glas på utsidan och ett vanligt glas på insidan, visar att vid framför allt högre värden på direkttransmissionen skillnaden är liten (triangeln är smal). Vid lägre direkttransmission (närmare triangelns bas) ger högre reflexion gynnsammare värden.

Bortsett från att vissa beläggningar sänker fönstrets k-värde är det alltså mindre viktigt om glaset är absorberande eller reflekterande. Större betydelse för en gynnsam proportion mellan ljus och solvärme har en hög selektiv transmission inom det synliga våglängdsområdet.

TAB. 6.32a Resultat av mätningar av solvärmetransmissionen genom tvåglasfönster med gardin mellan glasen.

prov nr	I W/m <sup>2</sup>	I <sub>T</sub> W/m <sup>2</sup>	inre glasyta °C	uteluft °C	rumsluft °C	T	K	F <sub>1</sub> %	F <sub>2</sub> %	F <sub>1</sub> -F <sub>2</sub> %
1	590	172	34,3	26,2	28,3	0,292	0,384	54	41	13
2	591	135	36,2	28,3	29,0	0,228	0,334	47	32	15
3	590	146	33,4	26,2	28,3	0,249	0,327	46	35	11
4	595	142	33,5	26,8	28,3	0,238	0,315	44	34	10
5	603	145	34,3	27,2	28,2	0,241	0,328	46	34	12
6	581	155	35,3	29,6	28,8	0,266	0,356	50	38	12
7	587	105	35,3	29,2	29,0	0,178	0,269	38	25	13
8	590	71	37,7	27,2	28,5	0,120	0,262	37	17	20



TAB. 6.5a Relationsvärden för olika glastyper.

Värdena är beräknade med utgångspunkt från att samma ljusflöde skall erhållas genom att ytan hos de olika glastyperna varierar. Relativ solvärmeinläckning och värmeförlust hänförs till dessa ytstorlekar. Som referens används ett oskyddat tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas.

Glastyp	$F_3$ %	yta A $m^2$	$F_1$ %	Relativ solvärmeinläckning $= F_1 \cdot A$	Relativ värmeförlust vintertid
Vanligt fönsterglas	103	1,0	100	100	100
Gråglas $T_N=0,2$	22	4,7	40	187	470
0,4	44	2,3	59	138	230
0,6	66	1,6	78	122	160
LVR	32	3,1	41	132	260
Solarpane nickel	34	3,0	47	142	270
Kopparbelagda glas	28-43	3,7-2,4	25-37	92-89	240-160
Stopray guld	48	2,1	39	84	150
blågrå	63	1,6	44	72	120
purpur	53	1,9	39	76	140
Spectrafloat brons	53	1,9	71	138	190
Antisun grön	80	1,3	62	80	130
grå	44	2,3	61	143	230
brons	55	1,9	61	114	190
Calorex	53	1,9	39	76	190
Plastfilm på det yttre glaset $T_{synl}=20$	23	4,6	26	116	430
40	46	2,2	46	103	210
60	68	1,5	68	103	140
Plastfilm på det inre glaset $T_{synl}=20$	23	4,6	41	184	430
40	46	2,2	59	132	210
60	68	1,5	77	117	140

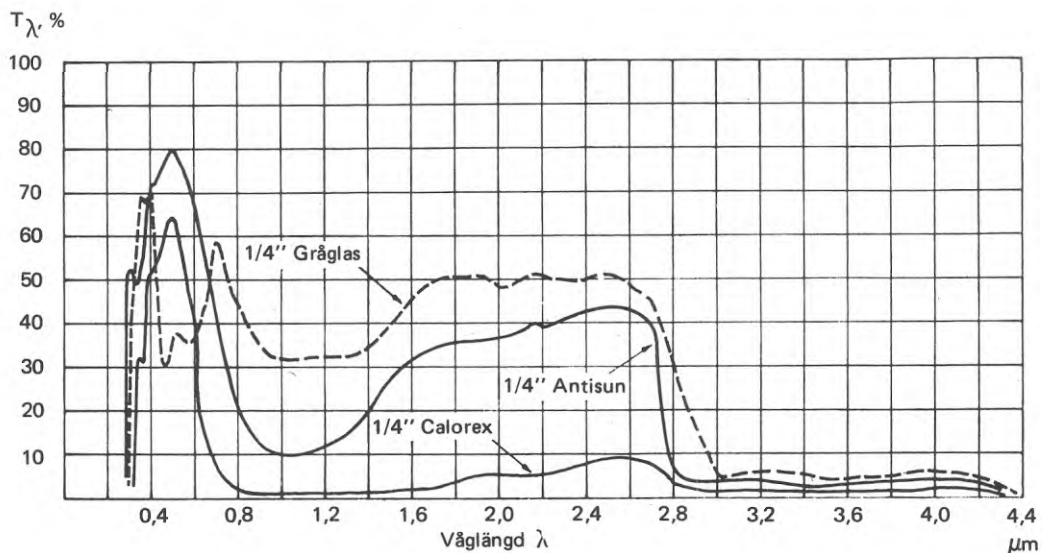


FIG. 6.12a Spektral transmission av vinkelrätt infallande strålning hos tre värmeabsorberande glas (Pilkington Brothers Ltd, England).

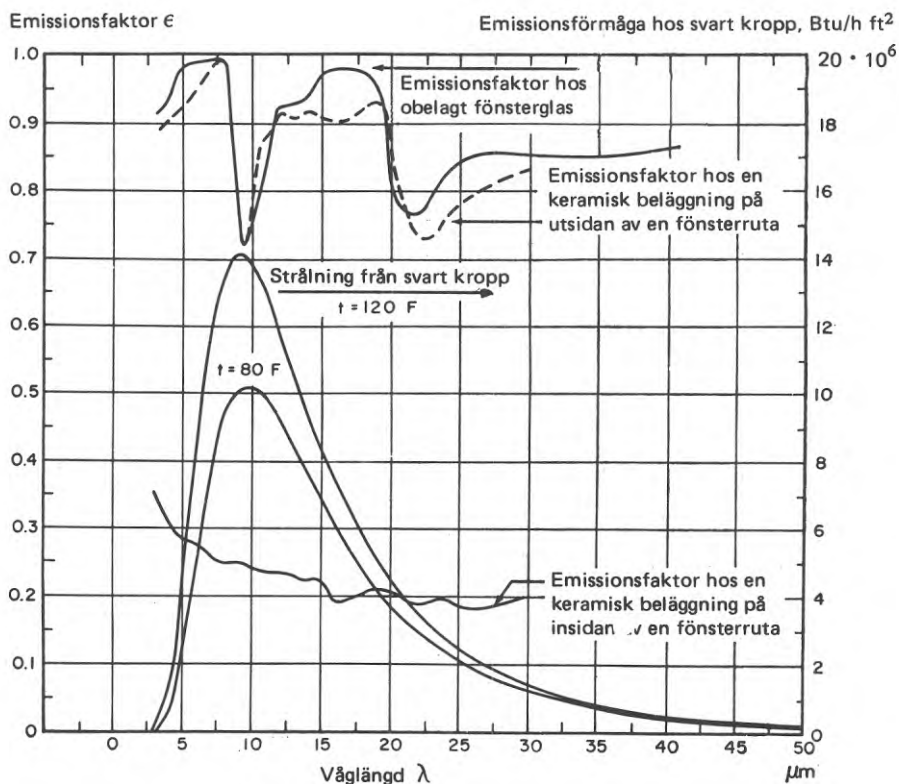


FIG. 6.13a Spektrala emissionsfaktorer för långvågig strålning hos obelagt glas och hos glas med keramisk beläggning, samt spektral energifördelning från svart kropp med temperaturerna 80 resp. 120°F (26,7 resp. 48,9°C) (enligt Yellott, 1964). 1 Btu/h,ft<sup>2</sup> = 3,16 W/m<sup>2</sup>.

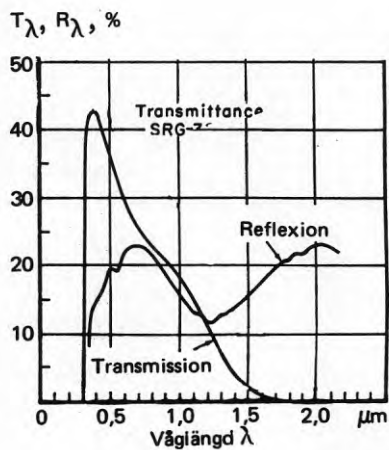


FIG. 6.13b Spektral transmission och reflexion hos ett glas med keramiska ytbeläggningar (enligt Yellott, 1964).

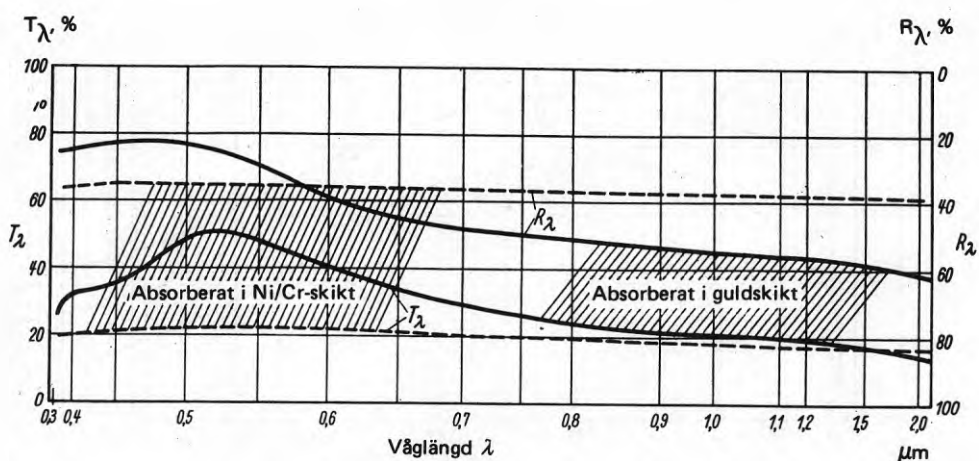


FIG. 6.13c Spektral transmission och reflexion hos transparenta skikt av guld och nickel - krom, pålagda glas i vakuum (enligt Schröder, 1968).

- Au ----- Ni + 10 % Cr

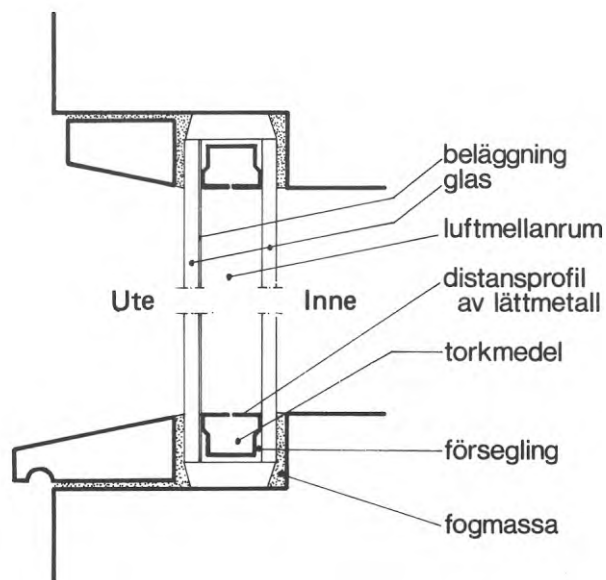


FIG. 6.13d Metallbelagd isolerruta (vertikalsektion).  
 En sådan beläggning anbringas alltid på det yttre glasets insida. Där är den väl skyddad eftersom luften mellan glasen är avfuktad och dammfri. Rutan är lufttätt tillsluten med en elastisk fog som förenar glas och mellanlist. I listen finns ett torkmedel som absorberar den inneslutna luftens fuktighet.

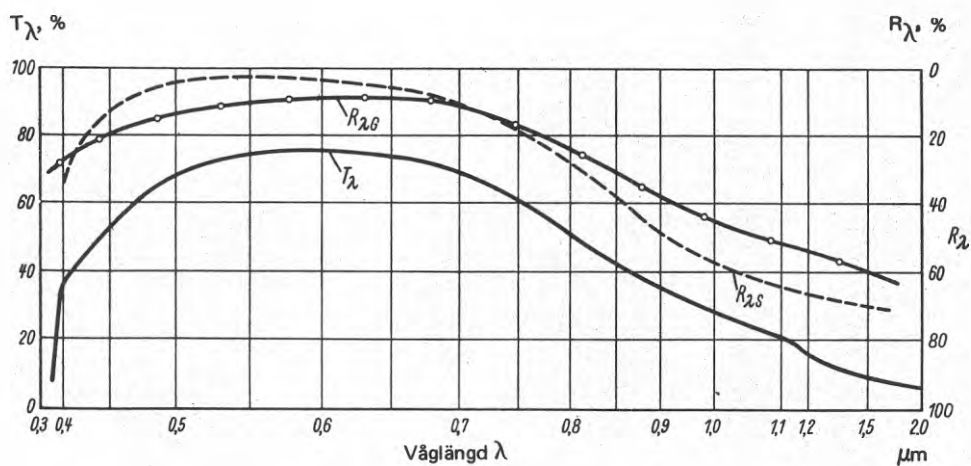


FIG. 6.13e Spektral transmission ( $T_\lambda$ ) och reflexion ( $R_{\lambda G}$  på glassidan,  $R_{\lambda S}$  på den fria sidan) hos ett guldsikt på 4 mm tjockt fönsterglas. Skiktet är inbäddat mellan starkt brytande skikt (enligt Schröder, 1968).

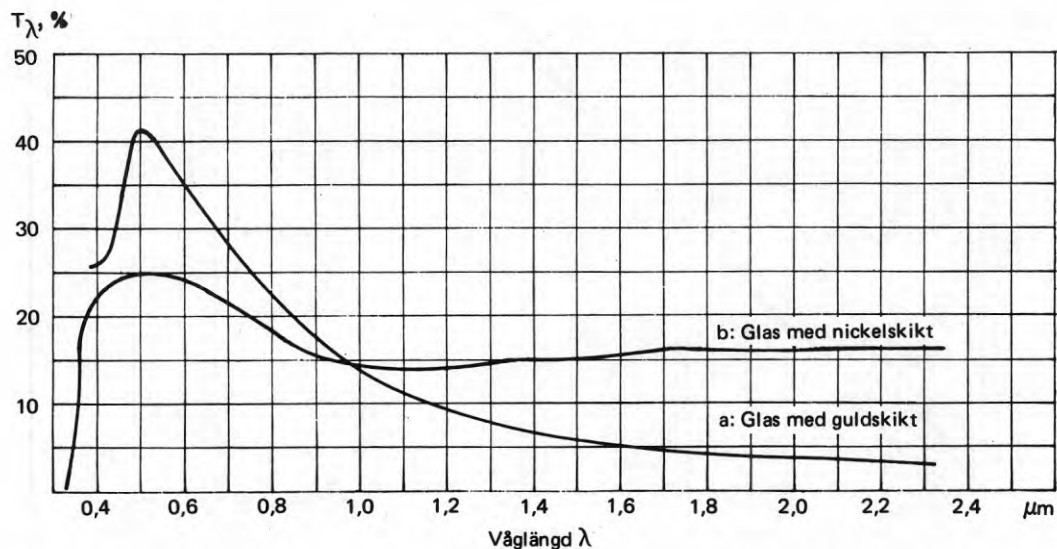


FIG. 6.13f Spektral transmission hos två belagda glas (enligt Persson, 1966).

a: isolerglas av två 6 mm tjocka rutor på 12 mm avstånd med i vakuum pålagt guldsikt på den ena rutan

b: isolerglas av två 3 mm tjocka rutor på 12 mm avstånd med kemiskt utfällt nickel på den ena rutan

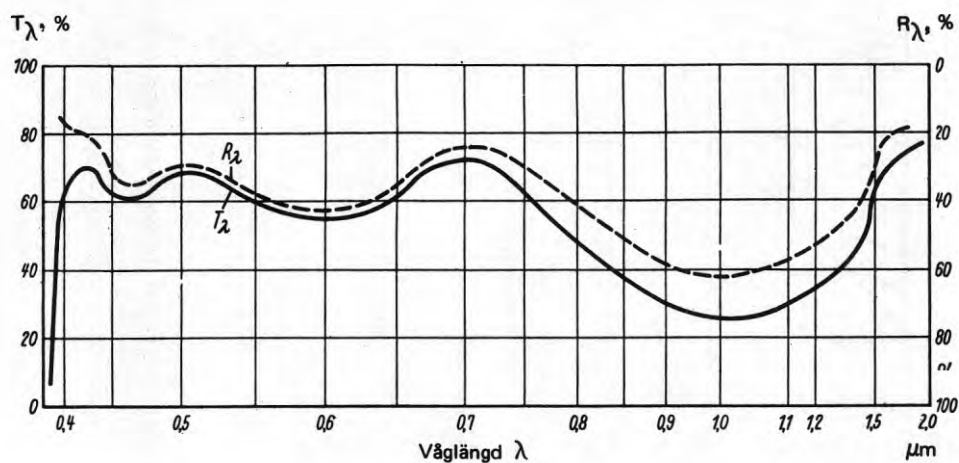


FIG. 6.13g Spektral transmission och reflexion hos en glasskiva med tre dielektriska skikt på vardera sidan (enligt Schröder, 1968).

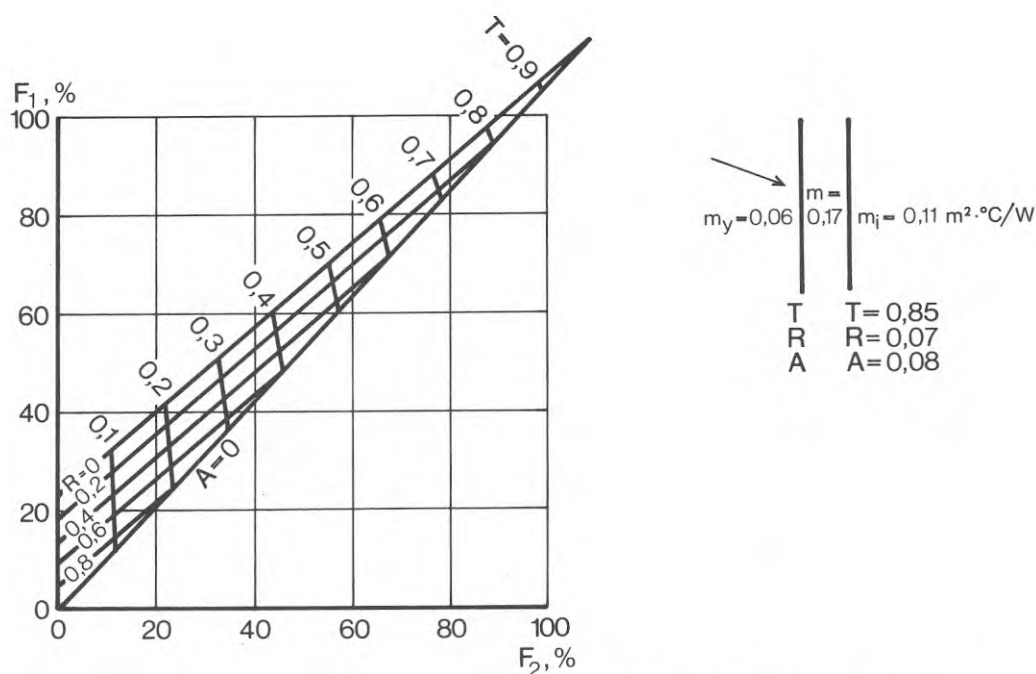


FIG. 6.15a Avskärningsfaktorn  $F_1$  som funktion av  $F_2$  för tvåglasfönster med ett vanligt fönsterglas på insidan och ett absorberande eller reflekterande glas på utsidan. Parametrarna  $T$ ,  $R$  och  $A$  avser det yttre glaset. Om värdena för ljus används erhålles  $F_3$ -värdet på  $F_2$ -skalan efter en ökning med  $c:a 6\%$ .

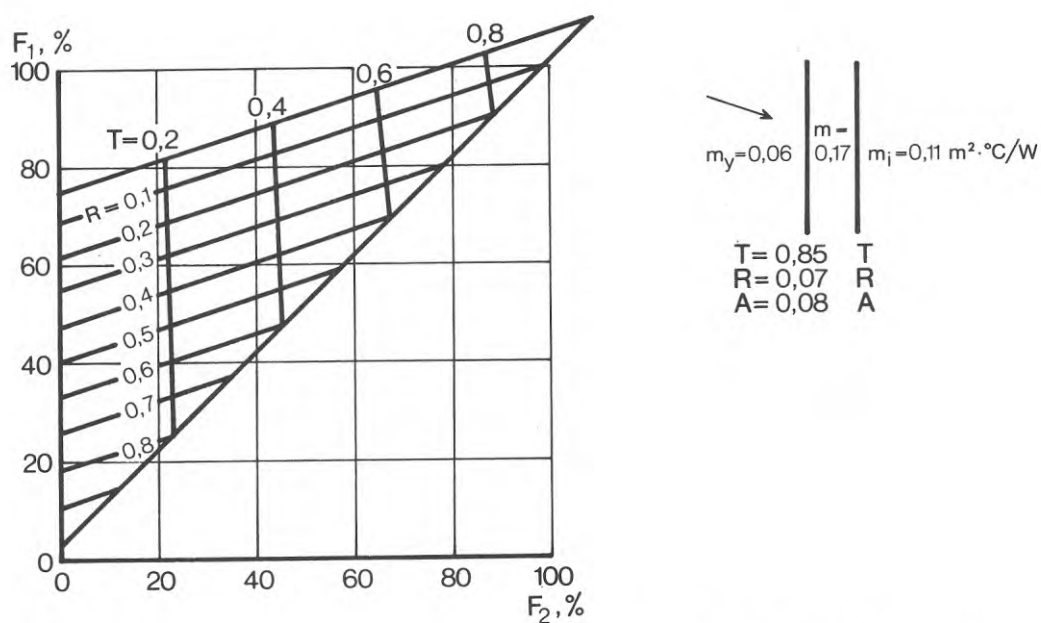


FIG. 6.15b Avskärningsfaktorn  $F_1$  som funktion av  $F_2$  för tvåglasfönster med ett absorberande eller belagt glas på insidan och ett vanligt fönsterglas på utsidan. Parametrarna  $T$ ,  $R$  och  $A$  avser det inre glaset. Om värdena för ljus används erhålles  $F_3$ -värdet på  $F_2$ -skalan efter en ökning med  $c:a 6\%$ .

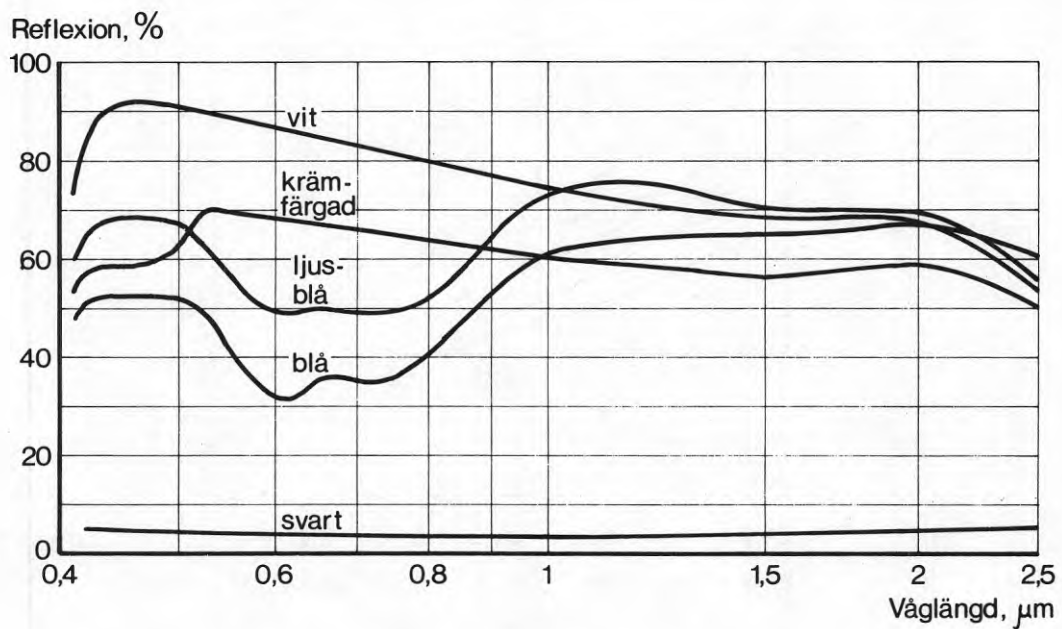


FIG. 6.21a Spektral reflexion hos fem olika persiennlamellprover.

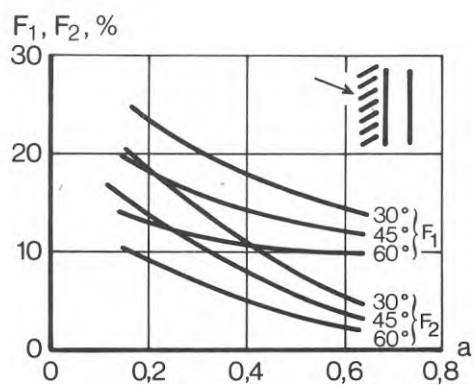


FIG. 6.22a Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad utanför två rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor  $a$ .

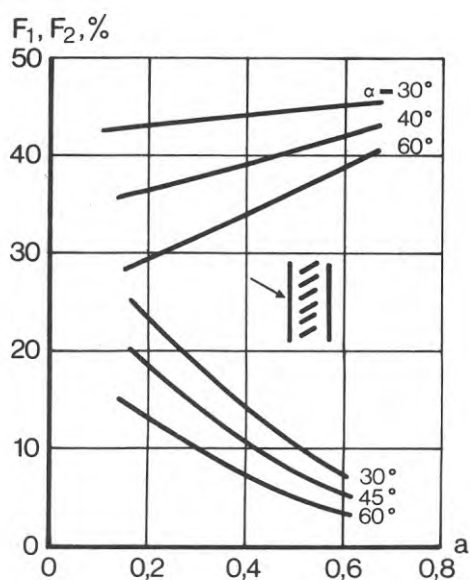


FIG. 6.22b Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad mellan glaset i ett tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor  $a$ .



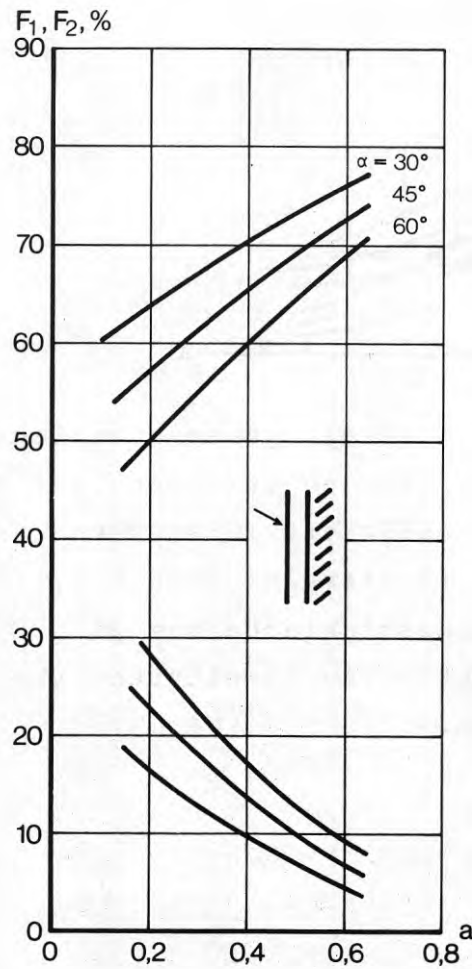


FIG. 6.22c Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad innanför två rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor  $a$ .

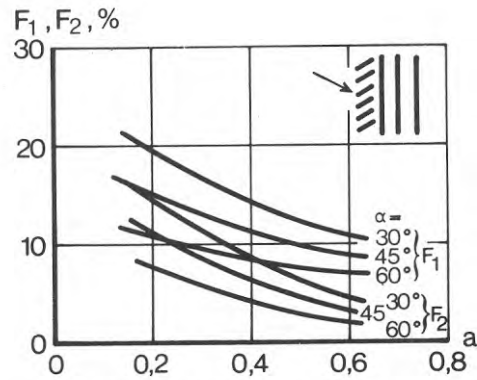


FIG. 6.22d Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad utanför ett fönster med tre rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamelleytans absorptionsfaktor  $a$ .

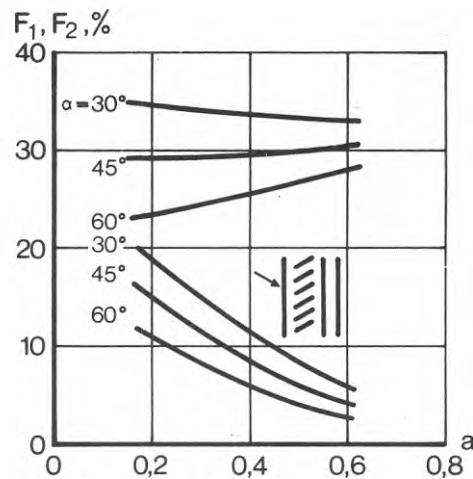


FIG. 6.22e Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad mellan de yttre glasen i ett treglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ$ ,  $45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamelleytans absorptionsfaktor  $a$ .

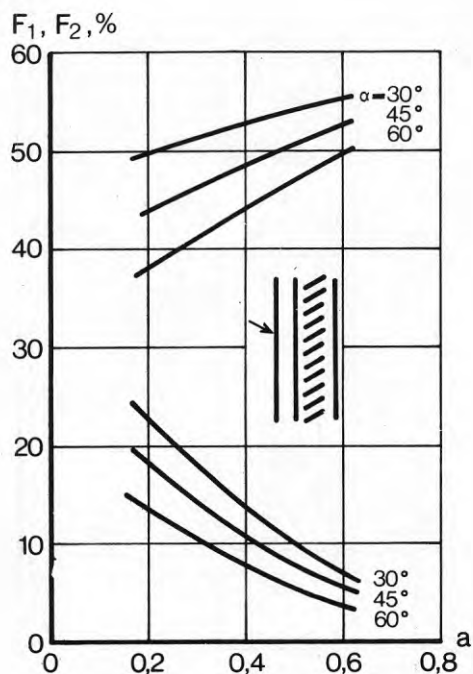


FIG. 6.22f Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad mellan de inre glasen i ett treglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor  $a$ .

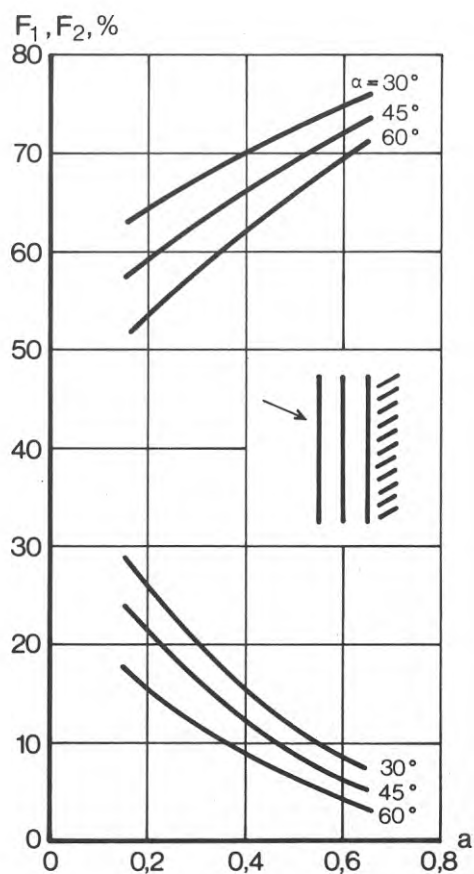


FIG. 6.22g Beräknade värden på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  för en persienn ( $w/s = 1,2$ ) placerad innanför ett treglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas ( $a \cdot s = 0,07$ ) vid lamellutningsvinklarna  $\alpha = 30^\circ, 45^\circ$  och  $60^\circ$  som funktion av lamellets absorptionsfaktor  $a$ .

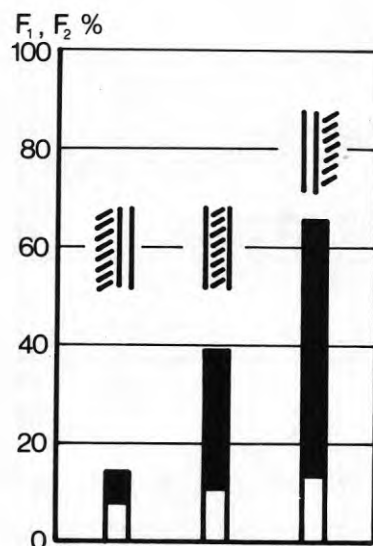


FIG. 6.22h Stapeldiagram visande avskärningsfaktorerna  $F_1$  (hela stapeln) och  $F_2$  (stapelns ljusa del) för ett tvåglasfönster ( $a \cdot s = 0,07$ ) i kombination med en "vanlig" persienn ( $w/s = 1,2$ ,  $a = 0,4$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ) när denna placeras utvändigt, mellan glasen samt invändigt.

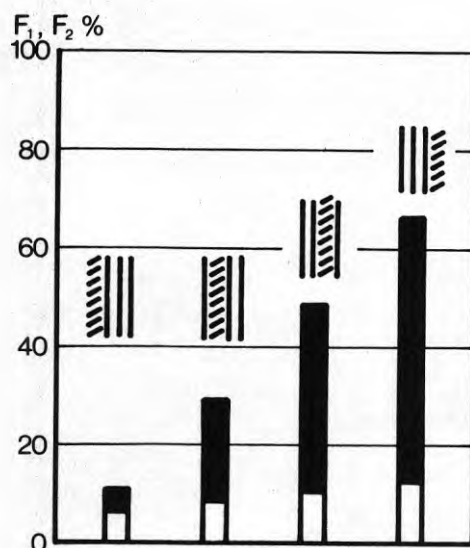


FIG. 6.22i Stapeldiagram visande avskärningsfaktorerna  $F_1$  (hela stapeln) och  $F_2$  (stapelns ljusa del) för ett treglasfönster ( $a \cdot s = 0,07$ ) i kombination med en "vanlig" persienn ( $w/s = 1,2$ ,  $a = 0,4$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ) när denna placeras utvändigt, mellan de yttre glasen, mellan de inre glasen samt invändigt.

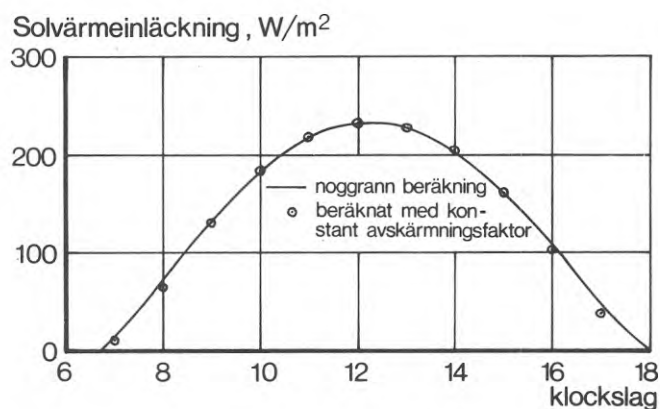


FIG. 6.22j Solvärmeinläckning genom ett söderfönster i Malmö en klar marsdag beräknad dels med hänsyn till varierande infalls- och profilvinklar, dels ur instrålningsvärdena genom referensfönstret multiplicerade med en konstant avskärmningsfaktor.

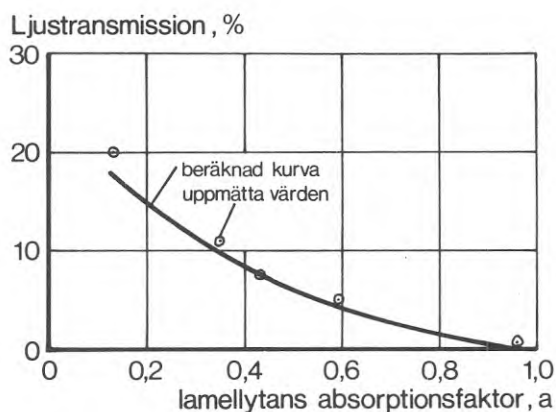


FIG. 6.22k Jämförelse mellan ljustransmissionen dels mätt med luxmeter dels beräknad för ett tvåglasfönster med mellanliggande persienn, vid olika absorption hos lamellytan.  $\varphi = i = 30^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$ .

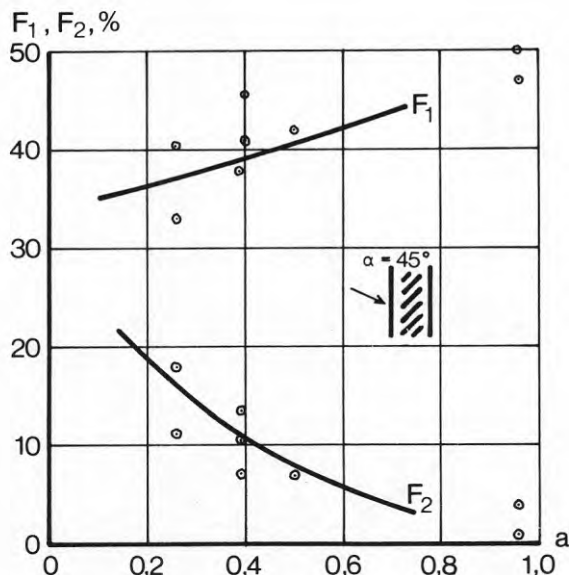


FIG. 6.221 Jämförelse mellan värden enligt egna beräkningar och mätningar på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn placerad mellan glaset i ett tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas. Lamelllutning  $\alpha = 45^\circ$ ,  $w/s = 1,2$ .

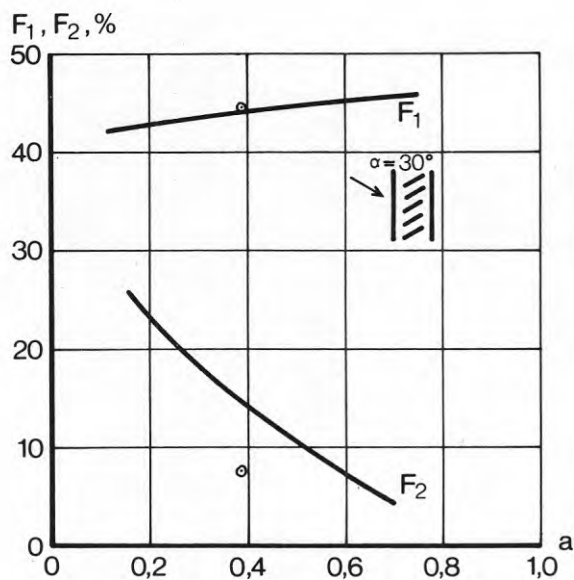


FIG. 6.22m Jämförelse mellan värden enligt egna beräkningar och mätningar på avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn placerad mellan glaset i ett tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas. Lamelllutning  $\alpha = 30^\circ$ ,  $w/s = 1,2$ .

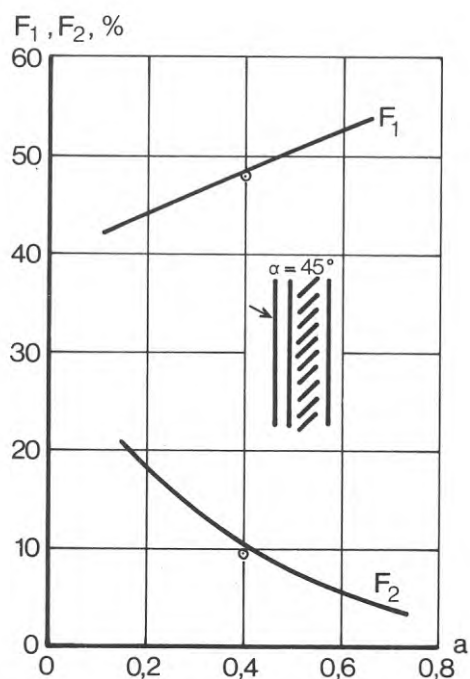


FIG. 6.22n Jämförelse mellan värden enligt egna beräkningar och mätningar på avskärmningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn placerad mellan de inre glasen i ett treglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas. Lamelllutning  $\alpha = 45^\circ$ ,  $w/s = 1,2$ .

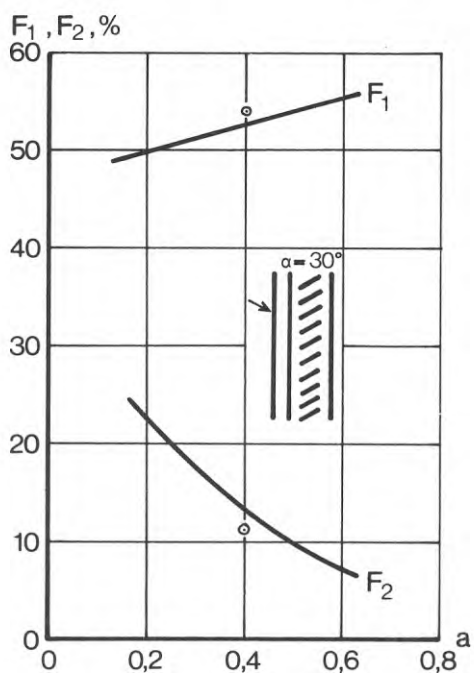


FIG. 6.22o Jämförelse mellan värden enligt egna beräkningar och mätningar på avskärmningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  som funktion av lamellytans absorptionsfaktor för en persienn placerad mellan de inre glasen i ett treglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas. Lamelllutning  $\alpha = 30^\circ$ ,  $w/s = 1,2$ .



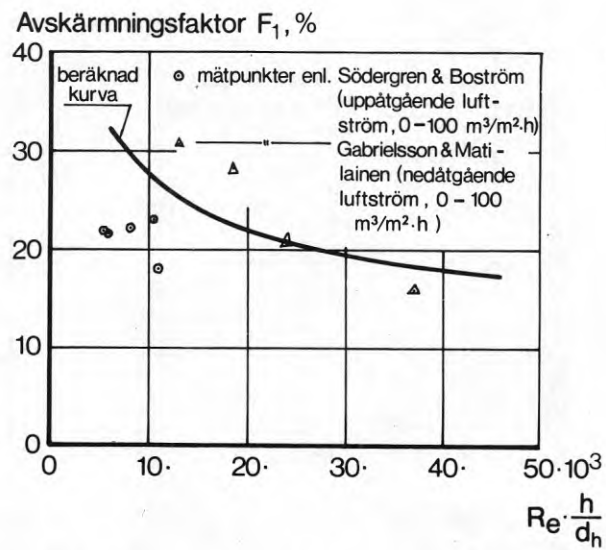


FIG. 6.23a Jämförelse mellan uppmätta och egna beräknade värden på transmissionen av solstrålning genom frånluftfönster.

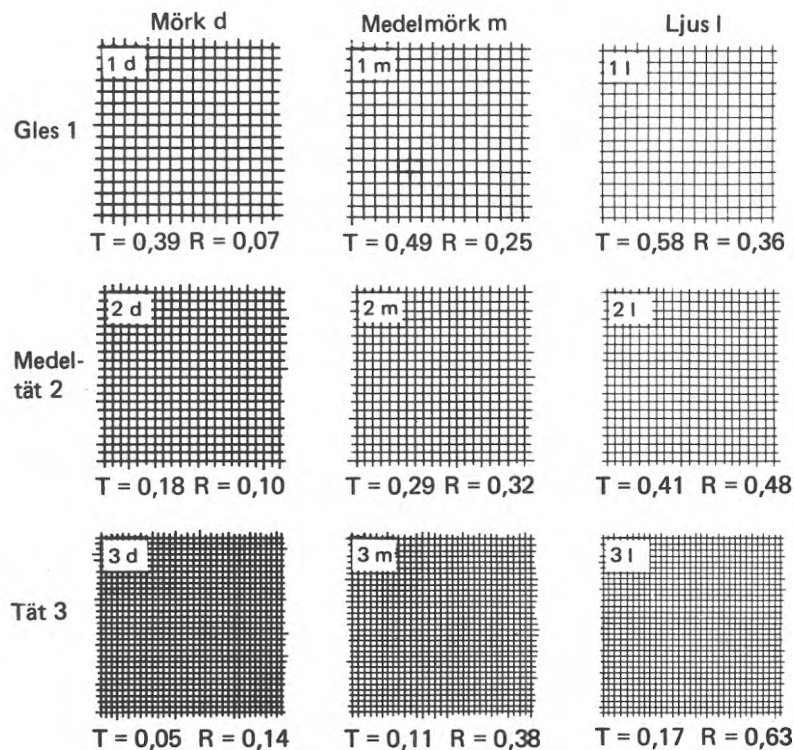


FIG. 6.31a Indelning av gardinväv i nio olika klasser. Varje klass karakteriseras av vävens täthet och garnets färg och betecknas med en siffra för tätheten och en bokstav för färgen. Siffran 1 betecknar att väven är gles, 2 att den är medeltät och 3 att den är tät, medan bokstaven d betecknar att garnet är mörkt, m att det är medelmörkt och l att det är ljust.

Under respektive rutor i figuren anges medelvärden av transmissions- och reflexionsfaktorer hos väven i sträckt tillstånd vid solstrålning vinkelrätt mot vävens yta. (Efter Keyes, 1967)

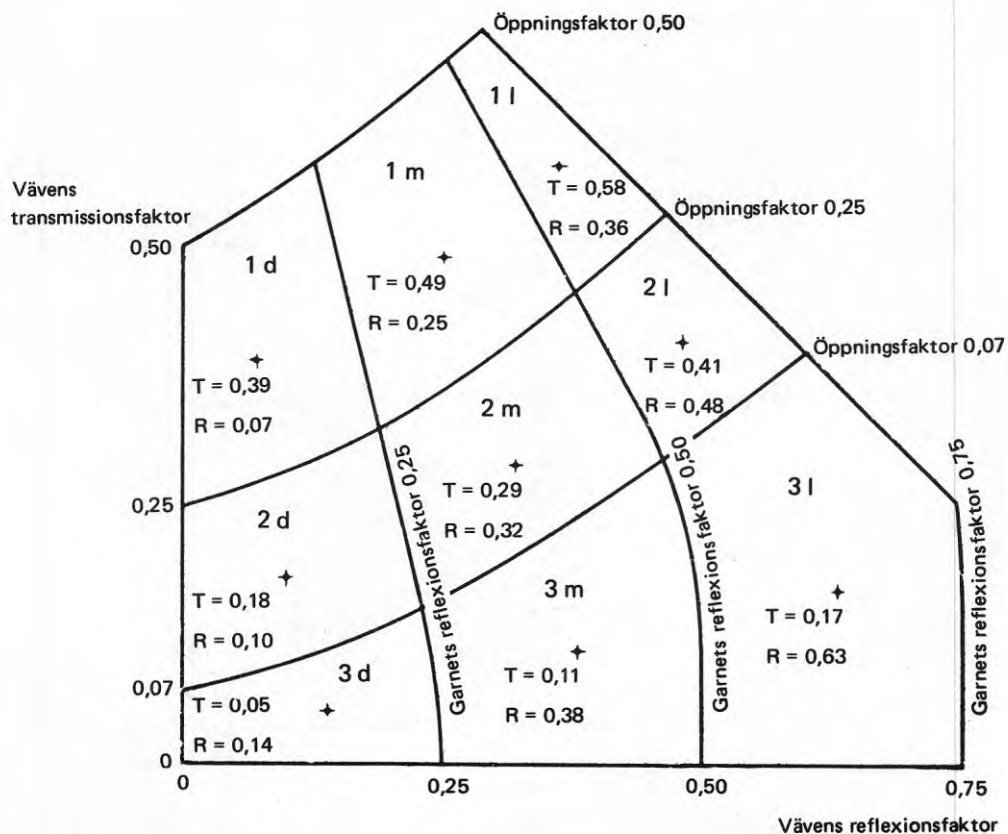


FIG. 6.31b Samband mellan öppningsfaktorn hos gardinväv och garnets reflexionsfaktor å ena sidan och transmissions- och reflexionsfaktorerna hos väven i sträckt tillstånd å den andra vid solstrålning vinkelrätt mot vävens yta.

I diagrammet representeras garnets reflexionsfaktor av en skara kurvor, vävens öppningsfaktor av en annan. Av kurvorna visas för åskådlighetens skull endast de som gäller för gränserna mellan de nio olika klasser av gardinväv som beskrivits i FIG. 6.31a. För varje klass har medelvärdena för transmissions- och reflexionsfaktorerna uttryckts. (Keyes, 1967)

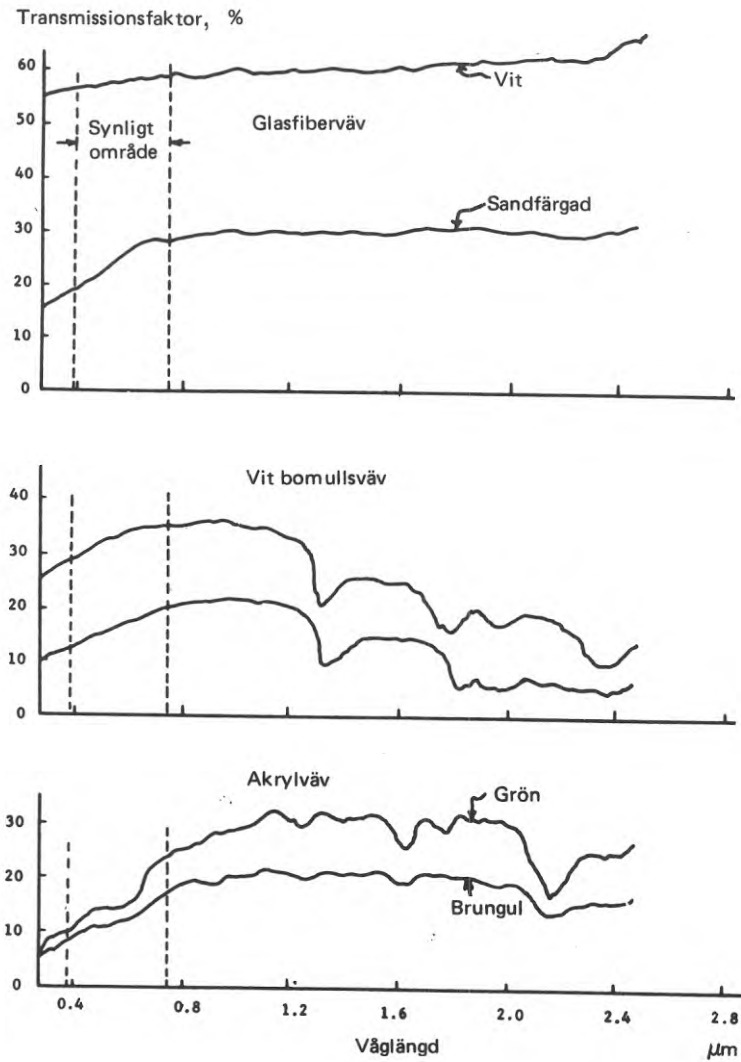


FIG. 6.31c Exempel på spektrala transmissionskurvor för gardinväv enligt spektrofotometermätningar. (Moore & Pennington, 1967)

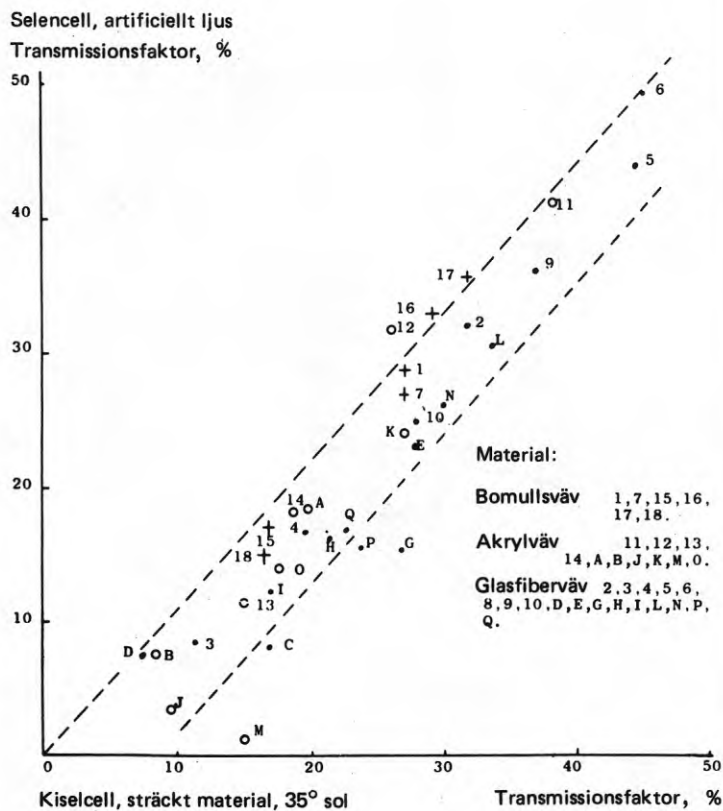


FIG. 6.31d Samband mellan värden på transmissionen från mätningar i artificiellt ljus och i solljus. (Moore & Pennington, 1967)

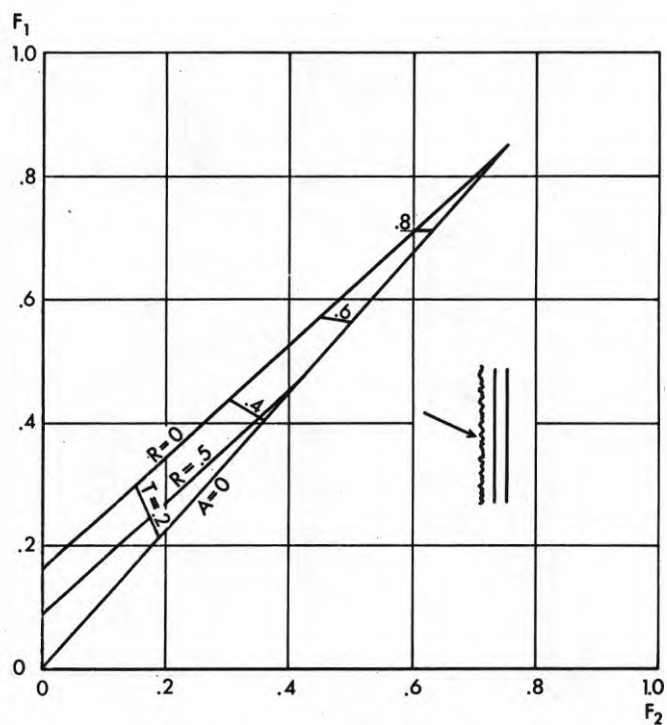


FIG. 6.32a Avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  med gardin placerad utanför två vanliga fönsterglas med gardinens solaroptiska egenskaper som parametrar.

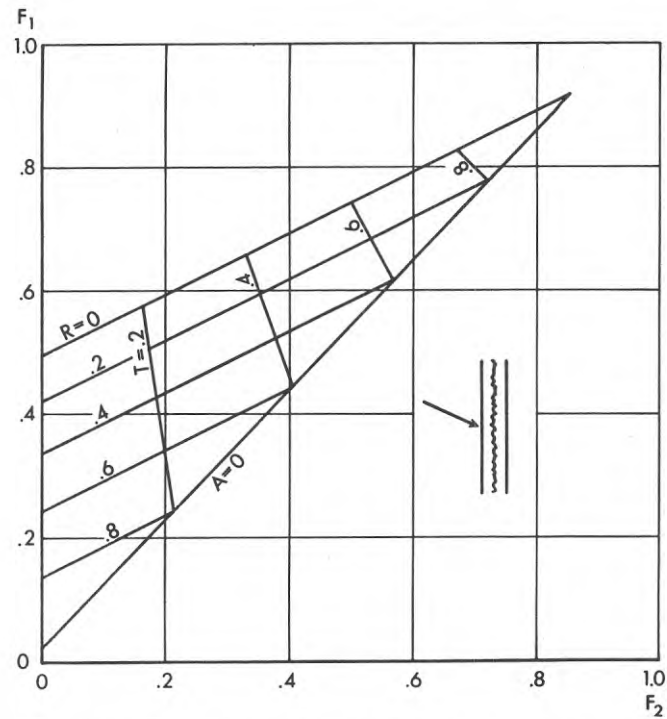


FIG. 6.32b Avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  med gardin placerad mellan två rutor av vanligt fönsterglas med gardinens solaroptiska egenskaper som parametrar.

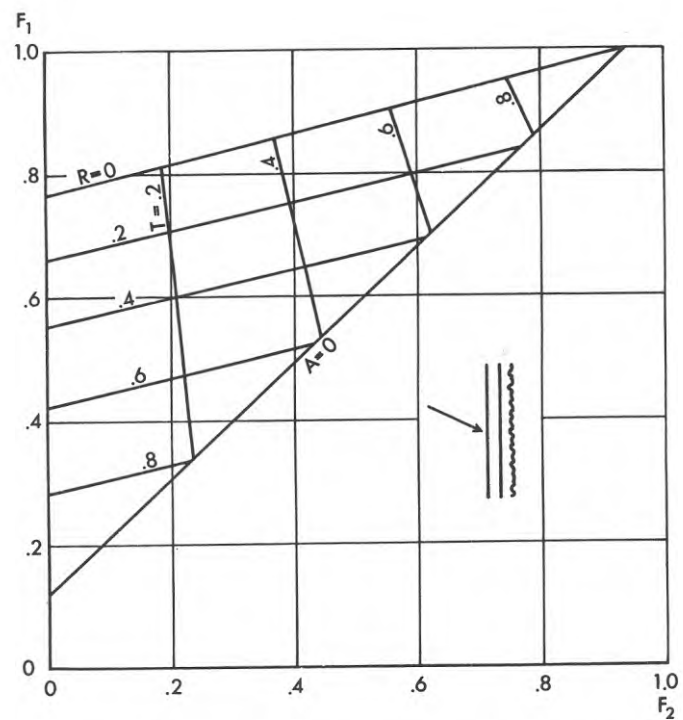


FIG. 6.32c Avskärningsfaktorerna  $F_1$  och  $F_2$  med gardin placerad innanför två vanliga fönsterglas med gardinens solaroptiska egenskaper som parametrar.

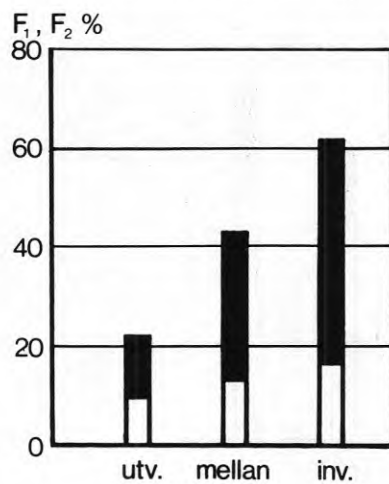
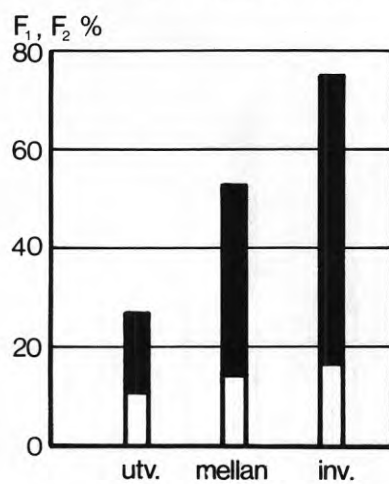
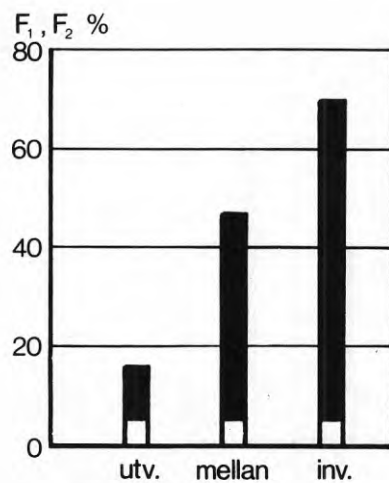


FIG. 6.32d Stapeldiagram visande avskärningsfaktorerna  $F_1$  (hela stapeln) och  $F_2$  (den ljusa delen av stapeln) med en mörk gardin med olika placering och vävtäthet.

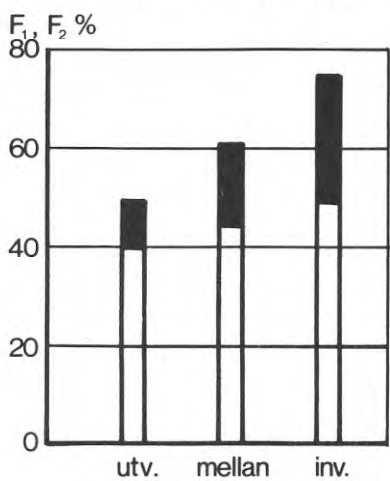
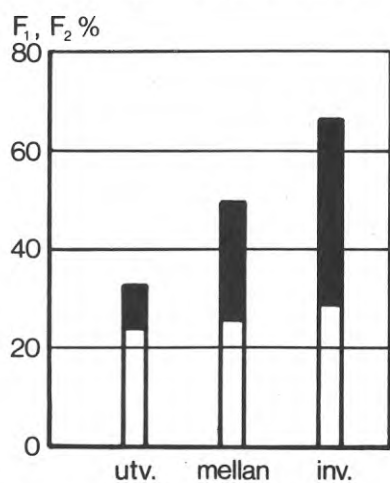
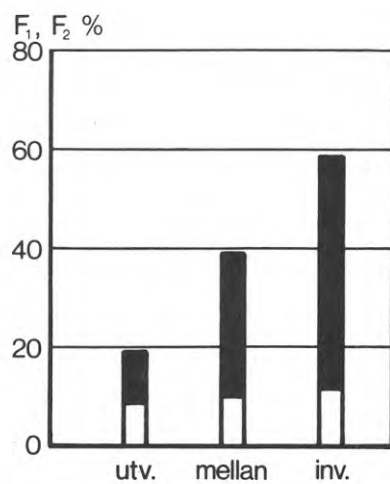


FIG. 6.32e Stapeldiagram visande avskärningsfaktorerna  $F_1$  (hela stapeln) och  $F_2$  (den ljusa delen av stapeln) med en medelmörk gardin med olika placering och vävtäthet.



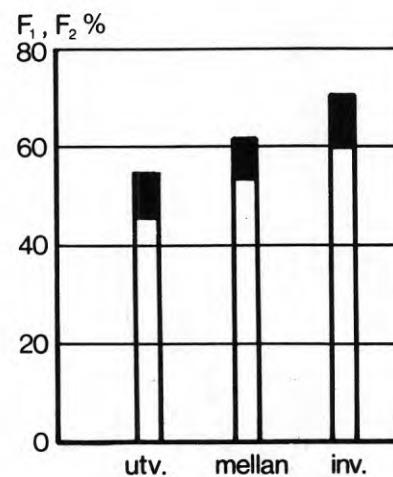
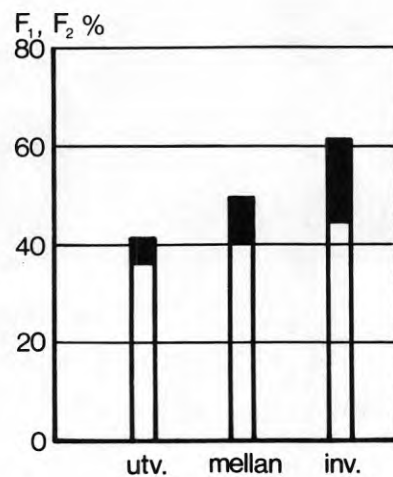
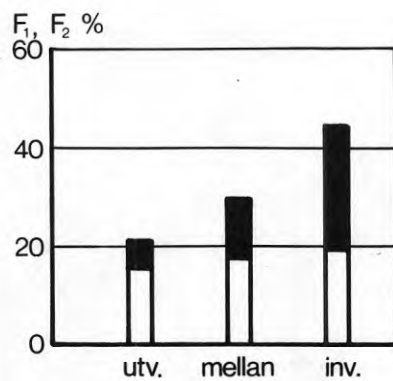


FIG. 6.32f Stapeldiagram visande avskärningsfaktorerna  $F_1$  (hela stapeln) och  $F_2$  (den ljusa delen av stapeln) med en ljus gardin med olika placering och vävtäthet.

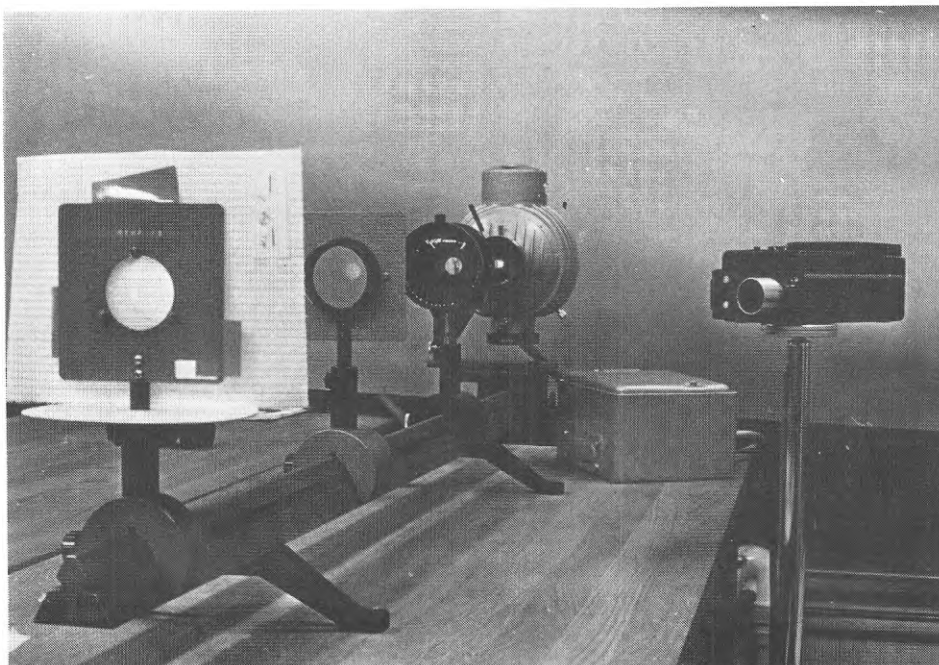


FIG. 6.32g Mätning av ljusreflexionen för ett gardinprov i en optisk bänk med hjälp av luxmeter (till höger på bilden).

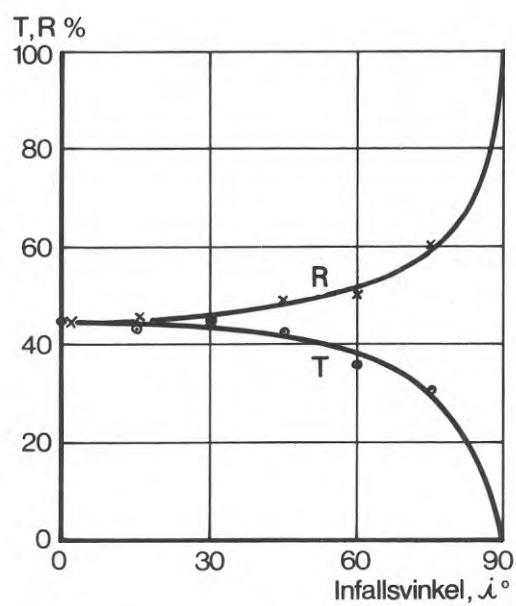


FIG. 6.32h Transmission och reflexion av ljus hos en gardin som funktion av infallsvinkeln enligt egna mätningar med luxmeter.

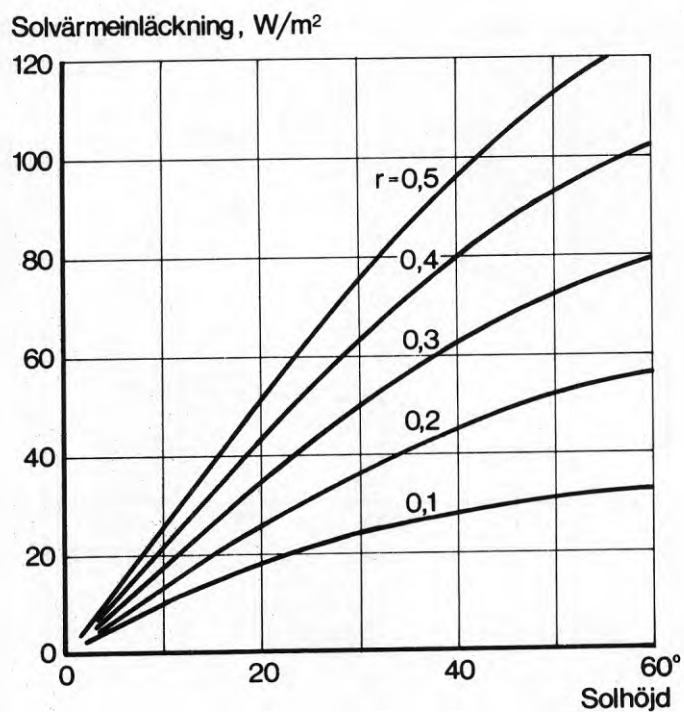


FIG. 6.4a. Strålning från sol och himmel reflekterad från marken och direkt transmitterad genom vanligt tvåglasfönster med ljustät markis, vid solbelyst fasad en klar sommardag (maj-september) och vid olika reflexionsfaktorer hos markytan.

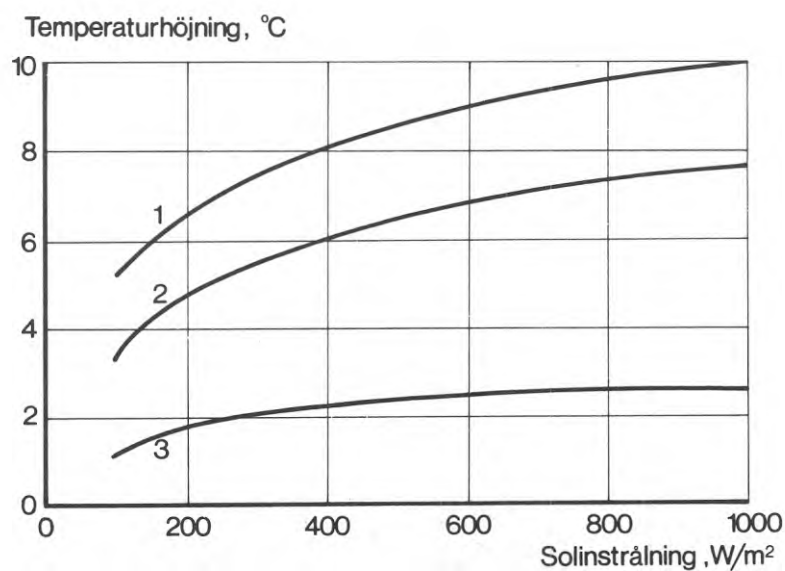


FIG. 6.4b. Temperaturhöjning hos luften under en ljusstät markis med sidstycken vid olika instrålning mot en fasad.

Kurva 1: Markis med mörkgrön översida och grågrön undersida, utan ventilationspringa vid markisens överkant.

Kurva 2: Markis med mörkgrön översida och grågrön undersida och med 20 mm ventilationspringa vid överkanten.

Kurva 3: Markis med vit översida och grå undersida och med 20 mm ventilationspringa vid överkanten.

## KAP. 7 DAGSLJUS FRÅN VERTIKALA FÖNSTER MED OCH UTAN SOLSKYDD

### INNEHÅLL

	Captions	352
7.1	Introduktion	355
7.2	Sol och himmel som ljuskällor	356
7.21	Sol och klar himmel	356
7.22	Molnig och mulen himmel	359
7.3	Bestämning av dagsljus från fönster utan solskydd	361
7.31	Dagsljusfaktorn och dess komponenter	361
7.32	Himmelskomponenten	362
7.33	Den utereflekterade komponenten	363
7.34	Den innereflekterade komponenten	364
7.35	Exempel på bestämning av dagsljusfak- torn	366
7.4	Bestämning med dator av dagsljus från fönster med solskydd	369
7.5	Uppmätt och beräknad fördelning av ljus från fönster med gardin resp persienn	370
7.51	Beräkningar	370
7.52	Kontrollmätningar	371
7.6	Solskydd, belysningskrav och kylbehov	372
	Tabeller	376
	Figurer	378

## CAPTIONS

- TAB. 7.21a. Illuminance from the sun on a horizontal surface and luminous efficiency of direct solar radiation at different solar altitudes.
- TAB. 7.22a. Sky luminance ratio of a CIE overcast sky to a uniform sky, the Z-factor, at an altitude of  $\theta^\circ$  above the horizon. It is assumed that in both cases the total radiation from the sky on a horizontal surface is the same.
- TAB. 7.34a. Value for C-factor in equation (7.9) with no shading devices or with a horizontal shade of unlimited length, parallel to the window wall and seen under the shade angle  $h_n$ , from the centre of the window. Its luminance is assumed to be 10% of the average sky luminance.
- FIG. 7.2a. Sky illuminance on a horizontal surface at different sun altitudes and free horizon.
- FIG. 7.32a. Sky component of daylight factor expressed in % for a vertical window of indefinite length without glazing, and with ordinary plate glass panes. The bottom of the window at an altitude (h) of  $0^\circ$ , and the top of the window at  $h^\circ$ . Standard overcast sky according to CIE.
- FIG. 7.32b. Sky component of daylight factor, expressed in % for a vertical window of indefinite length without glazing and with ordinary plate glass panes. The altitude of the bottom of the window  $h = 0^\circ$ , top  $h^\circ$ . Uniform sky luminiscent.

- FIG. 7.32c. Correction factor for windows with limited width. The diagram is for 2-glaze windows but can be used for approximations also of windows without glazing or with single pane. Overcast sky according to CIE.
- FIG. 7.32d. Correction factor for windows with limited width. The diagram is for 2-glaze windows, but can be used for approximations also of windows without glazing or with single pane. Uniform sky.
- FIG. 7.34a. Ratio minimum to mean value of the internal reflected component as a function of the average reflectance of room surfaces  $r_m$  when the floor has a reflectance of 15 and 40% respectively and the ceiling 70% reflexion.
- FIG. 7.35a. In order to determine the light on a point (P) on a horizontal surface of a room, the daylight factor, i.e. the ratio intensity of illuminance on P to that on an exterior horizontal surface. In these calculations the angles between the sight-lines from P towards the border lines of the window for both sections and the normal between P and the window wall, must be known. If there is an exterior shading device the altitude of its edge  $h_n$  must be known.
- FIG. 7.51a. Ratio light flux per surface unit from window expressed in  $\text{lm/m}^2$  to illumination in lux along the room median line on a horizontal surface at 1.05 m above the floor and at different distances from the window, calculated both without any division of room surfaces (broken line) and with ceiling and partitions divided parallelly to the window wall each into four parts (unbroken line).

- FIG. 7.52a. Luxmeter verification of calculated distribution of light in a room where ceiling and partitions are divided into four parts. The window has double-glazing and a Venetian blind or curtain, respectively, between the panes.
- FIG. 7.61a. Example of variation in solar heat gain through the window and daylight in the centre of a room.
- FIG. 7.61b. Additional energy from sun and artificial lighting in the room at varying demand of illumination, as a function of light transmittance through the window.



## 7 DAGSLJUS FRÅN VERTIKALA FÖNSTER MED OCH UTAN SOLSKYDD

### 7.1 Introduktion

Även i värmetekniska sammanhang kan en beräkning av dagsljusbelysningen i ett rum bli nödvändig. Man måste kanske bestämma de tidsintervall under dagen när dagsljuset är otillräckligt och den artificiella belysningen måste vara tänd, med ledning av de krav som uppställts på belysningsstyrkan på den sämst belysta platsen i rummet eller på en arbetsplats närmare fönsterväggen. Värmen från glödlampor och lysrör utgör ofta en stor del av den värmeenergi som tillförs ett rum och påverkar därför rummets temperatur och värme- eller kylbehov.

De metoder som på olika håll utarbetats för dagsljusberäkning har mest varit inriktade på de belysningsförhållanden som råder vid mulen himmel. Då är ju dagsljuset svagast. I samband med värme- och ventilations-tekniska beräkningar är emellertid även belysningen från delvis molntäckt och kanske särskilt från klar himmel av intresse eftersom det ju är då som de högsta temperaturerna brukar förekomma. Också fallet med solbelysta fönster måste studeras. Det kan nämligen inträffa att solskydden reducerar solljuset så mycket att lampbelysningen måste tändas trots stark sol mot fönsterfasaden.

Här skall ges en kortfattad redogörelse för hur en bestämning av dagsljuset i ett rum med vertikala fönster kan utföras i de olika nämnda fallen. De beskrivna metoderna avseende dagsljus från fönster utan solskydd har huvudsakligen utarbetats vid Building Research Station i England, se Hopkinson et al. (1966) och Longmore (1968). De behandlar sådana förhållanden då ljus från enbart himlen träffar fönstret direkt eller efter reflexion vid ytor i omgivningen och är uppställda för fönster med rutor av vanligt fönsterglas. Genom att

multipluera beräkningsresultatet med en avskärningsfaktor för ljus kan man emellertid behandla även sådana fall vid vilka fönstren är utförda med rutor av värmeabsorberande eller värmereflekterande glas.

På KTH har vi också studerat dagsljusproblemen vid fönster med solskydd, även solbelysta fönster. Behandlingen sker med dator. Beräkningsmetoden förutsätter att ljuset från fönstret sprids diffust. Hänsyn tas till att en ljusstråle kan reflekteras ett oändligt antal gånger vid rumsytorna innan den når den mottagande ytan.

## 7.2 Sol och himmel som ljuskällor

### 7.21 Sol och klar himmel

Den molnfria himlen har en luminansfördelning som karakteriseras av ett mycket ljusst område kring solen och ett djupblått område med låg luminans, beläget ungefär  $90^\circ$  från solen på storcirkeln genom solen och zenit. Ljuset fördelas således mycket ojämnt över himlavalvet. Vid en solbelyst fasad är den direkta solstrålningen den dominerande ljuskällan och variationen i himlens luminans därför utan betydelse. Är fasaden i skugga synes variationerna inte vara större än att det vid ljusberäkningar i värmetekniska sammanhang är rimligt att antaga att den klara himlen är jämnt lysande. I avsnitt 2.42 visades att förhållandet mellan himmelsstrålningen mot en vertikal yta och mot markytan kan betraktas som oberoende av den vertikala ytans orientering i förhållande till riktningen mot solen när solen står bakom fasaden. Det är sannolikt att detta gäller också himmelsljuset.

Himmelsstrålningen  $I_{dH}$  från en klar himmel mot horisontell yta vid fri horisont anges i TAB. II:1, mätt i  $W/m^2$ . Motsvarande ljus från himlen, mätt i lux (dvs. lumen per  $m^2$ ), kan man erhålla genom multiplikation med en ljusutbytesfaktor. Värdet på denna faktor

$v_d$  varierar med solhöjden  $h$ . Approximativt kan man dock sätta  $v_d = 150$  lm/W för samtliga solhöjder, så att

$$E_{dH} = 150 I_{dH} \quad (7.1)$$

Belysningen från klar himmel mot horisontell yta som funktion av solhöjden visas i diagrammet FIG. 7.2a.

Mot en vertikal yta är belysningen hälften så stor vid fri horisont, eftersom himlen är jämnt lysande. Vid skydd horisont kan den beräknas enligt metoder beskrivna i avsnitten 4.22 och 7.32.

Belysningen från solen på horisontell yta,  $E_{DH}$  lux, anges i TAB. 7.21a för olika solhöjder. Värdena är hämtade ur Pleijel (1954) och utgör resultat av mätningar av Lunelund.

I TAB. 7.21a visas också värden på ljusutbytesfaktorn vid solstrålning,  $v_D$  lm/W, beräknade ur ekvationen

$$v_D = E_{DH}/I \sin h \quad (7.2)$$

där  $I$  är Lunelunds årsmedelvärden av solstrålningen mot en yta vinkelrätt mot strålningsriktningen enligt TAB. 1.21b. Man ser att ljusutbytet är ganska starkt beroende av solhöjden vid låga solhöjder.

Den totala strålningsenergin från solen är mera beroende av atmosfärens fukthalt än solljuset. Ljusutbytesfaktorn är större under sommaren än under vintern på grund av den högre fukthalten under sommaren, men variationerna är inte större än att man bör kunna räkna med samma värden under hela året.

I förhållande till utländska uppgifter (t ex Hopkinson et al. [1966]) är  $v_D$ -värdena i TAB. 7.21a ganska låga. Detta beror troligen framför allt på att fukthalten

här i Norden är relativt låg. Räknar man t ex med en spektral fördelning enligt Moon blir ljusutbytesfaktorn betydligt högre.

En beräkning av ljuset omedelbart innanför ett fönster med solskydd, dvs av fönsterytans luminans, är bekväm att utföra om man gör på samma sätt som vid bestämning av instrålad energi. Man bestämmer då först instrålningen genom ett oskyddat tvåglasfönster och multiplicerar sedan med avskärmningsfaktorn  $F_2$  som gäller för solskyddet. Den instrålade energin genom oskyddat tvåglasfönster kan erhållas ur diagram eller tabeller och motsvarande ljusinstrålning genom att därefter multiplicera med en ljusutbytesfaktor.

Vid en noggrann beräkning måste man ta hänsyn till att ljusutbytet inte är detsamma för himmelsstrålningen som för solstrålningen. Man bestämmer solstrålningen genom fönstret ur diagrammet i FIG. I:14 eller I:15 och himmelsstrålningen ur diagrammet i FIG. I:12. Även strålningen från sol, himmel och mark bestäms, ur diagrammet i FIG. I:16 eller ur tabeller, så att markreflekterad strålning kan erhållas. Solljuset får man sedan genom att multiplicera solstrålningen med  $v_D$  enligt TAB. 7.21a, himmelsljuset genom att multiplicera himmelsstrålningen med  $v_d = 150$  lm/W. Ljusutbytesfaktorn för markreflekterad strålning väljes med hänsyn till att dess värde närmar sig värdet på  $v_D$  vid stora solhöjder,  $v_d$  vid små solhöjder. Ljuset från sol, himmel och mark kan sedan adderas.

Vid en approximativ bestämning av luminansen innanför ett solbelyst fönster med solskydd torde man kunna rekommendera den enkla metoden att multiplicera den totalt instrålade energin genom oskyddat tvåglasfönster med ljusutbytesfaktorn 100 lm/W och med den avskärmningsfaktor  $F_3$  för ljus som gäller för solskyddet.

I de fall då  $F_3$  saknas ger  $F_2$  (som gäller hela solspektrum) en god approximation.

## 7.22 Molnig och mulen himmel

Belysningen från helt eller delvis molntäckt himmel uppvisar mycket stora variationer, och mycket approximativa värden är därför tillräckliga.

Den genomsnittliga belysningen från en oavskärmad himmel, mätt i lumen per kvadratfot horisontell yta, kan man enligt Hopkinson et al. (1966) bestämma ur ekv.

$$E_{dH} = 50 h$$

där  $h$  är solhöjden, om man bortser från skymningsljuset vid mycket låga solhöjder. Eftersom  $1 \text{ m}^2 = 10,76$  kvadratfot får man, om belysningen uttryckes i lux,

$$E_{dH} = 540 h \quad (7.3)$$

Är himlen helt mulen är belysningen enligt Hopkinson et al. (1966) endast 40 % av detta värde, dvs uttryckt i lux

$$E_{dH} = 215 h \quad (7.4)$$

Av FIG. 7.2a där kurvor för belysningen enligt ekv. (7.3) och (7.4) inritats ser man att himlen ger mera ljus då molnigheten är genomsnittlig än då himlen är molnfri, särskilt när solen står högt. Detta beror på reflekterat ljus från molnens kanter. Molnens reflexionsfaktor är hög, ca 70 %.

Vid belysningsberäkningar kan himlen antas vara jämnt lysande under genomsnittsförhållanden. Även för en mulen himmel utgick man förr från detta antagande. Numera rekommenderar Internationella belysningskommissionen, CIE, att man räknar med en "CIE-himmel" vars luminans avtar från zenit mot horisonten lika mycket i alla väderstreck oberoende av solens läge, enligt ekvationen

$$B_{\theta} = B_z (1 + 2 \sin \theta)/3 \quad (7.5)$$

där  $\theta$  är höjden över horisonten och  $B_z$  är himlens luminans i zenit. Ekvationen visar att luminansen vid horisonten bara är 1/3 av vad den är i zenit.

Förhållandet mellan himlens luminans hos en CIE-himmel och hos en jämnt lysande himmel på höjden  $\theta^\circ$  över horisonten, då himmelsstrålningen mot horisontell yta är lika i båda fallen, anges av Z-faktorn:

$$Z = B_{\theta}/B \quad (7.6)$$

se TAB. 7.22a. Tabellvärdena är beräknade ur uttrycket

$$Z = \frac{3}{7} (1 + 2 \sin \theta) \quad (7.7)$$

som kan erhållas med hjälp av ekv. (7.5).

För lägre  $\theta$ -värden än  $42^\circ$  är himlens luminans lägre vid CIE-himmel än vid jämnt lysande himmel ( $Z < 1$ ), annars är den högre. Det framgår härav att om man vill ha lika ljusst i de inre delarna av ett rum med vertikala fönster då man räknar med en oavskärmad himmel med en luminansfördelning enligt CIE som vid en oavskärmad himmel med jämn luminans så måste man förutsetta att fönsterytorna är större eller rumsytorna ljusare.

Himlens luminansfördelning är beroende av reflexionen av ljuset vid markytan. Den är jämnare då reflexionen är högre. Ekv. (7.5) förutsatte ett normalt värde på markens reflexionsfaktor. Vid andra värden kan man för luminansfördelningen utgå från det mera generella uttrycket

$$B_{\theta} = B_z (1 + k \sin \theta)/(1 + k) \quad (7.8)$$

Ekv. (7.5) erhåller man ur ekv. (7.8) om man sätter  $k = 2$ . Vid snötäckt mark är  $t \text{ ex } k = 1$  om snöns reflexionsfaktor är 80 %. Luminansen vid horisonten är då hälften så stor som i zenit.

### 7.3 Bestämning av dagsljus från fönster utan solskydd

#### 7.31 Dagsljusfaktorn och dess komponenter

Belysningen i ett rum med fönster utan solskydd beräknas med hjälp av dagsljusfaktorn. Den anger förhållandet mellan belysningen inomhus och den samtidigt rådande belysningen utomhus. Dess exakta definition är: Dagsljusfaktorn anger dagsljusets belysningsstyrka i en punkt på ett givet plan som förhållandet mellan belysningsstyrkan på det givna planet i denna punkt och den samtidiga belysningsstyrkan utomhus på ett horisontalplan av ljuset från hela det oavskärmade himlavalvet, vars luminans är antagen eller känd. Direkt solljus är inte medräknat, varken inom- eller utomhus.

Dagsljusfaktorn uttrycks vanligen i procent. Om den är 2 % och belysningsstyrkan utomhus på horisontell yta är 10000 lux är belysningsstyrkan därför 200 lux inomhus i den betraktade punkten.

Man får dagsljusfaktorn genom addition av tre komponenter: himmelskomponenten (HK), den utereflekterade komponenten (URK) och den innereflekterade komponenten (IRK).

Med HK avses den del av himmelsljuset i referenspunkten som når denna punkt utan reflexion utom- eller inomhus, med URK den del som reflekterats vid ytor utomhus och endast där och med IRK den del som når punkten först efter reflexion inomhus. Ljus som reflekterats både utom- och inomhus hänförs alltså till IRK. Om det inte finns någon reflekterande yta i omgivningen som man kan se från punkten är  $URK = 0$ . Reflekterat ljus från en lägre belägen yta måste ju reflekteras inomhus för att nå punkten.

I 7 behandlas endast dagsljus på horisontalplan. Enligt internationell överenskommelse antas dagsljuset vara beräknat på ett horisontalplan 85 cm över golvet om inte annat specificerats.

Har man flera fönster i ett rum är dagsljusfaktorn i en punkt i rummet summan av de dagsljusfaktorer som kan beräknas för varje fönster för sig.

### 7.32 Himmelskomponenten

HK kan bestämmas med hjälp av diagrammen i FIG. 7.32a-7.32d. De har utförts vid Byggforskningens dagsljuslaboratorium efter dagsljusgradskivor konstruerade av Hopkinson et al.

Före användningen av nomogrammen i FIG. 7.32a och 7.32b avläses på en sektionsritning över rummet höjdvinkeln för syftlinjen från referenspunkten till fönsterrutans överkant. Man kan sedan lägga en linjal över figuren vid denna höjdvinkel och avläsa HK för ett oändligt långt fönster med dubbelglas eller enkelglas eller för en oändligt lång fönsteröppning utan glas. Om fönsterbröstningen ligger över referensplanet (det horisontalplan i vilket referenspunkten ligger) subtraheras den HK som motsvarar bröstningens höjdvinkel. Om syftlinjen till kanten av en avskärmning ligger över syftlinjen till bröstningen skall istället den HK som motsvarar avskärmningens höjdvinkel subtraheras, så att man får HK endast för den del av himlen som är synlig över skärmkanten.

Den HK som man får på detta sätt måste korrigeras med hänsyn till fönstrets bredd genom multiplikation med en korrektionsfaktor. De båda vinklarna mellan normalen från punkten mot fönsterväggen och fönstrets vertikala begränsningslinjer avläses först på planritningen. Sedan kan man i FIG. 7.32c och 7.32d avläsa korrektionsfaktorerna för resp. vinklar vid medelhöjdsvinkeln hos himlens synliga del. Träffar normalen från punkten mot



fönsterväggen denna vägg mellan fönstrets vertikala begränsningslinjer är den sökta korrektionsfaktorn lika med summan av de avlästa korrektionsfaktorerna, i annat fall skillnaden mellan dem.

Exempel, se avsnitt 7.35.

### 7.33 Den utereflekterade komponenten

URK uppstår genom himmelsljusets reflexion vid ytan av en avskärmning. Den är produkten av HK vid jämnt lysande himmel för den del av himlen som skärmas av och ytans luminans i förhållande till himlens genomsnittliga luminans. Denna relativa luminans hos ytan är produkten av ytans reflexionsfaktor och den relativa belysningen på ytan från himlen.

HK får man på förut beskrivet sätt ur FIG. 7.32b. Observera att även vid avskärmd CIE-himmel HK i detta fall bestäms ur FIG. 7.32b.

Olika ytors reflexionsfaktorer kan erhållas ur TAB. 1.33a. Består ytan av delytor med olika reflexionsfaktorer beräknar man en medelreflexionsfaktor. Om t. ex. avskärmningen är en tegelfasad hos vilken teglets reflexionsfaktor är 30 % och som till en tredjedel består av fönster (glaset reflexionsfaktor är 15 %), blir fasadytans reflexionsfaktor, bortsett från eventuell inverkan av försmutsning,

$$\frac{1}{3} \cdot 15 + \frac{2}{3} \cdot 30 = 25 \%$$

Är försmutsningen sådan att reflexionen minskas med 20 % blir reflexionsfaktorn  $25 \cdot 0,8 = 20 \%$ .

Den relativa belysningen på en vertikal yta utomhus från en jämnt lysande oavskärmd himmel är 50 %, eftersom endast halva himlavalvet belyser ytan. Vid belysning från en himmel med CIE:s luminansfördelning är

den relativa belysningen ca 40 %, ett lägre värde på grund av att luminansen nära horisonten är förhållandevis låg.

I exemplet med tegelfasaden är skärmens relativa luminans  $20 \% \cdot 50 \% = 10 \%$  vid jämnt lysande himmel och  $20 \% \cdot 40 \% = 8 \%$  vid CIE-himmel. Det är vanligt att avskärmningen utomhus antas ha 10 % relativ luminans, både vid jämnt lysande himmel och CIE-himmel.

Exempel, se avsnitt 7.35.

#### 7.34 Den innereflekterade komponenten

IRK beräknas enligt ekvationen

$$\text{IRK} = 0,75 \cdot \frac{A_f}{A} \cdot \frac{C r_u + 5 r_o}{1 - r_m} \% \quad (7.9)$$

Här är

$A_f$  = arean hos det fönster för vilket IRK beräknas,  $m^2$

$A$  = arean av alla rumsytor (tak, golv, väggar, fönster),  $m^2$

$r_m$  = medelvärdet av alla rumsytornas reflexionsfaktorer [se ekv. (7.10)]

$C$  = faktor vars värde beror av himlens luminansfördelning och skärmvinkeln hos eventuell avskärmning utanför fönstret, se TAB. 7.34a

$r_u$  = medelvärdet av reflexionsfaktorerna hos rumsytorna under fönstrets medelhöjd (exkl. fönsterväggen)

$r_o$  = medelvärdet av reflexionsfaktorerna hos rumsytorna över fönstrets medelhöjd (exkl. fönsterväggen).

Koefficienten 0,75 är transmissionsfaktorn för diffust ljus genom två rutor av vanligt fönsterglas.

Reflexionsfaktorerna i ekv. (7.9) är vägda medelvärden av rumsytornas reflexionsfaktorer med resp. ytor som vikt. Så är t ex

$$r_m = (A_v r_v + A_t r_t + A_g r_g + A_f \cdot 0,15) / A \quad (7.10)$$

där  $A_v$ ,  $A_t$ ,  $A_g$  och  $A_f$  är areorna och  $r_v$ ,  $r_t$ ,  $r_g$  och 0,15 är reflexionsfaktorerna hos väggar, tak, golv och fönster.  $A$  är summan av dessa areor och inkluderar inte ytan av möbler, alkover etc.

Eftersom  $r_g$  har ett lågt värde, ofta ca 15 %, blir  $r_u$  relativt lågt. Värdet på  $r_t$  är däremot högt (70 - 80 %) vilket medför ett relativt högt värde på  $r_o$ . Fönsterväggen (inkl. fönstret) tas inte med vid beräkningen av  $r_u$  och  $r_o$  eftersom den inte tar emot något direkt ljus.

Faktorn  $C$  avser det ljusflöde som härrör från omgivningen över horisonten sett från fönstrets mitt (himmelsljus och omgivningsreflekterat ljus) och som mottas på fönstrets utsida räknat vinkelrätt mot fönsterytan. Detta ljus reflekteras av de ytor i rummet som ligger under fönstrets medelhöjd.

Konstanten 5 är motsvarande faktor avseende ljuset från omgivningen under horisonten och som reflekteras av ytor i rummet över fönstrets medelhöjd. Här kan 5 betraktas som produkten av vinkelkoefficienten 0,5 för strålningen mot fönstret från omgivningen under horisonten och den relativa luminansen hos denna omgivning, 10 %. Den relativa luminansen är i sin tur produkten av reflexionsfaktorn och den relativa belysningen från himlen. Tydligt är 5 en konstant som gäller vid ett ganska lågt värde på reflexionsfaktorn (eller då marken framför fönstret delvis är skuggad av omgivningen). Vid ljusare mark eller markpartier kan konstantens värde beräknas med hjälp av metoder angivna i avsnitt 2.222.

Ekv. (7.9) ger medelvärdet av IRK. I vanliga rum med belysningen från ett håll blir värdet på IRK högt nära fönstret och lågt längst in i rummet. Jämnast fördelning av belysningen får man i rum med små fönster och ytor med hög reflexion.

Då minimifordringar på dagsljusbelysningen uppställts kan det bli nödvändigt att bestämma minimivärdet på IRK. Detta uppträder i en punkt längst bort från fönstret, medan medelvärdet gäller med god approximation i mitten av ett sidobelyst rum. Minimivärdet kan bestämmas ur medelvärdet med hjälp av diagrammet i FIG. 7.34a.

Finns fönster på två motsatta väggar i ett rum kan man anta att belysningen blir jämnt fördelad i rummet. IRK kan då bestämmas för vardera fönstret enligt ekv. (7.9) och sedan adderas.

Om fönster finns på två angränsande väggar kan inte ljuset anses jämnt fördelat i rummet. Ett lägsta värde erhålles i hörnet längst bort från fönstren, och diagrammet i FIG. 7.34a bör begagnas.

#### 7.35 Exempel på bestämning av dagsljusfaktorn

Antag att dagsljusfaktorn skall bestämmas vid jämnt lysande himmel i punkten P i ett rum enligt FIG. 7.35a. Fönstren är tvåglasfönster med rutor av vanligt glas. Beräkningen skall göras dels för det fall att rummet ligger i en våning så högt över marken att horisonten är fri, dels för det fall att rummet ligger längre ned i byggnaden så att horisonten är skymd av en byggnad parallell med fönsterfasaden. Denna byggnads överkant har en höjd av 7 m över P på 30 m avstånd från fasaden.

Vidare antas att reflexionsfaktorn hos takytan är 0,7, hos golvytan 0,3 och hos väggytorna 0,5.

A. Fri horisontHimmelskomponenten

Ur vertikalsektionen:

Fönstrens överkant: FIG. 7.32b ger vid  $17^\circ$  HK = 1,7 %Fönstrens underkant:  $1^\circ$  HK = 0,0 %

HK vid oändligt långt fönster = 1,7 %

Ur horisontalsektionen:

Korrektion för fönstrens bredd vid medelhöjd-  
vinkeln  $(17 + 1)/2 = 9^\circ$ :Fönster 1: För höger kant ger FIG. 7.32d  
vid  $11^\circ$  korrektionsfaktorn = 0,12För vänster kant ger FIG. 7.32d  
vid  $6^\circ$  korrektionsfaktorn = 0,06

Korrektionsfaktor = 0,18

Fönster 2: För höger kant ger FIG. 7.32d  
vid  $33^\circ$  korrektionsfaktorn = 0,33För vänster kant ger FIG. 7.32d  
vid  $20^\circ$  korrektionsfaktorn = 0,21

Korrektionsfaktor = 0,12

HK för båda fönstren tillsammans:

1,7 (0,18 + 0,12) = 0,51 %

Innereflekterad komponent:

Man får följande uppställning:

	A	r	Ar
Fönster	6,5	0,15	1
Tak	39	0,7	27
Golv	39	0,3	12
2 mellanväggar	42	} 69,5	0,5
Innervägg	17		
Yttervägg	<u>10,5</u>		
	154		75

Ekv. (7.10) ger:

$$r_m = 75/154 = 0,49$$

Vidare är

$$r_u = \frac{[(14 + 5,6) \cdot 1,8 \cdot 0,5 + 12]}{[(14 + 5,6) \cdot 1,8 + 39]} = 0,40$$

och

$$r_o = \frac{[(14 + 5,6) \cdot 1,2 \cdot 0,5 + 27]}{[(14 + 5,6) \cdot 1,2 + 39]} = 0,62$$

Ekv. (7.9) ger för båda fönstren tillsammans, då  $C = 50$  enligt TAB. 7.34a:

$$IRK_{med} = 0,75 \cdot \frac{6,5}{154} \cdot \frac{50 \cdot 0,40 + 5 \cdot 0,62}{1 - 0,49} = 1,43 \%$$

Vid den placering i rummet som punkten P har bör minimivärdet på IRK användas. Med hjälp av FIG. 7.34a får man

$$IRK_{min} = 0,82 \cdot 1,43 = 1,17 \%$$

$$\underline{\text{Dagsljusfaktorn} = HK + IRK_{min} = 1,7 \%.}$$

#### B. Skymd horisont

För bestämning av skärmvinkeln  $h_n$  får man  $\text{tg } h_n = 7/(30 + 6)$  då skärmkanten ses från P, och  $\text{tg } h_n = (7 - 1)/30$  då den ses från mitten av ett fönster. I båda fallen blir  $h_n = 11^\circ$ .

#### Himmelskomponenten:

Skärmkanten: FIG. 7.32b ger vid  $11^\circ$   $HK = 0,70 \%$ . HK för den synliga delen av himlen vid oändligt långt fönster  $1,7 - 0,7 = 1,0 \%$ .

Medelhöjdsvinkel:  $(17+11) / 2 = 14^\circ$ . Korrektionsfaktorn för fönstrens bredd var vid  $9^\circ = 0,30$  i fall A, sätt den här  $= 0,29$ . HK för båda fönstren tillsammans:  $1,0 \cdot 0,29 = 0,29 \%$ .

Utereflekterad komponent

HK för den avskärmade himlen =  $0,51 - 0,29 = 0,24$  %.

Vid 10 % relativ luminans hos skärmen blir

$$URK = 0,10 \cdot 0,24 = 0,02.$$

Innereflekterad komponent

Enligt TAB. 7.34a är  $C = 40$  vid  $h_n = 11^\circ$ , medan  $C$  var 50 i alternativet med fri horisont. Då var  $IRK_{\min} = 1,17$  %. Vid skydd horisont blir värdet lägre. Med ledning av ekv. (7.9) får man här

$$IRK_{\min} = 1,17 \cdot \frac{40 \cdot 0,40 + 5 \cdot 0,62}{50 \cdot 0,40 + 5 \cdot 0,62} = 0,97 \%$$

$$\underline{\text{Dagsljusfaktorn} = HK + URK + IRK_{\min} = 1,3 \%$$

#### 7.4 Bestämning med dator av dagsljus från fönster med solskydd

Under förutsättning att det ljus som fönstret utsänder i ett rum är diffust kan fördelningen i rummet beräknas med hjälp av fördelningskoefficienter (se 3.5). Detta innebär att hänsyn tas till ett oändligt antal reflexioner mellan de olika rumsytorna.

Av strålning med intensiteten  $1 \text{ W/m}^2$  utsänd från ett fönster med arean  $A_f$  absorberas i ett ytelement med arean  $dA_1$  definitionsmässigt  $\sigma = \frac{A_f \cdot \psi_f \rightarrow 1}{dA_1}$ , räknat per ytenhet av den mottagande ytan.

För fördelningskoefficienter gäller att  $A_i \cdot \psi_{ij} \cdot a_i = A_j \cdot \psi_{ji} \cdot a_j$

Uttrycket för  $\sigma$  kan då omformas till

$$\sigma = \frac{a_1}{a_f} \cdot \psi_1 \rightarrow f$$

$a$  betecknar absorptionsfaktorn.

Eftersom beräkningen avser den belysning som mottages av  $dA_1$ , sätts  $a_1 = 1$ . (Detta påverkar inte strålningsförhållandena i rummet då  $dA_1$  är litet.)

Ljusflödet från fönstret erhålles genom multiplikation av värdena på solinstrålningen genom referensfönstret,  $I_{ref}$ , avskärningsfaktorn  $F_3$  (om uppgift saknas:  $F_2$ ), och ljusutbytesfaktorn som för direkt solstrålning är av storleksordningen 100 lm/W. Ytterligare multiplikation med faktorn  $\sigma$  ger belysningsstyrkan  $E$  mot ytan  $dA_1$  direkt i lux:

$$E = 100 \cdot I_{ref} \cdot F_3 \cdot \sigma \quad \text{lux} \quad (7.11)$$

Beräkningen av fördelningskoefficienten sker genom lösning av ekvationssystem vars koefficienter i sin tur innehåller vinkelkoefficienter för strålning, dels mellan rumsytorna, dels mellan den yta mot vilken belysningsstyrkan skall beräknas och rumsytorna. Dessa beräkningar kan inte rimligtvis göras manuellt, utan utföres med hjälp av ett datorprogram som utvecklats härför.

Programmet beräknar kvoten  $\sigma$  för godtyckligt placerade horisontella ytelement i ett rum. Förutom uppgifter om rumsmåtten och fönstrens placering och storlek inmatas reflexionsfaktorn för de olika rumsytorna. Programmet är skrivet i ALGOL.

## 7.5 Uppmätt och beräknad fördelning av ljus från fönster med gardin respektive persienn

### 7.51 Beräkningar

En beräkning enligt 7.4 av ljusfördelningen i ett rum förutsätter en jämn fördelning av ljuset över var och en av rummets ytor. Den beräknade fördelningen av strålningen från fönstret till rumsytorna utgör därför medelvärden. I verkligheten mottar rumsytorna mindre ljus längre in i rummet från fönstret räknat.



Den från rumsytorna reflekterade delen av belysningen mot en punkt långt in i rummet är alltså mindre än vid fönstret. Hänsyn till detta tar man vid beräkningarna genom att dela rumsytorna i ett lämpligt antal delar.

Beräkningar av belysningsfördelningen i ett rum med följande dimensioner har genomförts:

bredd	2,7 m
djup	5,14 m
höjd	2,7 m
bröstningshöjd	1,05 m
fönstrets höjd	0,86 m
fönstrets bredd	2,7 m (= rummets bredd)
takets reflexionsfaktor	= 0,7, väggarnas = 0,6 och golvet = 0,2.

Beräkningsresultaten framgår av FIG. 7.51a. Den streckade kurvan utgör resultatet då ingen extra uppdelning av rumsytorna gjorts, den heldragna resultatet då tak och mellanväggar uppdelats i 4 lika delar parallellt med fönsterväggens begränsningslinjer.

Om ingen uppdelning av rumsytorna görs kommer belysningen längst in i rummet i detta fall att få ett värde som är ca 60 % för stort. Programmet avses därför bli modifierat så att en lämplig indelning av rumsytorna görs automatiskt.

#### 7.52 Kontrollmätningar

För det rum som beskrivs i 7.51 har mätningar av ljusfördelningen utförts med hjälp av en luxmeter. Mätningar gjordes dels med persienn vid lamellutningen  $45^\circ$ , dels med gardin mellan fönstrets båda glasrutor. I FIG. 7.52a jämförs uppmätta och beräknade värden. Kurvan för beräknade värden är densamma som den heldragna kurvan i FIG. 7.51a och gäller alltså fallet med mellanväggar och tak uppdelade i 4 delar.

Fördelningen av ljuset från fönstret blir mycket likartad för persienn och gardin och ansluter väl till den beräknade kurvan. När det gäller persiennen kunde man vänta sig att ljuset i högre grad reflekterades mot taket med åtföljande högre belysning längre in i rummet. Mätningarna visar att denna effekt i detta fall är helt obetydlig.

Med hjälp av FIG. 7.52a och ekv (7.11) kan belysningen i detta rum för exempelvis en "vanlig" persienn ställd i  $45^\circ$  ( $F_3 = 12\%$ ) och vid instrålningen  $600 \text{ W/m}^2$  beräknas:

Läge	$\sigma$	E lux
1 m från fönstret	0,140	1010
mitt i rummet	0,050	360
vid korridorväggen	0,025	180

#### 7.6 Solskydd, belysningskrav och kylbehov

En väsentlig del av kylbehovet i ett rum kan härröra från artificiell belysning. Storleken hos denna del är beroende av kravet på belysningsstyrka samt på i vilken utsträckning denna kan upprätthållas med hjälp av dagsljus. Vid höga krav på belysningsstyrkan och vid låg dagsljusbelysning måste belysningen vara tänd under en lång tid av dagen varvid belysningsvärme kan bli en dominerande post i kylbehovet. Högre belysningskrav innebär också en högre effektutveckling hos belysningen. Dagsljusets styrka är förutom av rummets geometri och rumsytornas reflexion beroende av fönstrets ljustransmission. Det solvärme som transmitteras genom ett fönster kan i lägre eller högre grad utgöras av den kortvågiga strålning vari ljuset ingår. I det följande visas med ett exempel hur solskyddets ljustransmission direkt påverkar kylbehovet i ett rum om man förutsätter att belysningskraven skall uppfyllas hela dagen. (Isfält (1971)).

Exemplet gäller ett rum med dimensionerna bredd = 2,5 m, djup = 4,0 m, höjd = 2,9 m samt glasarean  $3,24 \text{ m}^2$ , dvs ett normalt kontorsrum med ett tämligen stort fönster.

Solinstrålningen är beräknad för en sydfasad i Stockholm i augusti månad med klart väder. Kvoten  $\sigma$  (se 7.4) mitt i rummet på höjden 0,8 m har med det härför avsedda datorprogrammet beräknats till 0,108.

För det vidare resonemanget förutsätts att fönstret är försett med olika solskydd som har samma  $F_1$ -värde (samma solvärmetransmission), 40 %, men olika  $F_2$ -värden.  $F_3$  förutsätts vara =  $F_2$  och solskydden ger alltså olika mycket dagsljus.

FIG. 7.61a visar för tidsperioden 8-16 instrålningen genom referensfönstret samt denna reducerad till 40 % i  $\text{W/m}^2$  (heldragna kurvor) samt belysningen i lux för  $F_2$ -värdena 10, 20 och 30 % (streckade kurvor). I denna figur kan man direkt utläsa att om belysningskravet är t ex 800 lux och  $F_2 = 10$  % måste belysningen vara tänd hela dagen. Belysningen tänkes ge 20 lm/W. Belysningseffekten blir då  $40 \text{ W/m}^2$ , eller för hela rummet  $40 \cdot 2,5 \cdot 4,0 = 400 \text{ W}$ . Under den betraktade tidsperioden tillföres rummet  $400 \cdot 8 = 3200 \text{ Wh}$ .

Om i stället  $F_2 = 20$  % är, om 800 lux inte skall underskridas, belysningen tänd ungefär kl 8-9.10 samt 15.10-16, dvs 2 timmar. Den energi som tillföres rummet från belysningen under dagen uppgår då till endast  $2 \cdot 400 = 800 \text{ Wh}$ .

Solvärmeinläckningen under den studerade tidsperioden har för de olika solskydden värdet 5200 Wh. En summering av den instrålade solenergin och belysningsenergin beräknad enligt ovan har gjorts för belysningskraven 500, 1000 och 1500 lux vid olika värden på  $F_2$ . Resultatet av dessa beräkningar visas i FIG. 7.61b. Energitillskottet från sol och artificiell belysning vid olika belysningskrav är här uppritat som funktion av ljustransmissionen genom fönstret (uttryckt i  $F_2$ ).

Ur figuren kan följande iakttagelser göras. Om belysningskravet är 1000 lux blir energibelastningen drygt 50 % högre för ett solskydd med  $F_2 < \text{ca } 15 \%$  jämfört med ett solskydd med  $F_2 = 30 \%$  trots att solvärmeinläckningen i båda fallen är densamma, 5200 Wh.

Vissa förutsättningar i detta exempel kan diskuteras. För det första antages att den artificiella belysningen tänds i samma ögonblick som dagsljuset underskrider ett givet värde. Detta kan vara realistiskt om manövreringen sker automatiskt via ett ljuskänsligt organ. I annat fall kommer manövreringen att ske på ett sådant sätt att både längre och kortare belysningstider kan förekomma. Det torde emellertid vara rimligt att i detta avseende rätta sig efter de uppställda belysningskraven.

För det andra är solskydden i bruk under hela tidsperioden. I verkligheten kan man tänka sig att de är frändragna i periodens början och slut. Fasaden är emellertid solbelyst under hela perioden varför det gjorda antagandet inte är orealistiskt.

Beträffande värmebelastningen från elbelysningen gäller att den står i direkt proportion till belysningsstyrkan. Den siffra som använts i exemplet, 20 lm/W, gäller inte ventilerad armatur. Den elektriska energi som förbrukas av belysningen förblir emellertid densamma. Skillnaden ligger i att en del belysningsvärme kan bortföras med evakueringsluften, varigenom kylbehovet minskar.

I exemplet har inte tagits någon hänsyn till belysningstekniska krav såsom bländning, krav på en jämn fördelning etc. Risken för bländning föreligger när ljustransmissionen genom fönstret är stor. Det maximala ljusflödet från fönstret uppgår i exemplet till ca  $100 \cdot 0,3 \cdot 610 = 18300 \text{ lm/m}^2$  (därför  $F_2 = 30 \%$ ).

Sammanfattningsvis framgår av exemplet i detta avsnitt att avskärmningsfaktorn  $F_1$  är ett otillräckligt mått på effektiviteten hos ett solskydd. Direkttransmissionen  $F_2$  och därmed ljustransmissionen har ett avgörande inflytande på rummets värmebelastning.

Vidare framgår att i ett normalt kontorsrum med normala solskydd orimliga belysningskrav kan medföra att artificiell belysning måste tillföras, trots att fönstret är tämligen stort och hela dagen intensivt solbelyst. Den elektriska energi som härigenom tillförs rummet måste också bortföras, vilket inte sällan sker med artificiell kylning. Man gör sig skyldig till ett slöseri med högvärdig energi som i dagens läge måste betecknas som helt oansvarigt.

TAB. 7.21a. Belysning från solen på horisontell yta och solstrålningens ljusutbytesfaktor vid olika solhöjder.

$h^\circ$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$E_{DH}$ lux	1400	6100	13000	21300	29600	38200	46700	55000	63100	71300
$v_D$ lm/W	43	64	75	84	88	92	96	99	101	103

TAB. 7.22a. Förhållandet mellan himlens luminans vid CIE-himmel och jämnt lysande himmel, Z-faktorn, på höjden  $\theta^\circ$  över horisonten. Strålningen från hela himlen mot en horisontell yta förutsättes vara lika i de båda fallen.

$\theta^\circ$	Z
0	0,43
5	0,50
10	0,58
20	0,72
30	0,86
40	0,98
50	1,08
60	1,17
70	1,23
80	1,27
90	1,29

TAB. 7.34a. Värdet hos faktorn  $C$  i ekv. (7.9) när ingen avskärmning förekommer eller när man har en oändligt lång horisontell skärm, som är parallell med fönsterväggen och ses under skärmvinkeln  $h_n$  från mitten av fönstret. Den antas ha en luminans som är 10% av himlens genomsnittliga luminans.

$h_n$	$C$	
	CIE-himmel	Jämnlysande himmel
0	39	50
10	35	41
20	31	33
30	25	26
40	20	19
50	14	13
60	10	9
70	7	6
80	5	5

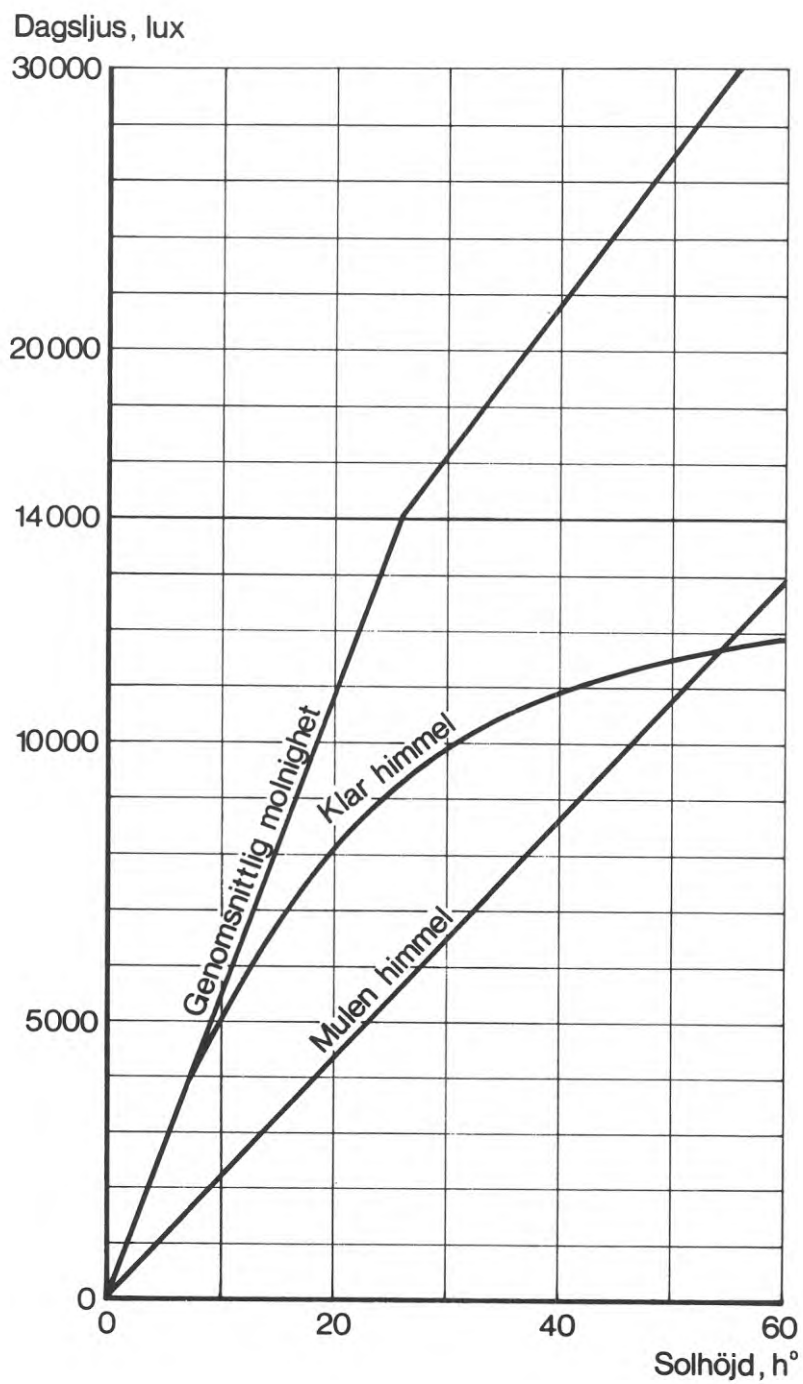


FIG. 7.2a. Belysning från himlen på horisontell yta vid olika solhöjder då horisonten är fri.



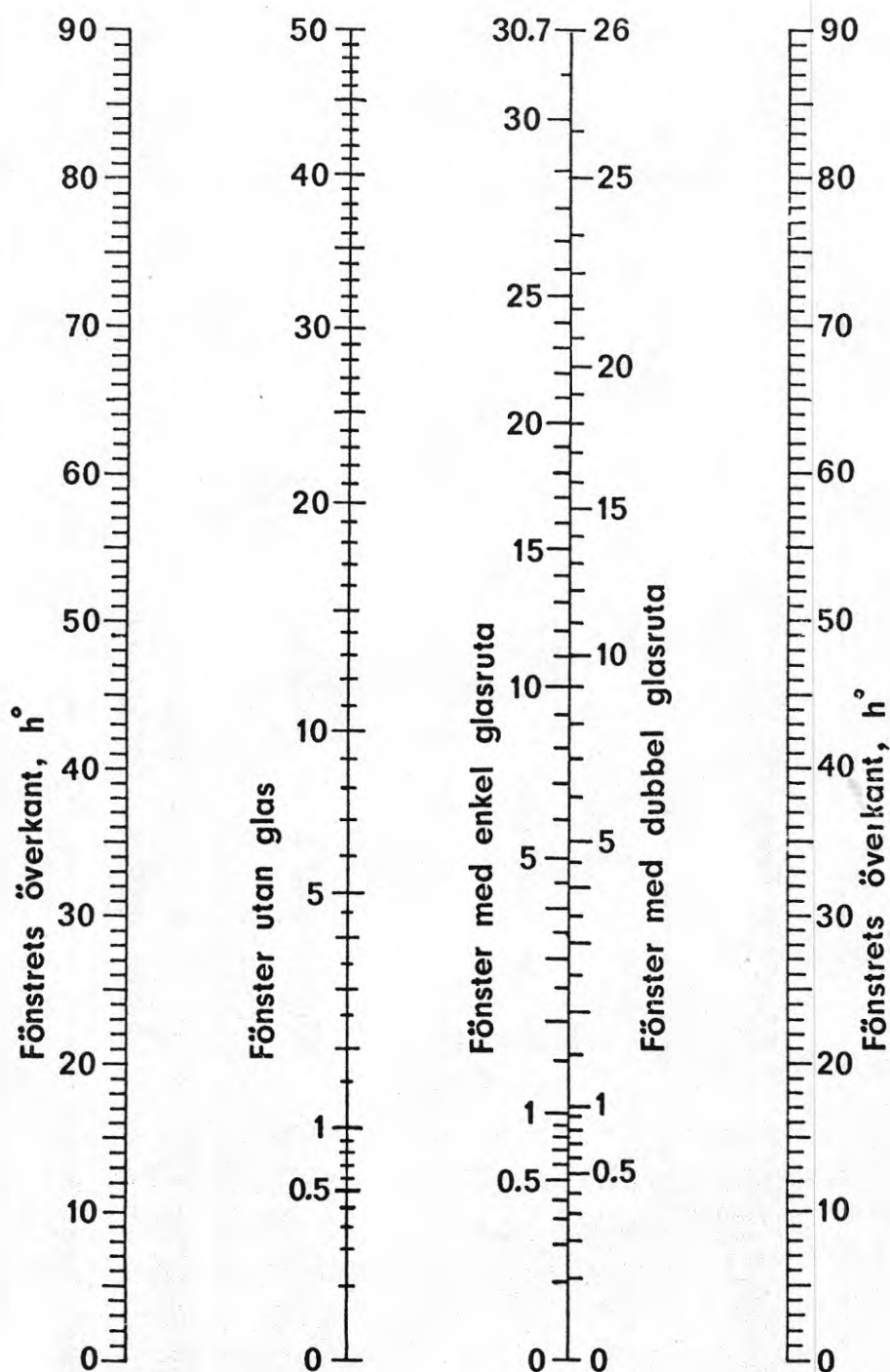
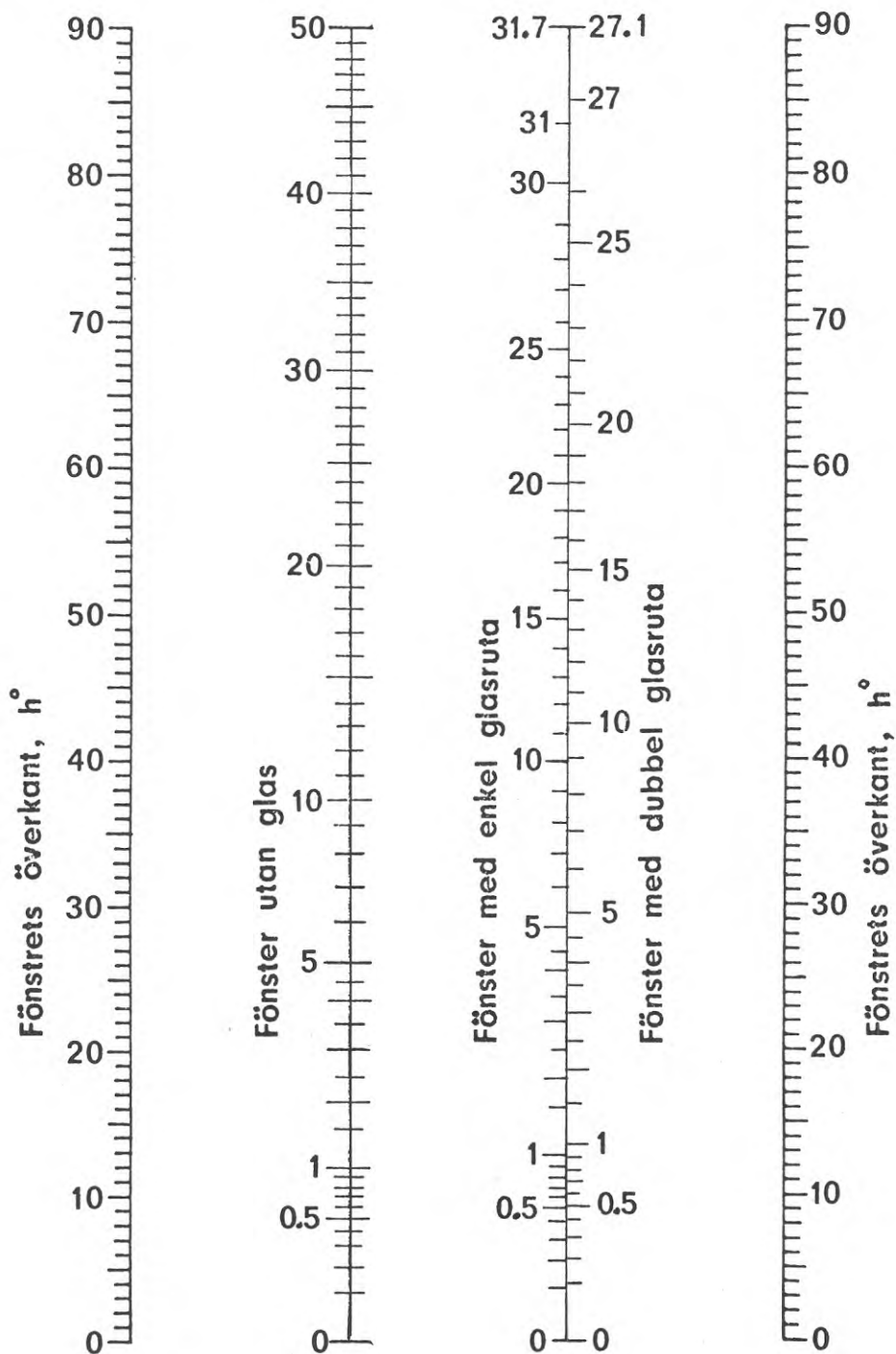


FIG. 7.32a. Dagsljusfaktorns himmelskomponent i % för oändligt långt vertikalt fönster utan glas resp. med rutor av vanligt glas och med underkanten vid  $h = 0^\circ$ , överkanten vid  $h^\circ$ . Mullen himmel enligt CIE.



. FIG. 7.32b. Dagsljusfaktorns himmelskomponent i % för oändligt långt fönster utan glas resp med rutor av vanligt glas och med underkanten vid  $h = 0^\circ$ , överkanten vid  $h^\circ$ . Himmel med jämn luminans.

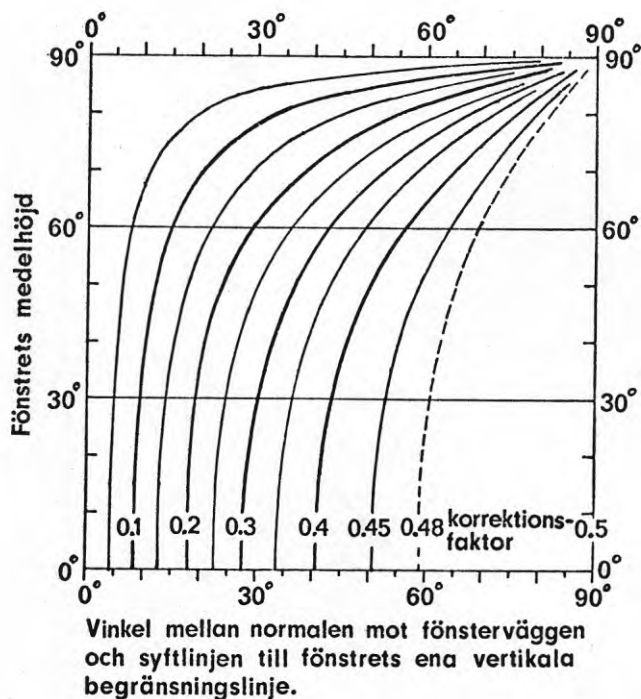


FIG. 7.32c. Korrektionsfaktor för fönster med begränsad bredd. Diagrammet är ritat för tvåglasfönster men gäller approximativt även vid fönster utan glas eller med en ruta. Mullen himmel enligt CIE.

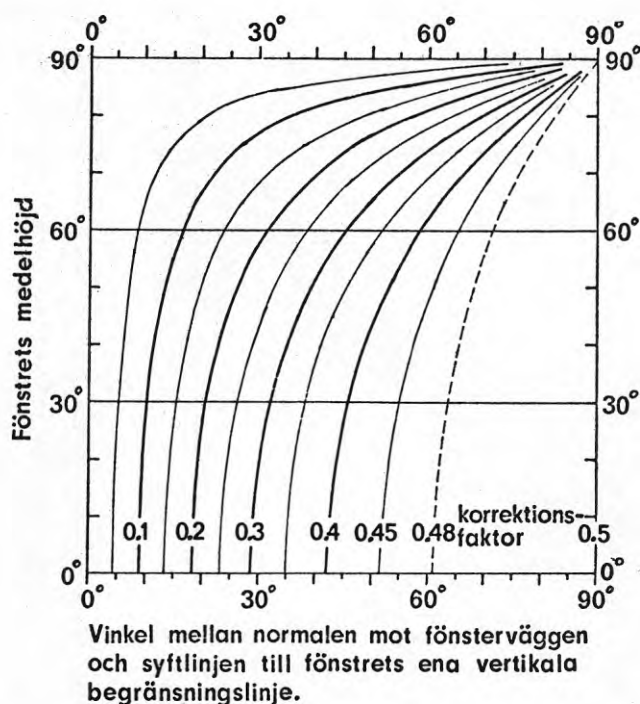


FIG. 7.32d. Korrektionsfaktor för fönster med begränsad bredd. Diagrammet är ritat för tvåglasfönster men gäller approximativt även vid fönster utan glas eller med en ruta. Himmel med jämn luminans.

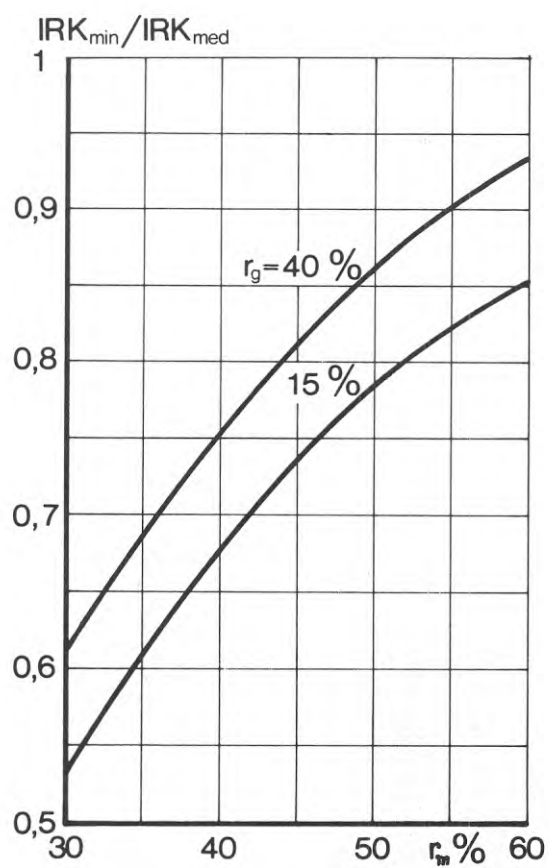


FIG. 7.34a. Förhållandet mellan den innereflekterade komponentens minimi- och medelvärde som funktion av rumsytornas medelreflexionsfaktor  $r_m$  vid 15 resp 40 % reflexionsfaktor hos golvytan och 70 % reflexionsfaktor hos takytan.

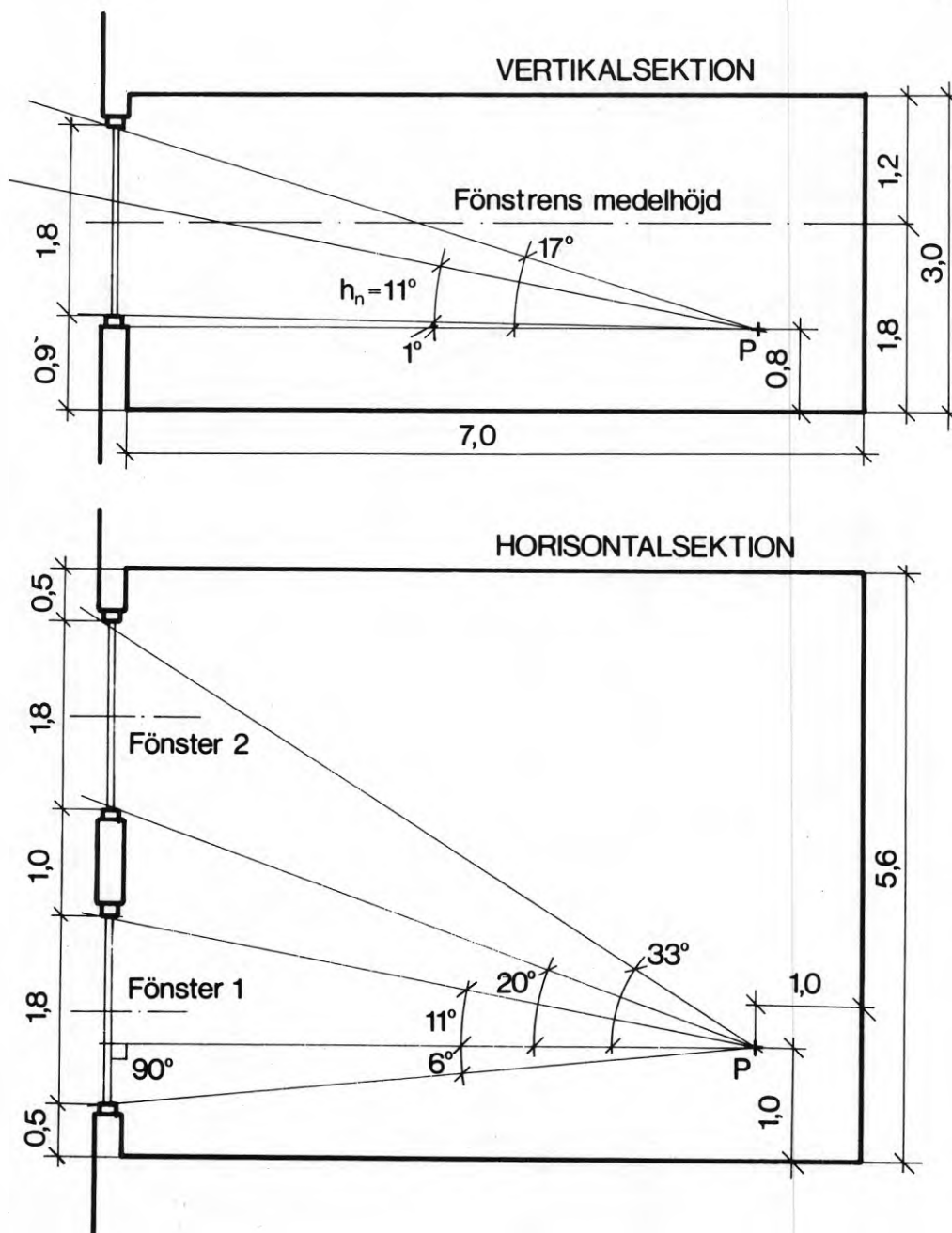


FIG. 7.35a. Då ljuset på en horisontell yta skall bestämmas i en punkt P i ett rum beräknar man dagsljusfaktorn, dvs förhållandet mellan belysningsstyrkan i P och på en horisontell yta utomhus. Vid beräkningen behöver man känna vinklarna mellan syftlinjerna från P mot fönstrens kantlinjer i de båda sektionerna och normalen från P mot fönsterväggen. Om en avskärmning utomhus förekommer måste man också känna skärmkantens höjdvinkel  $h_n$ .

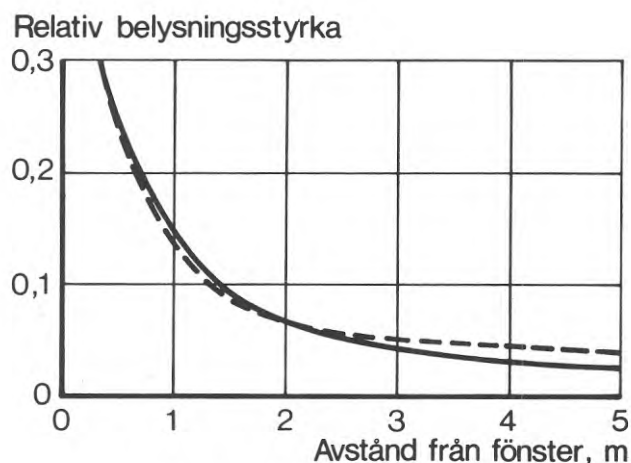


FIG. 7.51a Förhållandet mellan ljusflödet per ytenhet från fönstret i  $\text{lm}/\text{m}^2$  och belysningsstyrkan i lux utefter rummets mittlinje på ett horisontellt ytelement på höjden 1,05 m på olika avstånd från fönstret beräknat dels utan extra indelning av rummets ytor (streckad kurva), dels med tak och mellanväggar uppdelade i 4 delar parallellt med fönsterväggen (heldragen kurva).

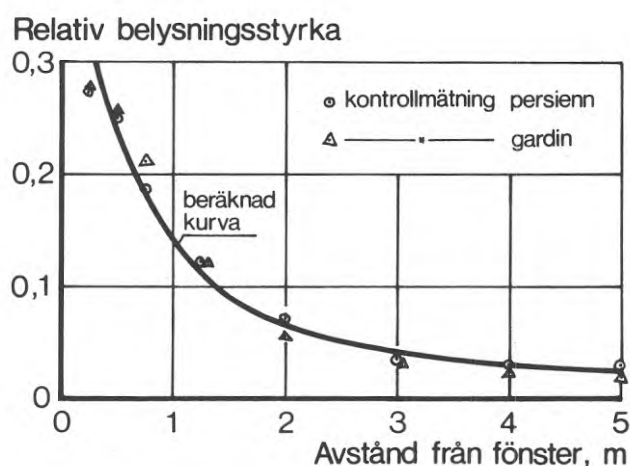


FIG. 7.52a Kontroll genom mätningar med luxmeter av beräknad ljusfördelning i ett rum med tak och mellanväggar uppdelade i 4 delar. Mätningarna är utförda vid fönster med persienn resp. med gardin mellan de båda glasen.

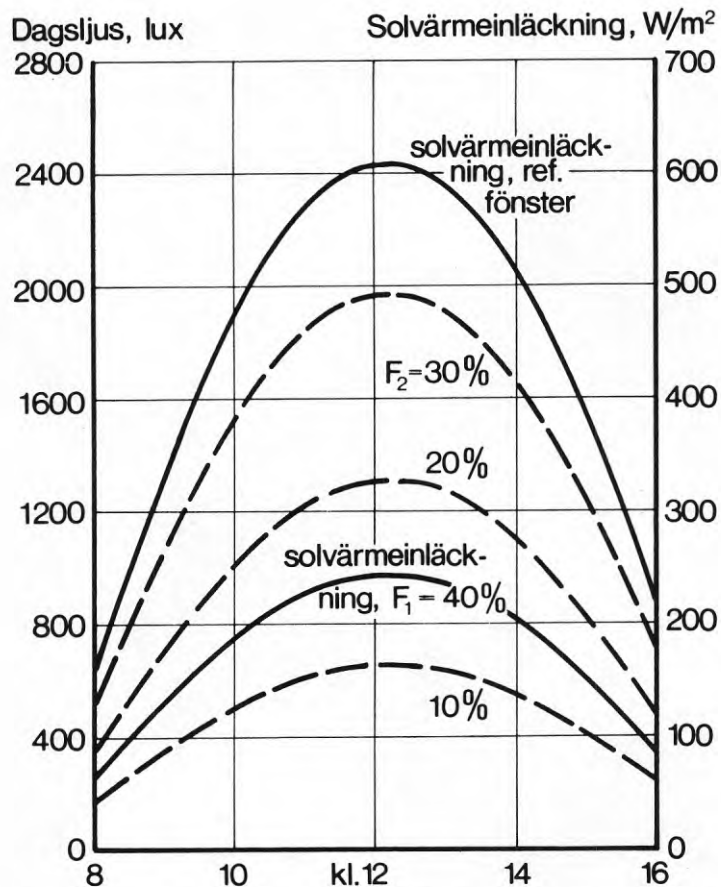


FIG. 7.61a Exempel på variation i solinstrålning genom fönstret och dagsljuset under dagen mitt i ett rum.

värmebelastning från sol och belysning, kWh/dygn

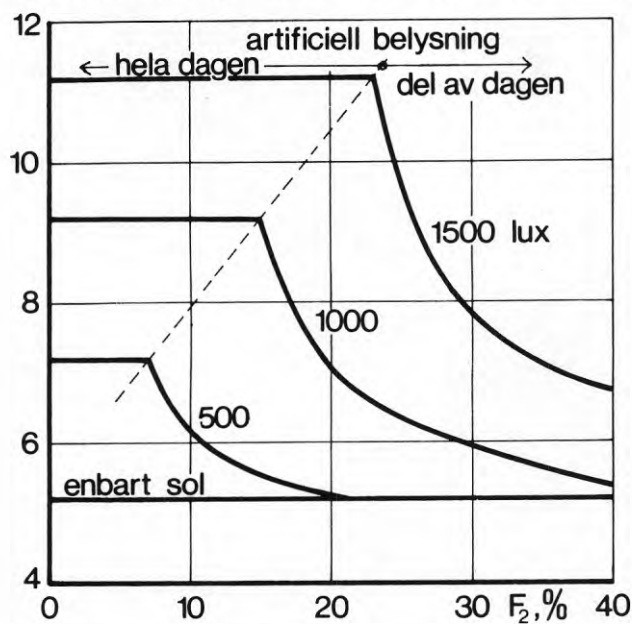


FIG. 7.61b Energitillskott från sol och artificiell belysning i det studerade rummet vid olika belysningskrav som funktion av ljustransmissionen genom fönstret.





## KAP. 8 SOLSKYDDENS KONSTRUKTIVA UTFORMNING KOSTNADER

### INNEHÅLL

	Captions	388
8.1	Utvändiga solskydd	390
8.11	Fasta solskydd	390
8.12	Rörliga solskydd: Jalousier, markiser, persienner	391
8.2	Invändiga solskydd	394
8.21	Persienner	394
8.22	Solskyddsrollgardiner	396
8.3	Frånluftsventilerade fönster	396
8.4	Kostnader	396
	Tabeller	399
	Figurer	400

## CAPTIONS

TAB. 8.4a. Example of costs for sun shaded windows.

FIG. 8.11a. Sunshade above a window.

FIG. 8.11b. Vertical sun shade of wood laths in front of a window.

FIG. 8.11c. Protruding parts of wall between windows can only shadow against oblique radiation and have low sun shading capacity.

FIG. 8.12a. Facade totally covered with exterior vertical lamellae which are mechanically adjusted after the position of the sun.

FIG. 8.12b. Example of a mat of lamellae of pine structures for a rolling shutter. According to Schneck, (1963).

FIG. 8.12c. Rolling shutter with winch and a protecting sheet.

FIG. 8.12d. Rolling shutter adjustable to different positions. According to Schneck, (1963).

FIG. 8.12e. Vertical section of exterior rolling Venetian blind at a 2-glaze window. The angle of the slats can be adjusted with an interior winch, which also can be used to roll up the shutter around a shaft over the window. According to Schneck (1963).

FIG. 8.12f. Exterior Venetian blind operated electrically.

FIG. 8.21a. Details of a between-glass or an interior Venetian blind. According to Svensk Byggekatalog (1970).

FIG. 8.22a. Sun-protecting roller blind between the panes of a 2-glaze window.

FIG. 8.3a. Exhaust air window.  
The left drawing shows a window with exterior insulating and interior single pane with a Venetian blind in between, here in a folded position. Exhaust air from the room enters through a slit at the bottom of the window and is evacuated at the top of the window through a connection to the exhaust air system. When the air passes by the slats of the Venetian blind, it takes heat absorbed in the slats with it. - To the right the insulating glass is replaced by a heat absorbing glass which protects against the sun instead of the Venetian blind.

## 8. SOLSKYDDENS KONSTRUKTIVA UTFORMNING. KOSTNADER

I detta kapitel ges en kort översikt över vissa konstruktioner av solskydd (vad solskyddsglas och inomhusgardiner beträffar hänvisas till 6.1 och 6.3). Vidare visas en sammanställning över kostnader för fönster utan och med solskydd (värmeabsorberande och belagda glas, persienner, markiser och gardiner), även frånluftsfönster.

### 8.1 Utvändiga solskydd

#### 8.11 Fasta solskydd

Fasta skärmar över fönster utförs ofta av spjälor av trä eller lameller av lackerade aluminiumprofiler. En sådan skärm, som kan vara horisontell eller ges en viss lutning, bildar då inte ett sammanhängande tak, utan luften har möjlighet att cirkulera vid fasadens yta. Vidare släpper skärmen igenom en del ljus, särskilt om den har en ljus färg.

Spjälorna ges ofta en viss lutning. Delningen mellan dem bör naturligtvis inte vara så stor att direkt solstrålning har möjlighet att träffa fönstren. Vid den skärm som visas i FIG. 8.11a sitter de alltför glest ur denna synpunkt. Avgörande för skärmens solskyddande funktion är ju för övrigt hur långt från fönsterytan skärmens ytterkant ligger och ytterkantens höjd i förhållande till fönstret, se 2.6 och 4.

Även vertikala skärmar förekommer som solskydd. Är de parallella med fasaden (FIG. 8.11b) hindras ju dock utsynen mer eller mindre. En annan typ av skärm anbringad på detta sätt en bit utanför fasaden utförs av värmeabsorberande glas så att sikten blir friare. Absorberat solvärme bortförs av den kringspolande luften.

Vertikala skärmar anordnade vinkelrätt mot fasaden, t.ex. i form av skivor som skiljer balkonger tillhörande olika lägenheter från varandra, är vanligen inte effektiva som solskydd. Om de inte är mycket långa skuggar de endast när strålningen kommer in mot fasaden så snett från sidan att solvärmens är föga besvärande. En fasadutformning med utskjutande väggpartier mellan fönstren visas i FIG. 8.11c.

#### 8.12 Rörliga solskydd: Jalousier, markiser, persienner

I Sverige förekommer sällan andra slag av utvändiga rörliga solskydd än persienner och markiser. Detta torde till stor del bero på våra besvärliga klimatförhållanden som gör det nödvändigt med omfattande underhåll och tillsyn av alla utomhusmonterade anordningar. I sydliga länder med milt och torrt klimat har man större möjligheter att välja mellan olika konstruktio-  
ner, från vanliga enkla fönsterluckor på gångjärn till olika slag av jalousier. Man måste där också fordra en mycket god effektivitet hos skydden och kan då ofta tolerera en kraftig reducering av dagsljuset. Man kanske skulle kunna tänka sig en viss användning även här av sådana jalusityper som utestänger ljuset helt eller nästan helt, med hänsyn till att man allt mer går över till artificiell belysning i t.ex. kontorslokaler.

I FIG. 8.12a visas en fasad helt klädd med vertikala lameller som vrids automatiskt efter solens läge. Vanligare i t.ex. Mellan- och Sydeuropa är nedfällbara jalousier vid varje fönster, utförda av horisontella spjälor. I FIG. 8.12b visas hur spjälorna för en rulljalusi kan vara utförda, dvs en jalusi som på samma sätt som en markis dras upp över en vals ovanför fönstret. Spjälorna som visas i figuren är gjorda av trä, men de kan även utföras av lättmetall eller plast. Vid konstruktionen enligt figuren bildas först mellanrum mellan spjälorna när jalousin dras upp, vilket sker med hjälp av en vevanordning eller med band. Vid vissa konstruktioner kan den nedre delen av den nedfällda jalousin öppnas genom att föras utåt med hjälp av en spak så att man kan få in en del dagsljus i rummet.

Markiser bör skugga fönsterytorna men inte hindra luftcirkulationen vid dessa. Sidstycken kan därför göra mera skada än nytta när det gäller värmeinläckningen, även om de kan vara bra för att eliminera risken för bländning. Den värmestrålning som tränger in genom fönster då solen står snett är obetydlig. Luftväxlingen under en markis kan ökas genom att man utför den så att det finns en springa mellan dess överkant och väggen. Markisdukens färg har betydelse, särskilt vid sämre ventilerade markiser. Luften mellan markis och fönster blir uppvärmd om färgen är mörk (se FIG. 6.5b).

Markiser kan utföras av lameller av lättmetall eller plast. Textilmaterial är dock vanligast. Markisen kan då bestå av följande huvuddelar: Markisduk, en vals eller rulle på vilken duken rullas upp och armar som håller ut duken från fönstret, se FIG. 8.12c. Markisvalsen, som vanligen är av stål, kan vara fastsatt på fasaden med en överplåt, i en utanpå fasaden monterad markislåda eller i en låda helt infälld i fasaden. Markisarmarna, som kan göras av rör eller profiler av stål (galvaniserat eller rostfritt), ligger intill väggen vid uppfälld markis. Manövreringen kan ske med hjälp av band, linor eller vev, eventuellt från väggens insida. Är valsen utförd med fjäder dras markisen ned och skjuts upp med hjälp av en käpp som krokas i en dragögla i markisens främre kant. En mera komplicerad markiskonstruktion som medger flera inställningsmöjligheter visas i FIG. 8.12d.

Utvändiga persienner utförs som rullpersienner eller paketpersienner. Vid rullpersiennen i FIG. 8.12e är lamellerna 58 mm breda och tillverkade av aluminiumband som ugnslackerats. De är försedda med ändtappar som är sammanlänkade med rostfria stålband, vilka används för den uppåt- och nedåtgående rörelsen hos lamellerna. Stålband och styrtappar omsluts av en U-formad avskärmningsskena av aluminium. Manövreringen sker med en utsvängbar ledad vev, som har såväl hiss- som vridfunktion. Även elmanövrering förekommer. Man har

då möjlighet att utföra inställningen av alla persienner på en hel fasad samtidigt från ett pådrag. Fotoceller har ibland utnyttjats som impulsorgan.

I FIG. 8.12f visas en paketpersienn med elmanövrering. Styrning av de 50 mm breda lamellerna sker där på så sätt att lamellerna är försedda med hål och trädde på linor som är spända vid fönstrets båda sidor. De breda banden i figuren är stegband som ger lamellerna det rätta stegavståndet och den önskade lutningen. Man ser också de båda hisslinorna bakom stegbanden. Även vid paketpersienner kan manövreringen ske med vev inifrån rummet, eller med lina.

Utvändig montering av solskydd medför direkt påverkan av sol, vind, fukt, is, luftföroreningar och stora och snabba temperaturändringar. Alla dessa faktorer innebär stora påfrestningar på de material som skydden är gjorda av, vare sig dessa är väv, metall, plast, trä eller färg. Om inte underhållskostnaderna skall bli höga är det nödvändigt att anordningarna är omsorgsfullt konstruerade och utförda och tillverkade av förstklassigt material. Detta medför naturligtvis att de blir dyrare än skydd som monteras mellan fönsterglas eller inomhus.

Skydden bör konstrueras med tanke på att besvärande oljud inte kan uppstå, t.ex. skrammel i blåst eller knäppande ljud vid snabba temperaturändringar. En olägenhet som är svår att undvika är den minskning av ljustransmissionen vid utomhuspersienner som sker vid försmutsning av lamellytorna. Man måste räkna med en ofta kraftig minskning av reflexionsförmågan hos ytorna efter en tids drift, en tid som naturligtvis är starkt beroende av luftens föroreningsgrad och färgen på smutslagret. Lamellerna måste rengöras oftare än vid inomhusmontering.

Slutligen bör kanske påpekas att utvändiga solskydd påverkar fasadens utseende. De måste vara väl avpassade

till byggnadens exteriör. Denna synpunkt kan vara särskilt besvärlig att ta hänsyn till då man vill montera fasadskydd på en befintlig byggnad. Vid rörliga skydd skall man helst kunna montera rull- eller hissanordningen i en nisch som är infälld i väggen ovanför fönstret.

## 8.2 Invändiga solskydd

### 8.21 Persienner

Nedanstående uppgifter är i huvudsak hämtade ur en ER-översikt "Persienner" i Svensk Byggekatalog, 1970. Denna behandlar persienner där lamellerna är placerade antingen mellan glasrutor i kopplade fönsterbågar (mellanglaspersienner) eller innanför fönsterbågarna i rum (inomhuspersienner).

I FIG. 8.21a ser man lamellerna, som vanligen tillverkas av en aluminiumlegering och ytbehandlas (lackskiktet skall täcka även lamellkanterna). Vidare ser man överlisten, som utgör fäste för eller innesluter mekanismen, och bottenlisten i vilken linor och stegband är fastsatta.

Mekanismen utgörs av vänd- och hissordning samt lagerbeslag. Vändanordningen, som används för att vinkelställa lamellerna, kan bestå av en genomgående stålaxel, i ena ändan kopplad till en snäck- eller friktionsväxel, vilken manövreras med lina eller axel (styv eller böjlig). Är axeln böjlig kan den nedtill övergå i en stång avslutad med ett grepp av plast. Hissanordningen består normalt av minst två linor som löper genom lamellerna men kan även bestå av band. Kombinationer av hiss- och vändanordning förekommer. Även mellanglas- och inomhuspersienner förses ibland med elmanövrering. Lagerbeslag görs av metall som ytbehandlas eller av plast.



Stegbanden, som bär upp lamellerna, är häcklade eller vid stora persienner med 50 mm lamellbredd ibland vävda. Linor eller hissband används för hissning och firning av persiennen. Linor tillverkas av polyesterfiber eller därmed likvärdigt material.

Lamellerna görs med 25, 35 och 50 mm bredd. Vid persienner enligt kvalitetsklass A, motsvarande normala krav på hållbarhet och funktionssäkerhet vid användning i bostäder, förvaltningsbyggnader etc., skall lamellernas profilhöjd vid dessa bredder minst vara respektive 2,1, 2,5 och 4,5 mm, enligt Persiennhandboken (1966). Godstjockleken utan lackskikt skall vara 0,2 mm (vid utepersienner 0,4 mm).

Stegavståndet vid 25, 35 och 50 mm lamellbredd bör vara högst 20-21 mm, 28 mm och 42 mm för att överlappningen i stängt läge skall vara tillräcklig med hänsyn till ljusavskärmningen. Procentuellt är då överlappningen 16-20 % av lamellbredden. Vid stora krav på mörkläggning måste naturligtvis överlappningen ökas, men ovannämnda mått är tillräckliga för normala användningsområden. De överensstämmer också med internationellt använda mått. Man kan emellertid observera att om förhållandet mellan lamellbredd och stegavstånd är större så kan vid horisontellt ställda lameller solståndet vara lägre utan direkt solinfall.

## 8.22 Solskyddsrollgardiner

En i Sverige förekommande typ av rullgardin speciellt avsedd för solskyddsändamål visas i FIG. 8.22a. Gardinen monteras mellan glasrutor i kopplade fönsterbågar. Gardinväven görs vanligen av plastbehandlad bomull, sk tittut-väv. Denna väv är så gles att man kan se konturerna av föremål utanför fönstret, men har så ljus färg att förmågan att reflektera solstrålningen blir god och avskärmningsfaktorn  $F_1$  därför tillfredsställande, se BIL. II:4. Tittut-väven kan göras med tilltagande täthet mot gardinens övre del för att öka solskyddseffekten med bibehållen genomsikt i gardinens nedre del.

### 8.3 Frånluftsventilerade fönster

Konstruktionen av frånluftsventilerade fönster (frånlufts-fönster) framgår i princip av FIG. 8.3a. Av de båda alternativ som visas är fönstret med persienn dyrare men samtidigt betydligt mer effektivt som solskydd än fönstret med värmeabsorberande glas. Sistnämnda alternativ bör inte användas i norra Sverige på grund av risken för kondensering på det yttre glaset.

### 8.4 Kostnader

De kostnadsuppgifter som lämnas här (TAB. 8.4a) har hämtats från en nyligen utförd undersökning av anläggnings- och driftskostnader för olika typer av klimatiseringssystem för kontorsbyggnader. Utredningen har gjorts av Torbjörn Boström och David Södergren, Paul Petersson Konstruktionsbyrå AB, och bekostats av Byggforskningsrådet.

Redovisade kostnader för fönster och solskydd är främst baserade på offerter till aktuella sjukhusprojekt och avser mängder  $> 500 \text{ m}^2$ . Stora prisvariationer förekommer vid upphandling i mindre antal enheter av samma storlek och utförande.

Kostnad för fönster är angiven för storleken  $1,3 \text{ m}^2$  karmyttermått, med  $b+h$  2,3 m och dagmått  $0,94 \text{ m}^2$ . Kostnaden för andra fönsterstorlekar kan beräknas i proportion till  $b+h$  upp till  $b+h = 2,8 \text{ m}$ .

Angivna priser gäller juli 1971.

Förutsättningar vid kostnadsberäkningarna har i övrigt varit följande.

Två alternativa utföranden har studerats. Utförande 1 är kvalitativt överlägset utförande 2. I båda fallen är karm och båge av furu, men i utförande 1 är karm och innerbåge lamelllimmade och ytterbåge tryckimpregnerad. Vidare är här målningen mera omsorgsfullt utförd, karm och ytterbåge är beslagna med aluminiumpro-

filer, och tätningsslister är utförda i neopren i stället för i ylleomspunnen plast. Vid glasning av isolerruta och yttre enkelglas används i utförande 1 tillhållarlistor av aluminium i stället för av trä och neoprengummiprofiler i stället för kitt.

#### Årskostnader

Kapitalkostnaden är beräknad efter 8 % ränta och avskrivningstider enligt nedan.

Avskrivningstider kan betraktas som vägda hållbarhetstider och relateras förutom till produktens och byggnadens kvalitetsklass även till angiven underhållskostnad. Motsvarande avskrivningstider för byggnad är 30 år, fläktar, pumpar och maskinutrustning 15 år, kanaler och rörsystem 20 år och styrutrustning 12 år. Skolor och bostäder faller utanför dessa avskrivningstider.

Fönster med isolerruta, utförande 1	18 år
Fönster med isolerruta, utförande 2	15 år
Fönster med maskin-, spegel-, värmeabs. glas, utförande 1	20 år
Fönster med maskin-, spegel-, värmeabs. glas, utförande 2	17 år
Mellanglaspersienn och solskyddsfilm	8 år
Solskyddsgardin monterad på rullgardinstång, mellan glas	5 år
Utv persienn. Markiser	8 år

#### Underhållskostnader

(Mängder > 500 m<sup>2</sup>)

	% av invest per år
Fönster och glas, utförande 1	0,5 %
Fönster och glas, utförande 2	2,0 %
Solskyddsfilm	0,5 %
Utv persienn	3,0 % 1)
Mellanglaspersienn	3,0 %
Gardiner mellan glas (rullgardiner)	3,0 %

Rengöring(Mängder > 500 m<sup>2</sup>)

Utsida fönsterglas, 3 ggr/år	8	kr/m <sup>2</sup> yta år
Mellanglasytor i utv ventilerad spalt, 2 ggr/år	2	kr/m <sup>2</sup> yta år
Inre glasyta mot rum, 2 ggr/år <sup>2)</sup>	1	kr/m <sup>2</sup> yta år
Mellanglasytor i frånluftsfönster, 2 ggr/år	1	kr/m <sup>2</sup> yta år
Inre glasyta i frånluftsfönster, 2 ggr/år	0,5	kr/m <sup>2</sup> yta år
Inloppsslits i frånluftsfönster, 2 ggr/år	2	kr/m <sup>2</sup> yta år
Mellanglaspersienn i utv vent spalt, 1/2 ggr/år	5	kr/m <sup>2</sup> yta år
Mellanglaspersienn i frånluftsfönster, 1/2 ggr/år	2,5	kr/m <sup>2</sup> yta år
Utv persienn, 1/2 ggr/år	8	kr/m <sup>2</sup> yta år

---

1) Utan hänsyn till korrosion från ev förekommande SO<sub>2</sub>.

2) Smutsas vid 2-glasfönster gm termodiffusion.

TAB. 8.4a Exempel på kostnader för fönster med solskydd

Solskydd	Investering Kr/m <sup>2</sup> (enbart glaskostnad)	Investering Kr/fönster. Utförande 1	Årskostnad Kr/fönster, inkl underhåll och rengöring	Investering Kr/fönster. Utförande 2	Årskostnad Kr/fönster, inkl underhåll och rengöring
3 mm Ni-belagt glas (refl) + 3 mm maskin- glas, kval A. Isolerruta 3+12+3 mm	130	347	48	272	46
4 mm Ni-belagt glas (refl) + 4 mm spegel- glas. Isolerruta 4+12+4 mm	145	362	49	287	48
4 mm Cu-belagt glas (refl) + 4 mm spegel- glas. Isolerruta 4+12+ 4 mm	190	407	54	332	54
4 mm Au-belagt glas (refl) + 4 mm spegel- glas. Isolerruta 4+12+4 mm	210	427	57	352	57
6 mm värmeabsorberande glas + 6 mm spegel- glas. Isolerruta 6+15+6 mm	110	327	46	252	43
6 mm värmeabsorberande glas ("float") + 3 mm maskinglas, kval A. Frånluftsfön- ster, kopplade bågar	38	299	44	219	41
Mellanglaspersienn, lameller 25 mm. Ljus standardfärg. Inkl montering	35		12		7
Mellanglaspersienn, lameller 35 mm. Ljus standardfärg. Inkl montering	38		13		8
Utv persienn, lamel- ler 50 mm. Bandupp- hängd. Lin- el vev- manövrerad. Styrlinor. Standardfärg. Exkl montering o täckplåt	130				
Montering vid nybyggn	30				
Täckplåt	40				
	200		49		41
Markis, enkel utan si- dostycken. Enfärgad. Utv manövrering. Exkl montering	190				
Montering. Utv manövrering. Nybyggn	25				
	215		52		44
Solskyddsrollgardin mellan glas, monterad på rullgardinstång. Linmanövrerad. Stan- dardfärg. Exkl monter- ring	30				
Montering i förborrad båge	10 40		16		11
Frånluftsfönster. Yttre isolerruta 3+12+3 mm. Inre maskinglas, kval A, 3 mm. Exkl kanälansl	91	354		274	
Inkl persienn		389	62	309	60
Fönster, 2 glas, kopp- lade bågar. Maskinglas, kval A.	22	233		152	
Inkl mellanglaspersienn		268	50	187	45
Fönster, 3 glas, kopp- lade bågar. Yttre ma- skinglas, 3 mm och in- re isolerruta 3+12+3 mm	91	344		264	
Inkl mellanglaspersienn		379	63	299	61
Fönster, 2 glas, kopp- lade bågar. Maskinglas, kval A.					
Inkl solskyddsfilm (Al-belagd plast)	112	323	54	242	49
Isolerruta, 3+12+3 mm, enkel båge, klärglas. Maskinglas, kval A.	80	297	42	222	39
Inkl utv persienn, monterad		497	91	422	88
Inkl inv persienn, monterad		322	54	257	51

Anm. Angivna kostnader avser fönster med karmyttermått 1,3 m<sup>2</sup>, b+h 2,3 m och dagmått 0,94 m<sup>2</sup>,  
inkl glas och glasning men exkl transporter och montering.

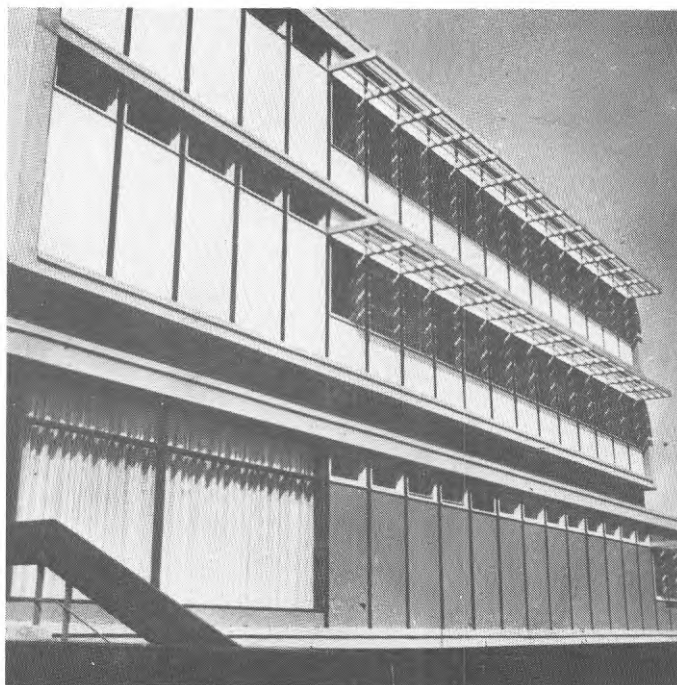


FIG. 8.11a Solskärm över fönster.

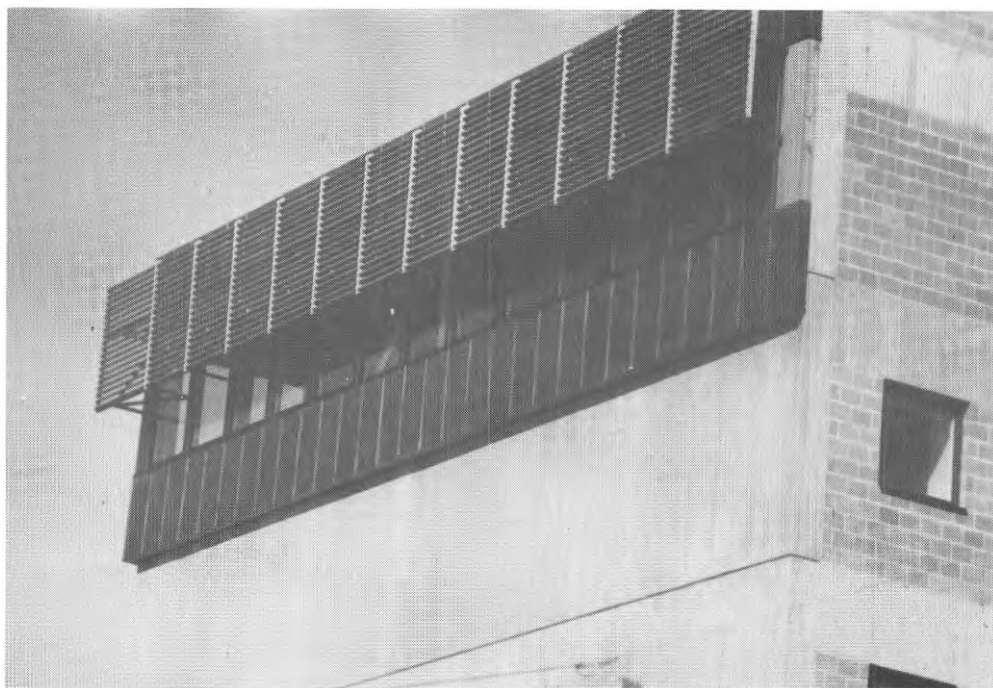


FIG. 8.11b Vertikal skärm framför fönster, utförd av träspjälor.



FIG. 8.11c Utskjutande väggpartier mellan fönster kan endast ge skugga vid snett infallande sol och ger ringa solskyddsverkan.

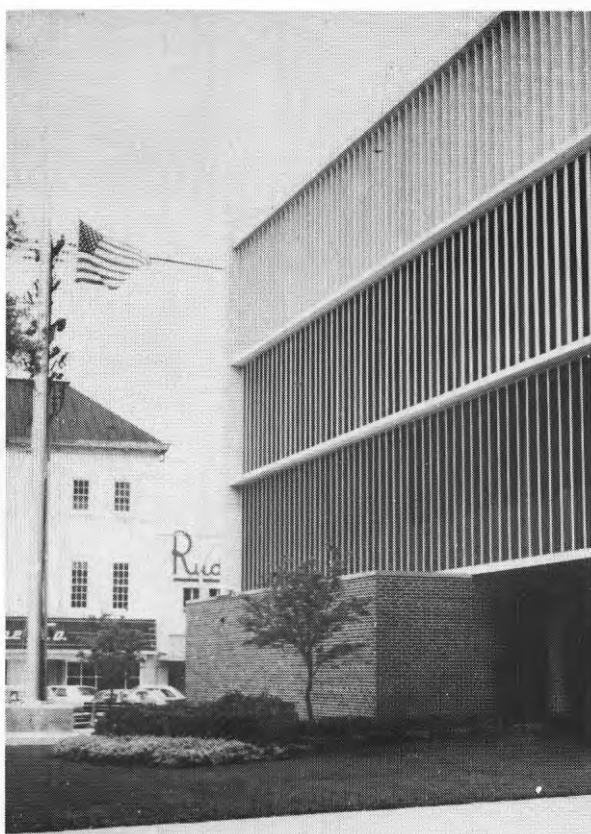


FIG. 8.12a Fasad helt klädd med utvändiga, vertikala lameller som vrids maskinellt allt efter solens läge.

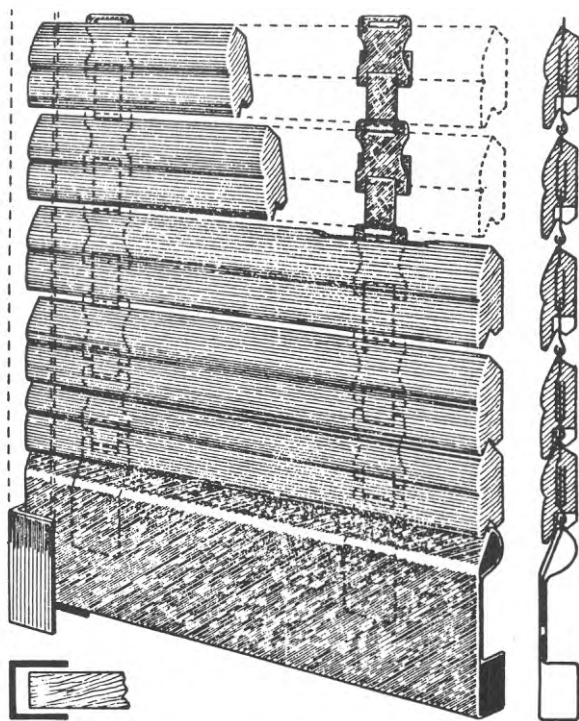


FIG. 8.12b Exempel på lamellmatta av furuprofiler för en rulljalusi. Enligt Schneck (1963).

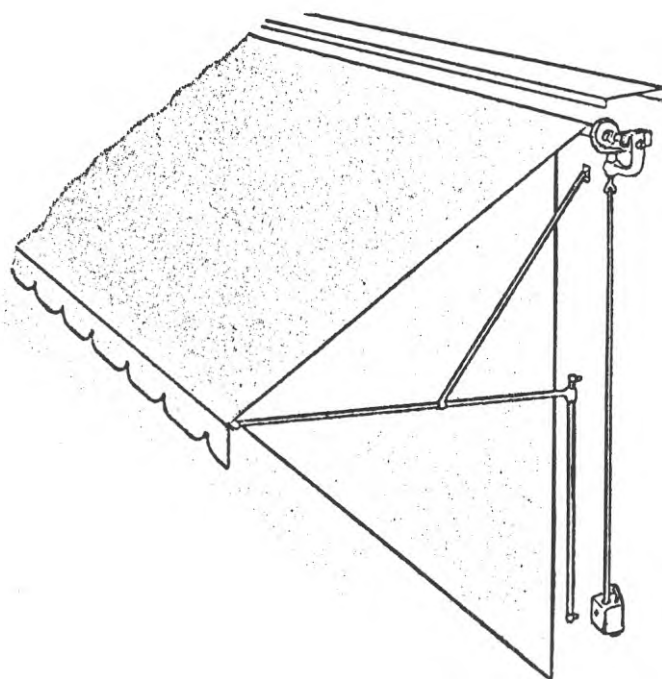


FIG. 8.12c Vevmanövrerad rullmarkis med överplåt.



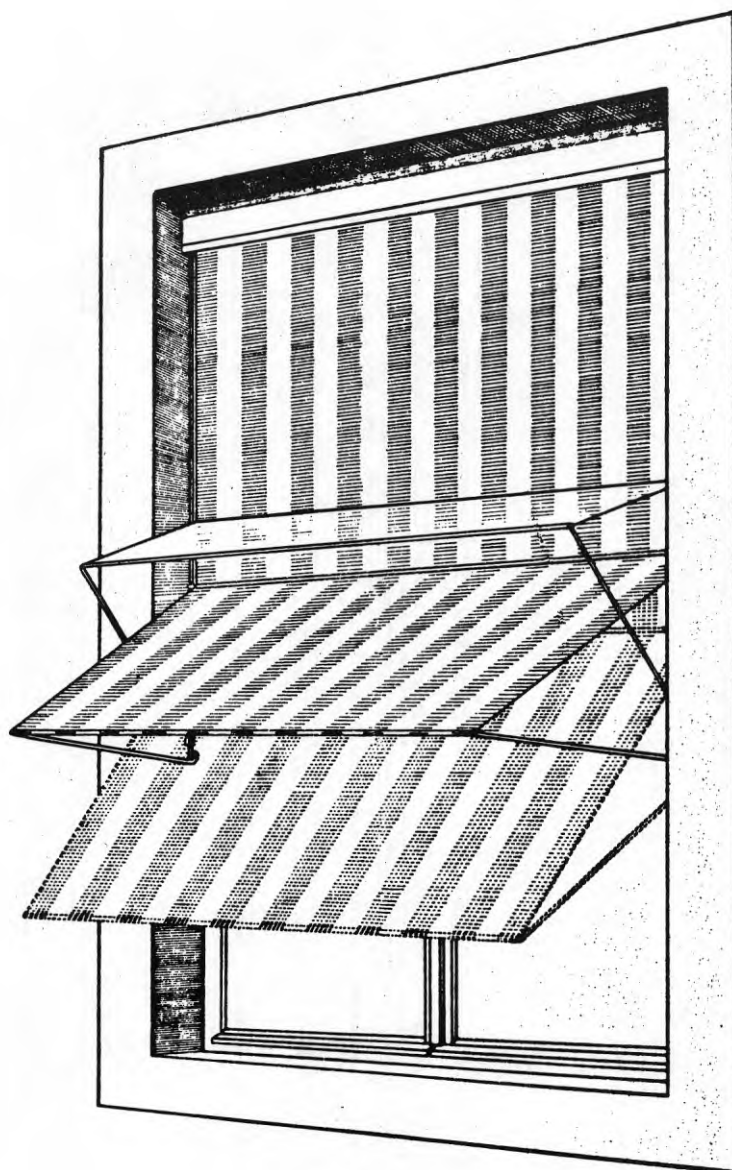


FIG. 8.12d Rullmarkis inställbar i olika lägen. Enligt Schneck (1963).

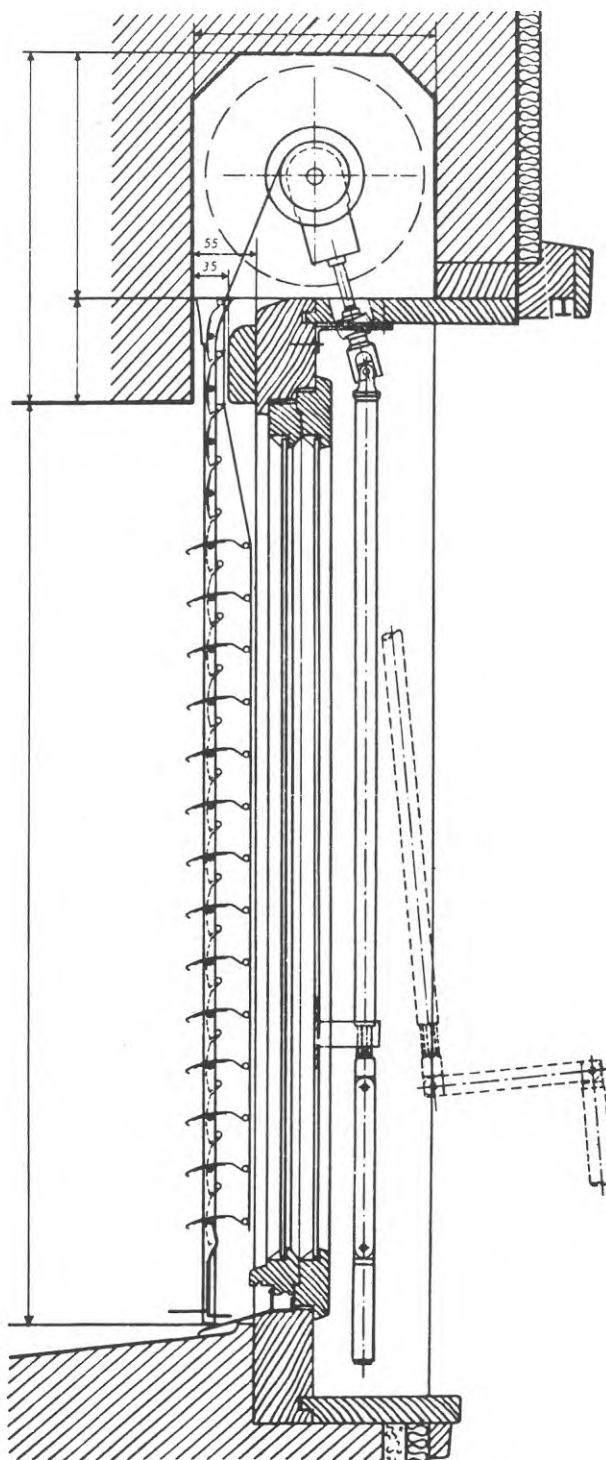


FIG. 8.12e Vertikalsnitt genom en utvändigt rullpersienn vid ett tvåglasfönster. Med hjälp av en vev innanför fönstret kan man reglera persiennlamellernas lutning. Med vevan kan man också rulla upp persiennen runt en axel ovanför fönstret. Enligt Schneck (1963).

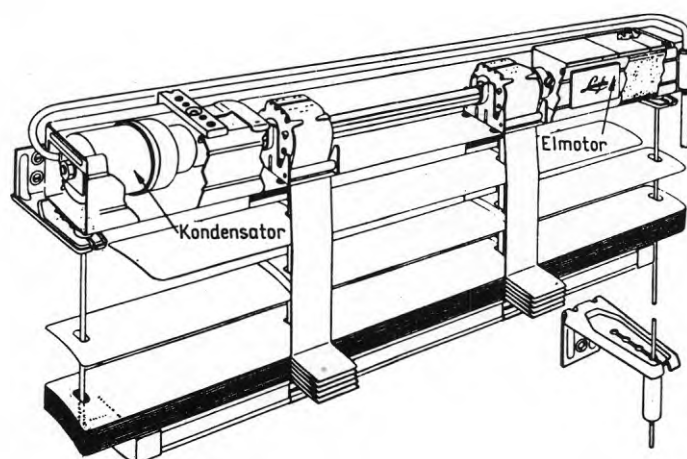


FIG. 8.12f Utvändig paketpersienn med elektrisk manövrering.

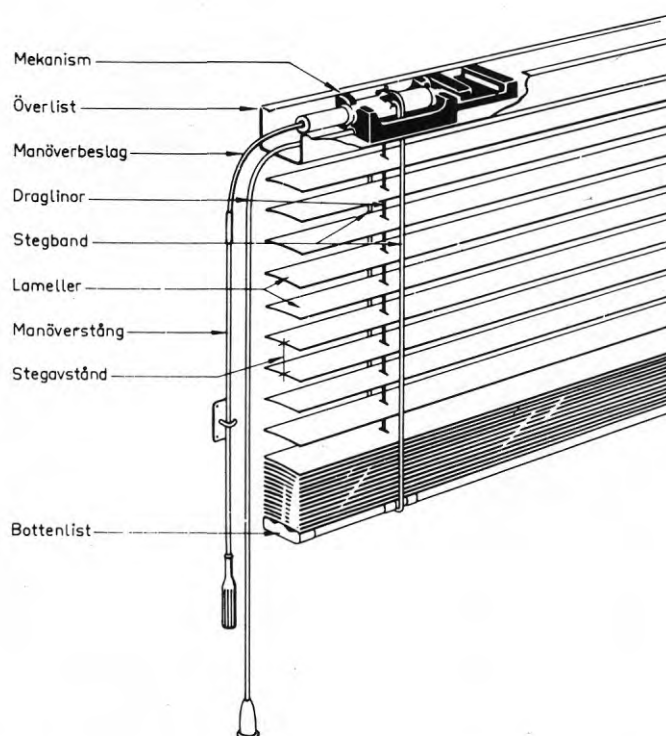


FIG. 8.21a Mellanglas- och inomhuspersienners olika delar. Enligt Svensk Byggekatalog (1970).

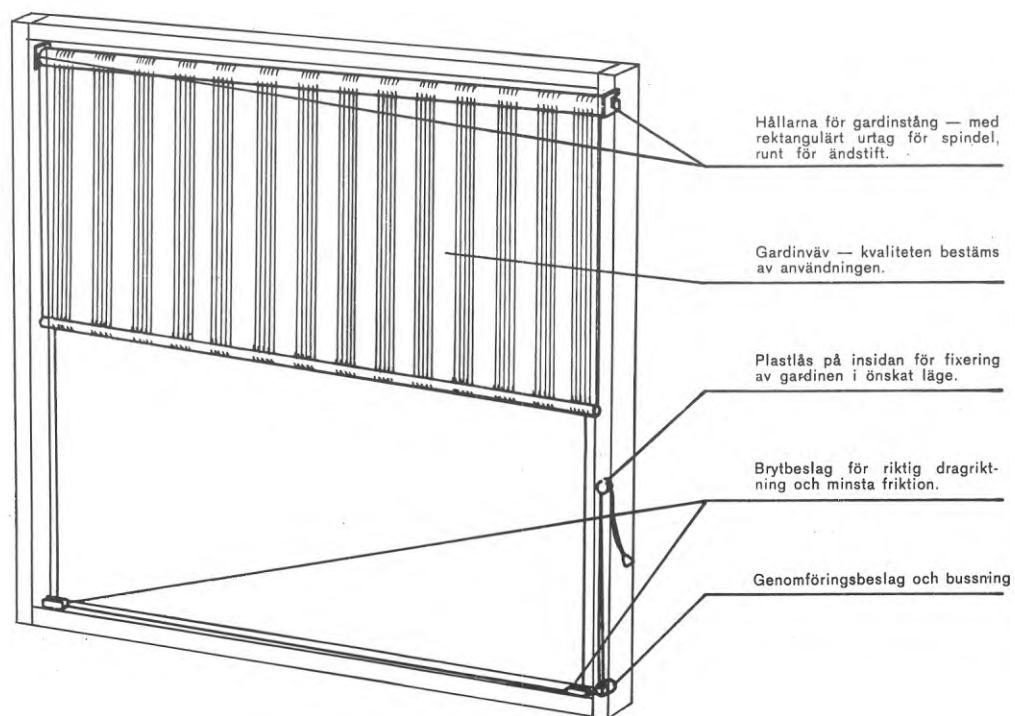


FIG. 8.22a Solskyddsrollgardin monterad mellan glaset i ett tvåglasfönster.

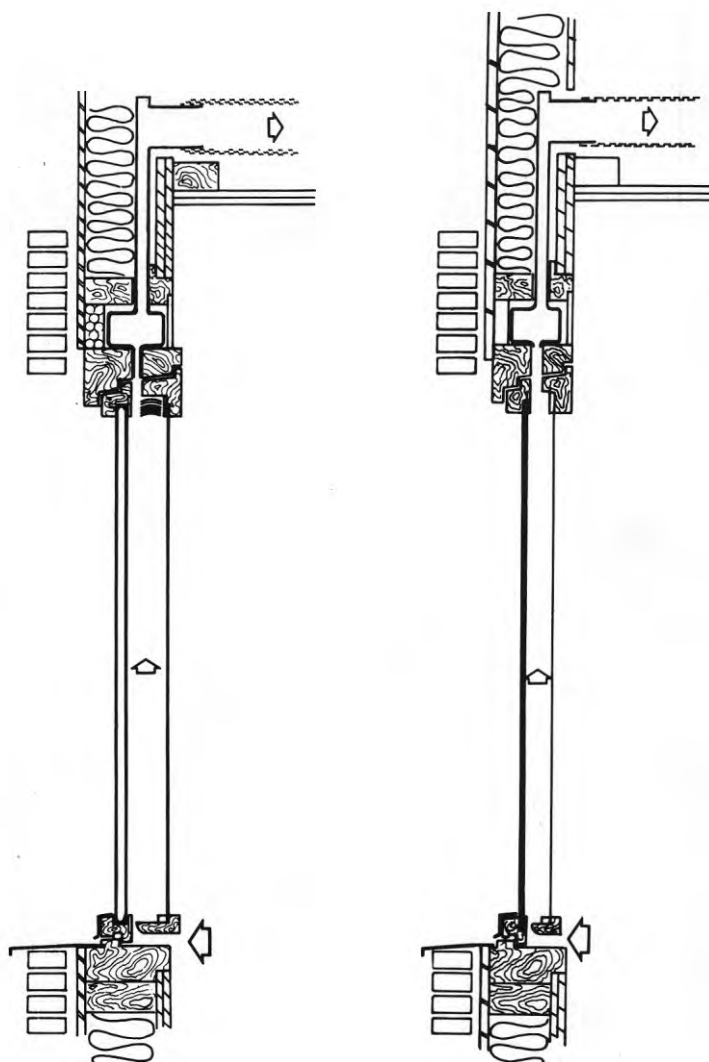


FIG. 8.3a Frånluftsfönster

Fönstret till vänster består av en yttre tvåglasisolerruta och en invändig enkelruta, mellan vilka en persienn är anbringad, i figuren visad i uppdraget läge. Rumsluft förs in genom en spalt vid fönstrets nedre kant och sugas ut upptill genom en anslutning till kanalsystemet för frånluften. Vid luftens passage förbi persiennlamellerna tar den upp värme som absorberats av dessa.

- I figuren till höger är isolerrutan ersatt av ett värmeabsorberande glas, som fungerar som solskydd i stället för persiennen.



## LITTERATUR

- Adamson, B, 1970, Val av klimatdata vid beräkning av högsta rumstemperatur. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 49. Stockholm.
- Alderson, J H, 1960, Sun control - a new development (Institution of Heating and Ventilating Engineers.) JIHVE 28,12. London.
- Alderson, J H, 1969, Reflective solar control film for windows. The Heating & Ventilating Engineer and Journal of Air Conditioning, 42, 4. London.
- Antoni, N, 1969, Projekteringsunderlag för skolbyggnader för grundskolan (Statens institut för byggnadsforskning). Rapport 50. Stockholm.
- ASHRAE GUIDE, 1954 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.). New York.
- ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967 (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) p. 475. New York.
- Bliss, R W Jr, 1961, Atmospheric radiation near the surface of the ground, A summery for engineers. Solar Energy 5 (3).
- Boysen, A, & Mandorff, S, 1969, Fördelning av daglig solskenstid. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 4/69. Stockholm.
- Brown, G, 1956, Värmeövergång vid byggnaders ytter- ytor. (Statens Nämnd för Byggnadsforskning.) Handlingar nr 27. Stockholm.
- Brown, G, 1962, Grundläggande strålningssegenskaper hos fasta och flytande kroppar. (Förlags AB VVS.) VVS, 33, nr 4. Stockholm.

Brown, G, 1963, Metod för datamaskinberäkning av värme- och ljusstrålning i rum. VVS 34, nr 10. Stockholm.

Brown, G, & Isfält, E, 1969, Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar. Tabeller och diagram. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 19. Stockholm.

Brown, G, 1971, Datorprogram för beräkning av temperatur och kylbehov i rum. Byggnads-Ingenjören Team, nr 7-8.

Den svenska almanackan. Med utförligare astronomiska uppgifter. (Almqvist & Wiksell Förlags AB.) Uppsala & Stockholm.

Engström, L, et al. (1975), Sol, solvärme, solenergi - en litteraturförteckning. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport R7:1975. Stockholm.

(ER-översikter)

Fanger, P. O, 1964, Varmeovergang mellem røg og vange i skorstene. Ingeniøren nr 4, Köpenhamn.

Farber, E. H, Smith, W. A, Pennington, C. V, & Reed, J. C, 1963, Theoretical Analysis of Solar Heat Gain through Insulating Glass with Inside Shading. ASHRAE Transactions, vol 69. New York.

FOCUS, Materien, 1965. (Almqvist & Wiksell Förlags AB.) p. 517. Stockholm.

Gabrielsson, J, & Matilainen, V, 1969, Värmetekniska egenskaper hos ett frånluftsfönster med tre glas. VVS 40, nr 5. Stockholm.

Gage, H P, 1939, Spectral distribution of solar radiant energy. IES Trans (Am), 34, 3, p. 316-329.

Gates, D M, 1966, Spectral Distribution of Solar Radiation at the Earth's Surface. Science, vol. 151, p. 523.



Gubareff, G G, Janssen, J E & Torborg, R H, 1960, Thermal radiation properties survey. (Honeywell Research Center. Minneapolis - Honeywell Regulator Company.) Minneapolis, Minnesota.

Hamilton, D C & Morgan, W R, 1952, Radiant-Interchange Configuration Factors. NACA Technical Note 2836. Washington.

Harrison, T R, 1960, Radiation pyrometry and its underlying principles of radiant heat transfer. (John Wiley & Sons, Inc.). New York.

Hess, P, 1939, Die spektrale Energieverteilung der Himmelsstrahlung. Gerl. Beitr. Geophys. 55, p. 204-220.

Hopkinson, R G, Petherbridge, P & Longmore, J, 1966, Daylighting. (Heinemann.). London.

Hull, J N, 1954, Spectral distribution of radiation from sun and sky. I.E.S. (Eng) Trans, 19,1, p. 21-28.

Höglund, B I, Mitalas, G P, & Stephenson, D G, 1967, Surface Temperatures and Heat Fluxes for Flat Roofs. Building Science, vol. 2, p. 29-36. London.

Ingelstam, E, & Sjöberg, S, 1967, Elfymatabellen. (Sjöbergs förlag.). Stockholm.

Introduction to the Utilization of Solar Energy, 1963, (Mc Graw - Hill Book Company, Inc.) University of California. Engineering and Sciences Extension series.

Isfält, E, 1971, A Computer analysis of window shading coefficients by calculating optical and thermal transmission. Proceedings of the First Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings. National Bureau of Standards, U.S. Government Printing Office. Washington DC.

- Johnson, F S, 1954, The Solar Constant. Journal of Meteorology, vol. 11, p. 434.
- Keyes, M W, 1967, Analysis and Rating of Drapery Materials Used for Indoor Shading. ASHRAE Transactions, vol. 73, part 1. New York.
- Kollman, A, & Liese, W, 1957, Die Strahlungsheizung. (R Oldenbourg.) München.
- Korsgaard, V, & Petersen, E, 1969, Some notes on solar radiation and buildings. (The Technical University of Denmark, The thermal Insulation Laboratory.) Meddelelse nr 17. Lyngby.
- Liljequist, G H, 1962, Meteorologi. (Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag.) Stockholm.
- Lindholm, F. 1955, Sunshine and Cloudiness in Sweden 1901-1930. (Sveriges Met.- Hydr. Inst.) Medd. Serie B, nr 11.
- Longmore, J, 1968, BRS Daylight Protractors. (Building Research Station, Ministry of Public Building and Works, HMSO.) London.
- Lumsdaine, E, 1970, Theoretical Analysis of Transient Solar Heating through a Composite Barrier. ASHRAE Transactions, vol 76. New York.
- Lunelund, H, 1936, Värmestrålning och ljusstrålning i Finland. Svenska Tekniska Vetenskapsakademien i Finland, Acta 12. Helsingfors.
- Lyng, O, 1965, Värmetransport genom fönster - litteraturstudie med bibliografi. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport 15/65. Stockholm.

Mackey, C O, Wright Jr., L T, Clark, R E & Gay, N R, 1943, Radiant Heating and Cooling, Part I, Angle Factors for Calculations on Radiant Heating and Cooling. Bulletin No. 32. Cornell University Engineering Experiment Station. Ithaca, New York.

Moon, P, 1940, Proposed Standard Radiation Curves for Engineering Use. Journal of the Franklin Institute, vol. 230, p. 583-617.

Moore, G L & Pennington, C W, 1967, Measurement and Application of Solar Properties of Drapery Shading Materials. ASHRAE Transactions, vol. 73, part 1. New York.

Ozisik, N & Schutrum, L F, 1958, Heat Gain through Windows Shaded by Canvas Awnings. ASHRAE Transactions, vol. 64. New York.

Ozisik, N, & Schutrum, L. F, 1960, Solar heat gains through slat-type between-glass shading devices. ASHRAE Transactions, vol 60. New York.

Parmelee, G. V, 1945, The Transmission of Solar Radiation through Flat Glass under Summer Conditions. Heating, Piping & Air Conditioning, Oct-Nov.

Parmelee, G. V, 1954, Irradiation of Vertical and Horizontal Surfaces by Diffuse Solar Radiation from Cloudless Skies. ASHRAE Transactions, vol 60. New York.

Parmelee, G. V, & Aubele, W. W, 1952, The Shading of Sunlit Glass; An Analysis of the Effect of Uniformly Spaced Flat Opaque Slats. ASHVE Transactions, vol 58. New York.

Pennington, C. W, Smith, W. A, Farber, E. A, & Reed, J, C, 1964, Experimental Analysis of Solar Heat Gain through Insulating Glass with Inside Shading. ASHRAE Transactions, vol 70. New York.

- Persiennhandboken, 1966. (Svenska Persiennfabrikanter  
Förening.) Stockholm.
- Persson, R, 1965, Planglas. (Hasse W Tullbergs Förlag.)  
Stockholm.
- Persson, R, 1966, Värmeabsorberande och värmereflekterande  
glas. (Förlags AB VVS.) VVS, 37, nr 2. Stockholm.
- Persson, R, 1968, Värmeabsorbierende und wärmereflekterende  
Gläser. (VDI-Verlag.) VDI-Zeitschrift 110, 1.  
Düsseldorf.
- Petersen, E, 1966, Solinfald gennem vinduer. (Akademisk  
Forlag.) Danmarks Tekniske Højskole, Laboratoriet  
for varmeisolering, Meddelelse nr 13. Lyngby.
- Petersen, E, 1971, Sådan beregnes solinfald og solaf-  
skaermning. Byg og Bo. Danmark.
- Pleijel, G, 1954, The computation of natural radiation  
in architecture and town planning. (Statens Nämnd för  
Byggnadsforskning.) Meddelande nr 25. Stockholm.
- Pleijel, G, 1958, Fönstrets strålningstransmission  
(Statens Nämnd för Byggnadsforskning.) Intern rapport.  
Stockholm.
- Pleijel, G, 1961, Fönsterglasens transmission av strålning  
från sol och himmel. (Förlags AB VVS.) VVS, 32,  
nr 3. Stockholm.
- Pleijel, G, 1963, Solinstrålning genom fönster i norra,  
mellersta och södra Sverige (Statens råd för byggnads-  
forskning.) Rapport 94. Stockholm.
- Rao, K R & Seshadri, T N, 1961, Solar insolation curves,  
The Indian Journal of Meteorology and Geophysics,  
vol. 12, nr 2.

- Rødahl, E, 1962, Solstråling og absorpsjon av solvarme i bygningers ytterflater. Norsk VVS, 5, nr 3.
- Schalén, C, 1956, Sfarisk astronomi. (Svenska Bokforlaget Norstedts.) Stockholm.
- Schmidt, E, 1927, Wärmestrahlung technischer Oberflächen bei gewöhnlicher Temperatur. (R Oldenbourg.) Beih. zum Ges.-Ing., Reihe 1, Heft 20. München und Berlin.
- Schneck, A G, 1963, Fenster aus Holz und Metall. (Julius Hoffmann.), Stuttgart.
- Schröder, H, 1968, Neue Sonnenschutzgläser zur Verglasung von Gebäuden und Fahrzeugen. (VDI-Verlag.) Heiz.- Lüft.- Haustechn., 19, 2. Düsseldorf.
- SMHI (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut) utger varje månad "Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång i Sverige". Häftena för ett år kan fås sammanhäftade i en Årsbok. Som supplement till Årsboken utges: "Measurements of solar radiation in Sweden."
- Spencer, J W, 1965, Estimation of Solar Radiation in Australasian Localities on Clear Days. (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia.) Division of Building Research Technical Paper No. 15. Melbourne.
- Stephenson, D. G, 1965, Equations for Solar Heat Gain through Windows. Solar Energy 9, nr 2.
- Svensk Byggekatalog, 1970. Stockholm.
- Södergren, D, 1969, Frånluftsfönster - Tekniska egenskaper under vinterhalvåret. VVS 40, nr 10. Stockholm.
- Södergren, D, & Boström, T, 1969, Solvärmeinläckning genom frånluftsfönster, VVS 40, nr 1. Stockholm.

- Taesler, R, 1972, Klimatdata för Sverige. (Statens institut för byggnadsforskning.) Stockholm.
- Taylor, A H & Kerr, G P, 1941, The distribution of energy in the visible spectrum of daylight. J.O.S.A., 31, 3.
- Threlkeld, J L & Jordan, R C, 1957, Direct Solar Radiation Available on Clear Days. Heating, Piping & Air Conditioning, dec., p. 135-145.
- Threlkeld, J L, 1962, Thermal Environmental Engineering. (Prentice-Hall, Inc.) Englewood Cliffs, N.J., USA.
- Valko, P, 1966, Die Himmelsstrahlung in ihrer Beziehung zu verschiedenen Parametern. (Springer-Verlag.) Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, Band 14, Heft 3-4. Wien.
- Westman, J, 1907, Mesures de l'intensité de la radiation solaire faites à Uppsala en 1901. Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 42, nr 6.
- Westman, J, 1920, Stärke der Sonnenstrahlung im Mittelschwedischen Ostseegebiet, März 1918 - Mai 1919. (Stat. Met.- Hydr. Anst.) Medd., Bd 1, nr 1.
- Yellott, J I, 1964, Selective reflectance - a new approach to solar heat control. ASHRAE Journal, 6,1. New York.
- Yellott, J I, 1965, Drapery Fabrics and their Effectiveness in Solar Heat Control. ASHRAE Transactions, vol. 71, part 1. New York.
- Ångström, A, 1958, Sveriges klimat. (Generalstabens Litografiska Anstalts Förlag.) Stockholm.

## DIAGRAM

## BILAGA I

- FIG. I:1 Solens läge i Stockholm 1 jan - 15 juni
- FIG. I:2 Solens läge i Stockholm 1 juli - 15 dec
- FIG. I:3 Solens läge i Göteborg 1 jan - 15 juni
- FIG. I:4 Solens läge i Göteborg 1 juli - 15 dec
- FIG. I:5 Solens läge i Malmö 1 jan - 15 juni
- FIG. I:6 Solens läge i Malmö 1 juli - 15 dec
- 
- FIG. I:7 Diagram för bestämning av vinkelkoefficienten för strålning mellan ett litet ytelement  $\Delta A_1$  och en mot  $\Delta A_1$  vinkelrät rektangel  $A_2$  med ett hörn beläget så att normalen genom hörnet träffar  $\Delta A_1$
- 
- FIG. I:8 Diagram för bestämning av vinkelkoefficienten för strålning mellan ett litet ytelement  $\Delta A_1$  och en med  $\Delta A_1$  parallell rektangel  $A_2$  med ett hörn på normalen genom  $\Delta A_1$
- 
- FIG. I:9 Diagram för bestämning av instrålning från sol och himmel klara dagar mot lutande ytor. Diagrammens användning beskrivs i 2.3
- 
- FIG. I:10 - I:28 Se separata diagram i omslagets ficka
- 
- FIG. I:10 Diagram för bestämning av direkt solstrålning klara dagar mot vertikal yta under sommarförhållanden (maj - sept). Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43
- 
- FIG. I:11 Diagram för bestämning av direkt solstrålning klara dagar mot vertikal yta under vinterförhållanden (okt - april). Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43

- FIG. I:12 Diagram för bestämning av himmelsstrålning klara dagar mot vertikal yta. Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43
- FIG. I:13 Diagram för bestämning av instrålningen klara dagar mot vertikal yta under sommarförhållanden (maj - sept) från sol, himmel och mark. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43
- FIG. I:14 Diagram för bestämning av instrålat värme från solen klara dagar sommartid (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas ("referensfönstret"). Enhet  $W/m^2$
- FIG. I:15 Diagram för bestämning av instrålat värme från solen klara dagar vintertid (okt - april) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas ("referensfönstret"). Enhet  $W/m^2$
- FIG. I:16 Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj - sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas ("referensfönstret"). Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$
- FIG. I:17 Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar vintertid (okt - april) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas ("referensfönstret"). Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$
- FIG. I:18 Horisontell skärm  
Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj-sept) genom ett vertikalt fön-



ster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut  $1/2$  fönsterhöjd och är placerad i fönstrets överkant. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:19 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut  $1/2$  fönsterhöjd och är placerad  $1/4$  fönsterhöjd ovanför fönstret. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:20 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut 1 fönsterhöjd och är placerad i fönstrets överkant. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:21 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut 1 fönsterhöjd och är placerad  $1/4$  fönsterhöjd ovanför fönstret. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:22 Vertikala skärmar

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj-sept) genom ett vertikalt fön-

ster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut  $1/2$  fönsterbredd och är placerade vid fönstrets kanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:23 Vertikala skärmar  
Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut  $1/2$  fönsterbredd och är placerade  $1/4$  fönsterbredd från fönstrets sidokanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:24 Vertikala skärmar  
Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut 1 fönsterbredd och är placerade vid fönstrets kanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:25 Vertikala skärmar  
Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut 1 fönsterbredd och är placerade  $1/4$  fönsterbredd från fönstrets sidokanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:26 Indraget fönster  
Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar som-

martid (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget  $1/5$  kantlängd samt försett med en karm med bredden  $1/20$  av kantlängden. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:27 Indraget fönster

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget  $1/2$  kantlängd samt försett med en karm med bredden  $1/20$  av kantlängden. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

FIG. I:28 Indraget fönster

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj-sept) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget  $1$  kantlängd samt försett med en karm med bredden  $1/20$  av kantlängden. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$

## CAPTIONS

- FIG. I:1 Position of the sun at Stockholm, 1 January-15 June
- FIG. I:2 Position of the sun at Stockholm, 1 July-15 December
- FIG. I:3 Position of the sun at Gothenburg, 1 January-15 June
- FIG. I:4 Position of the sun at Gothenburg, 1 July-15 December
- FIG. I:5 Position of the sun at Malmö, 1 January-15 June
- FIG. I:6 Position of the sun at Malmö, 1 July-15 December
- FIG. I:7 Diagram for determination of the view factor for radiation between a small surface element  $\Delta A_1$  and a rectangle  $A_2$  perpendicular to  $\Delta A_1$ , with one of its corners situated in such a way that the normal through the corner passes through  $\Delta A_1$
- FIG. I:8 Diagram for determination of the view factor for radiation between a small surface element  $\Delta A_1$  and a rectangle  $A_2$  parallel to  $\Delta A_1$ , with one of its corners situated on the normal through  $\Delta A_1$
- FIG. I:9 Diagram for determination of the irradiation from the sun and the sky on clear days onto inclined surfaces. The application of the diagram is described in 2.3
- FIG. I:10 Diagram for determination of the direct solar radiation on clear days onto vertical surfaces in summer conditions (May-Sept). The application of the diagram is described in 2.43

- FIG. I:11 Diagram for determination of the direct solar radiation on clear days onto vertical surfaces in winter conditions (Oct-April). The application of the diagram is described in 2.43
- FIG. I:12 Diagram for determination of the radiation from the sky on clear days onto vertical surfaces. The application of the diagram is described in 2.43
- FIG. I:13 Diagram for determination of the irradiation on clear days, from the sun, sky and the ground, onto vertical surfaces in summer conditions (May-Sept). Ground reflection 25%. The application of the diagram is described in 2.43
- FIG. I:14 Diagram for determination of the heat received by direct solar radiation through a vertical window with two panes of ordinary window glass (the "reference window") on clear days in the summer (May-Sept).
- FIG. I:15 Diagram for determination of the heat received by direct solar radiation through a vertical window with two panes of ordinary window glass (the "reference window") on clear days in the winter (Oct-April).
- FIG. I:16 Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground through a vertical window with two panes of ordinary window glass (the "reference window") on clear days in the summer (May-Sept). Ground reflection 25%.
- FIG. I:17 Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground through a vertical window with two panes of ordinary window glass (the "refe-

rence window") on clear days in the winter (Oct-April). Ground reflection 25%.

FIG. I:18 Horizontal screen.

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary windows glass with a horizontal screen above the window. The screen protrudes to a distance equivalent to  $1/2$  the height of the window and is placed at the top of the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:19 Horizontal screen

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Oct), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with a horizontal screen above the window. The screen protrudes to a distance equivalent to  $1/2$  the height of the window and is placed  $1/4$  window height above the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:20 Horizontal screen

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with horizontal screen above the window. The screen protrudes to a distance equivalent to the height of the window and is placed at the top of the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:21 Horizontal screen

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the

ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with a horizontal screen above the window. The screen protrudes to a distance equivalent to the height of the window and is placed  $1/4$  window height above the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:22 Vertical screens

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with vertical screens at the sides of the window. The screens protrude to a distance equivalent to  $1/2$  the width of the window and are placed at the edges of the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:23 Vertical screens

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with vertical screens at the sides of the window. The screens protrude to a distance equivalent to  $1/2$  the width of the window and are placed at  $1/4$  window width from the side edges of the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:24 Vertical screens

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with vertical screens at the sides of the window. The screens protrude to a distance equivalent to the width

of the window and are placed at the edges of the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:25 Vertical screens

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass with vertical screens at the sides of the window. The screen protrude to a distance equivalent to the width of the window and are placed at  $1/4$  window width from the side edges of the window. Ground reflection 25%.

FIG. I:26 Recessed window

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass. The window is square in shape and recessed to a distance of  $1/5$  the length of the sides, and is provided with a frame with a width equivalent to  $1/20$  of the length of the sides. Ground reflection 25%.

FIG. I:27 Recessed window

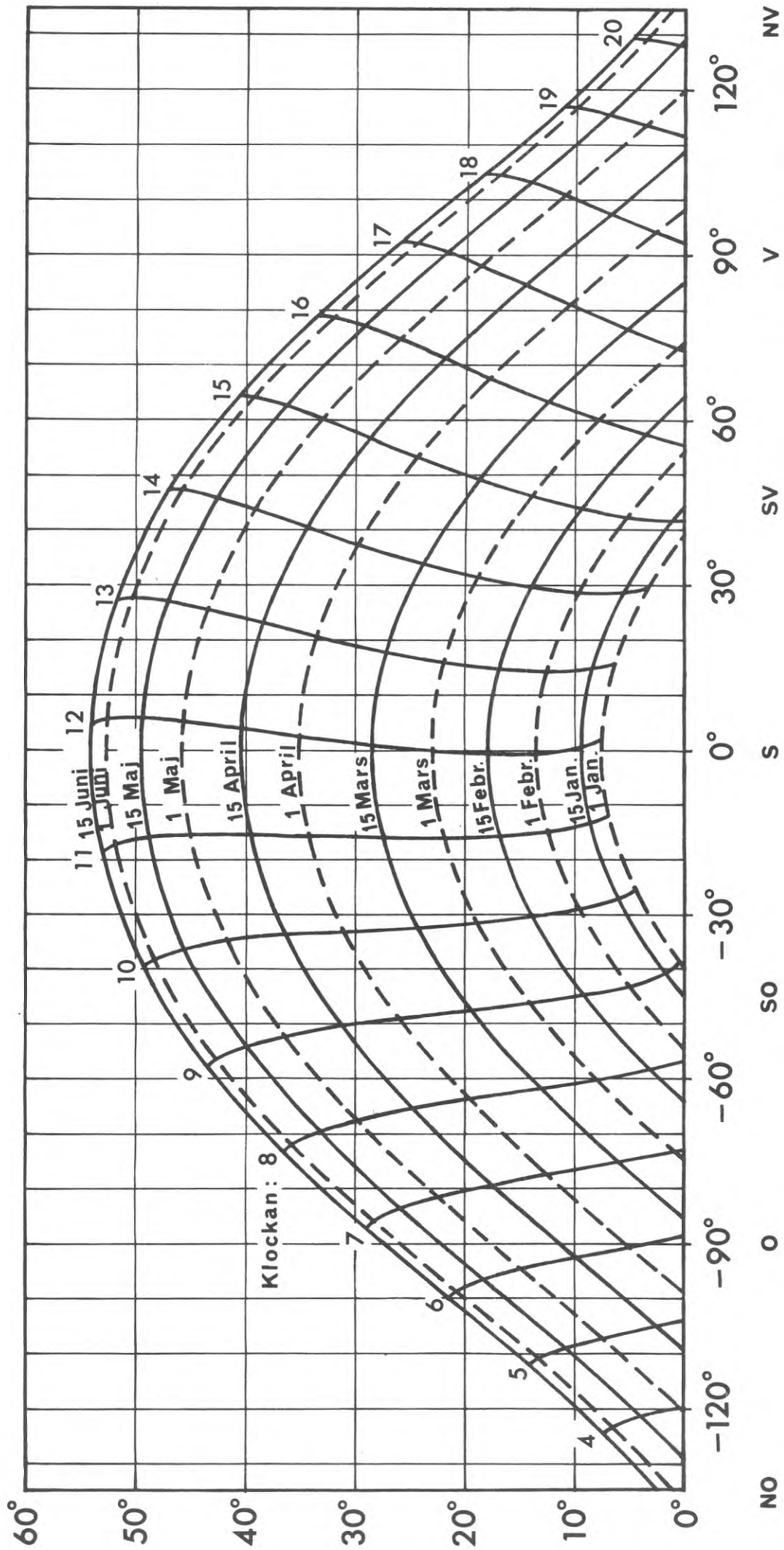
Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass. The window is square in shape and recessed to a distance of  $1/2$  the length of the sides, and is provided with a frame with a width equivalent to  $1/20$  of the length of the sides. Ground reflection 25%.



## FIG. 1:28 Recessed window

Diagram for determination of the heat received by radiation from the sun, sky and the ground, on clear days in the summer (May-Sept), through a vertical window with two panes of ordinary window glass. The window is square in shape and recessed to a distance equivalent to the length of the sides, and is provided with a frame with its width  $1/20$  the length of the sides. Ground reflection 25%.

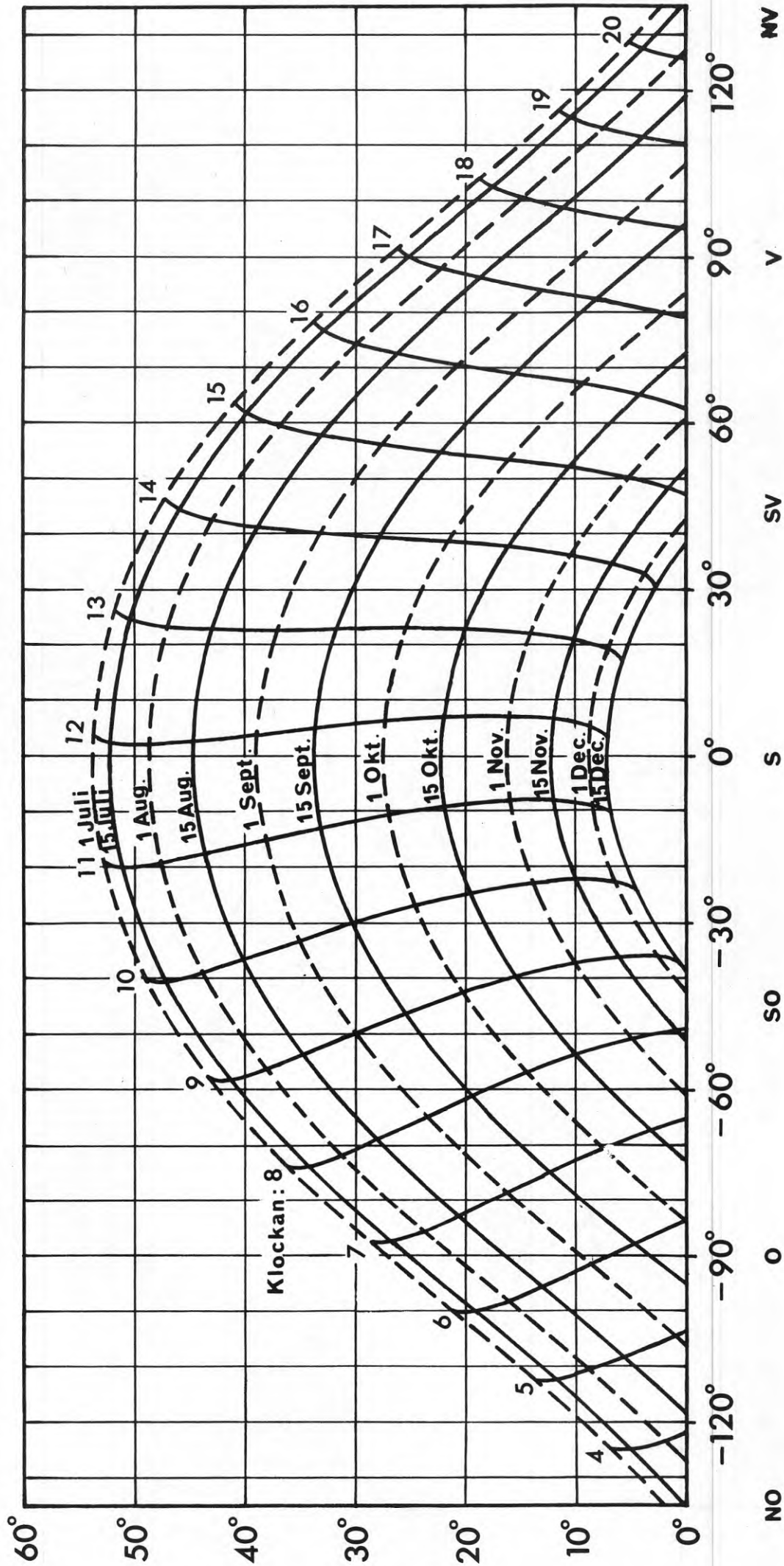
SOLHÖJD h



SOLAZIMUT a

FIG. I:1 Solens läge i Stockholm 1 jan - 15 juni

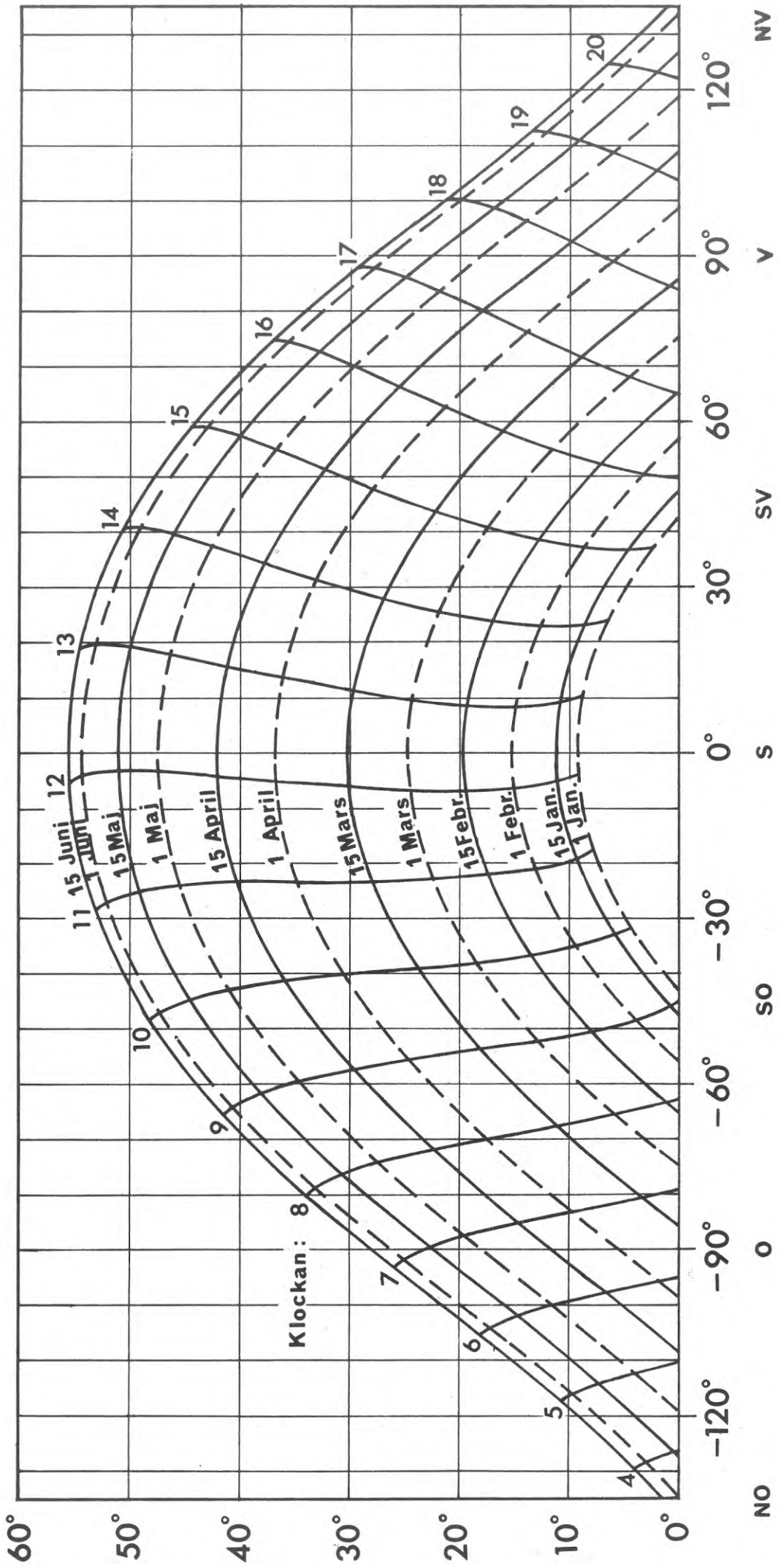
SOLHÖJD h



SOLAZIMUT a

FIG. I:2 Solens läge i Stockholm 1 juli - 15 dec

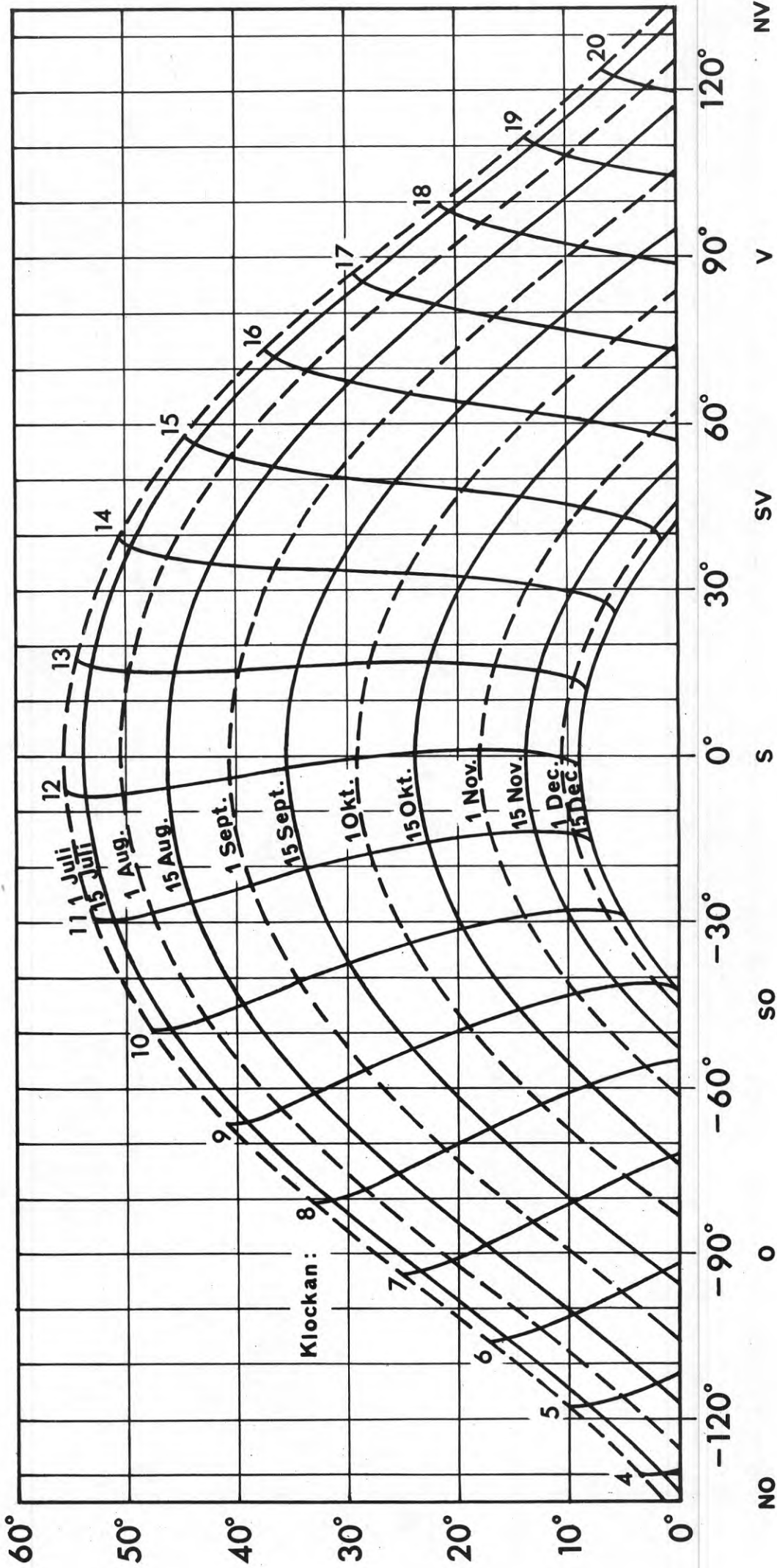
SOLHÖJD h



SOLAZIMUT a

FIG. I:3 Solens läge i Göteborg 1 jan - 15 juni

SOLHÖJD h



SOLAZIMUT a

FIG. I:4 Solens läge i Göteborg 1 juli - 15 dec

SOLHÖJD h

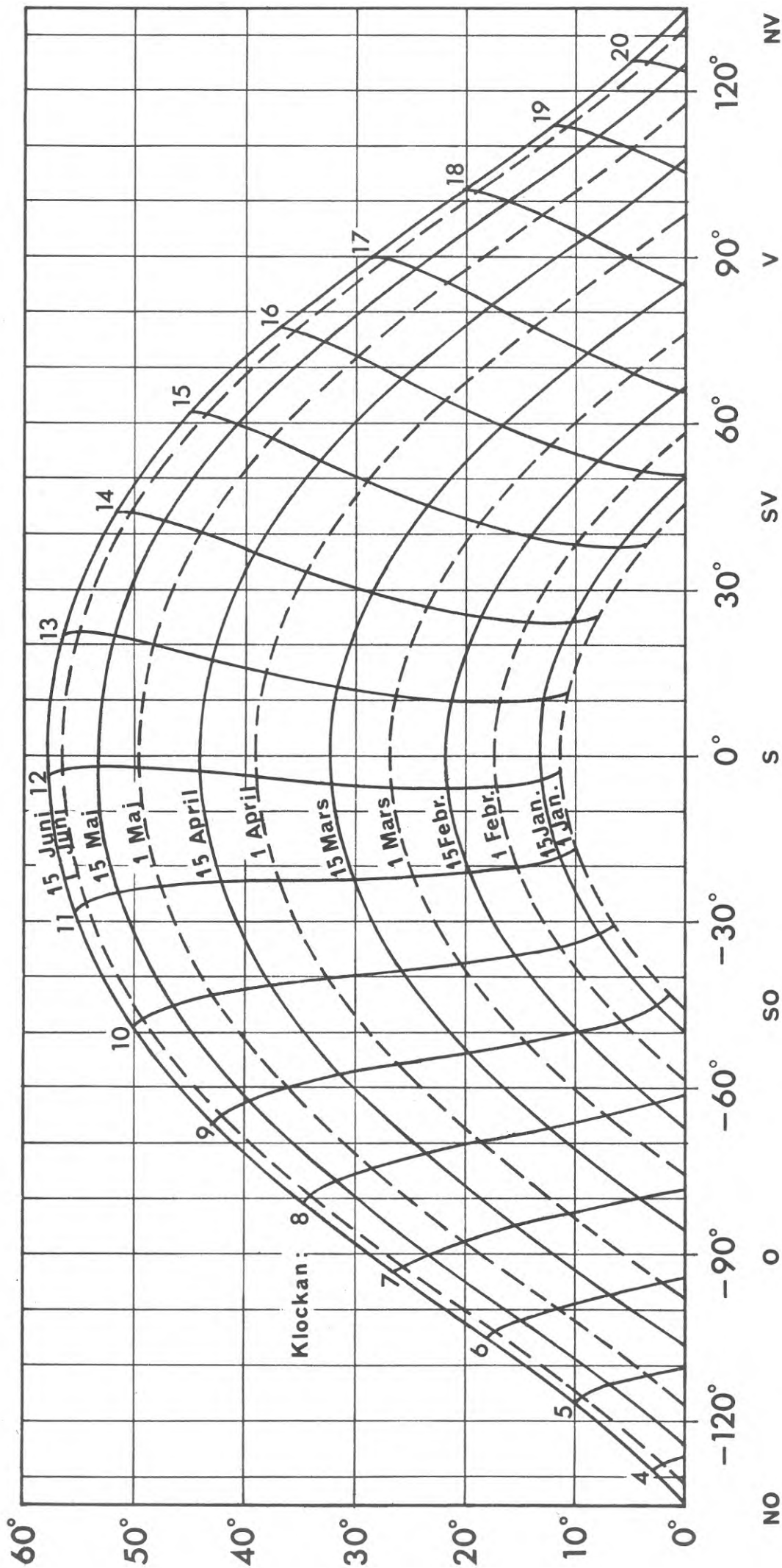
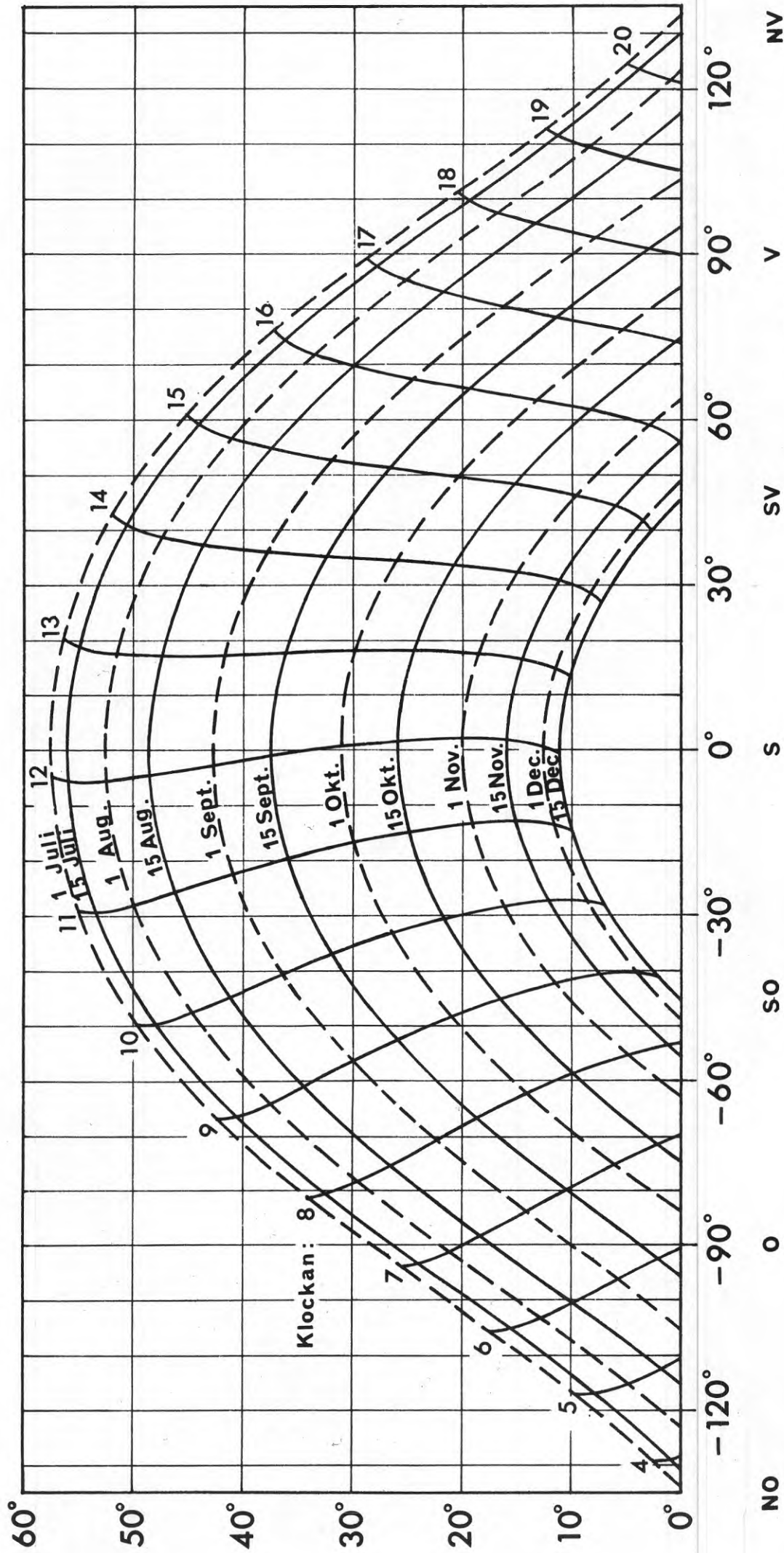


FIG. I:5 Solens läge i Malmö 1 jan - 15 juni

SOLHÖJD h



SOLAZIMUT a

FIG. I:6 Solens läge i Malmö 1 Juli - 15 dec

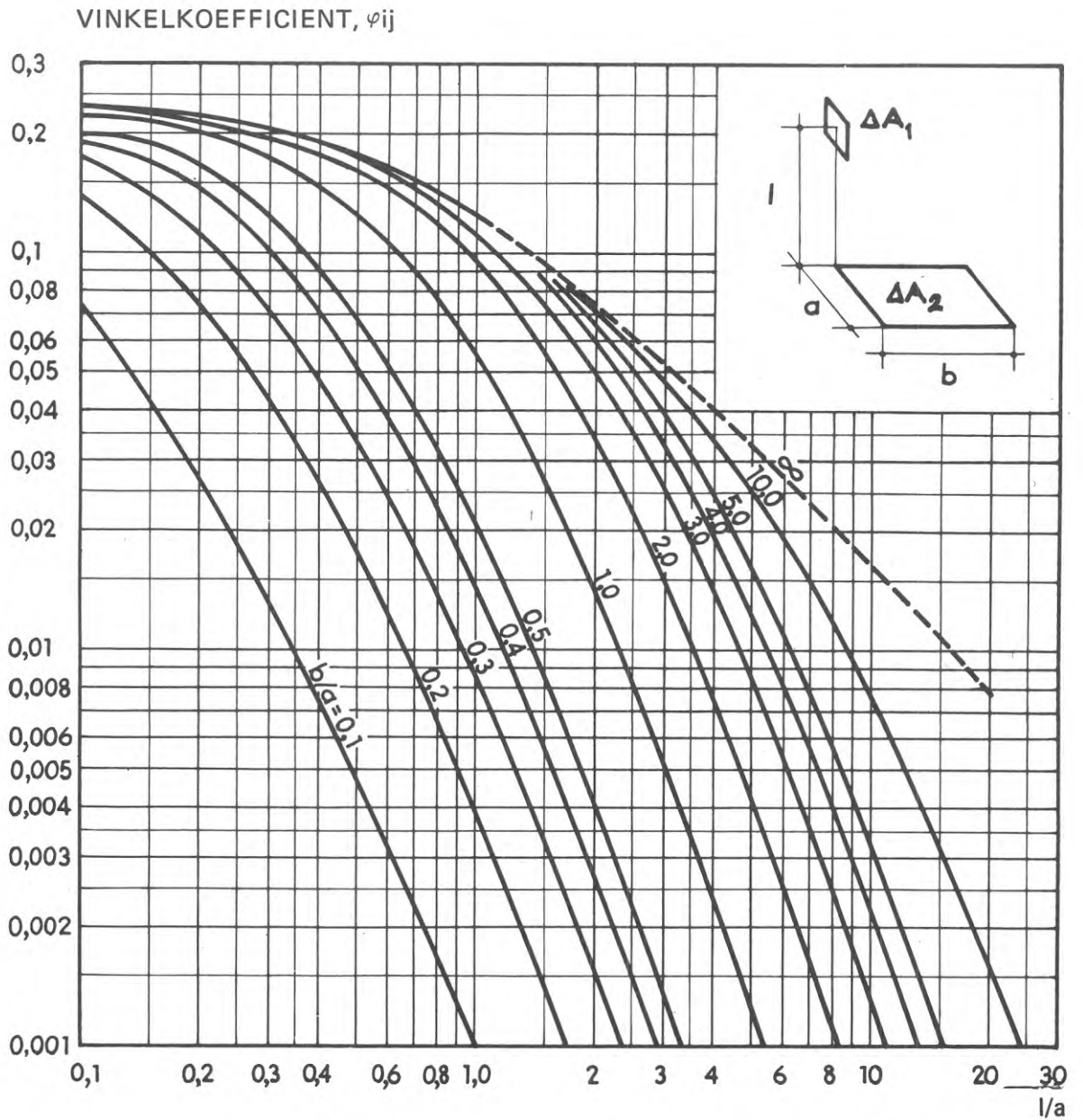


FIG. I:7 Diagram för bestämning av vinkelkoefficienten för strålning mellan ett litet ytelement  $\Delta A_1$  och en mot  $\Delta A_1$  vinkelrät rektangel  $A_2$  med ett hörn beläget så att normalen genom hörnet träffar  $\Delta A_1$



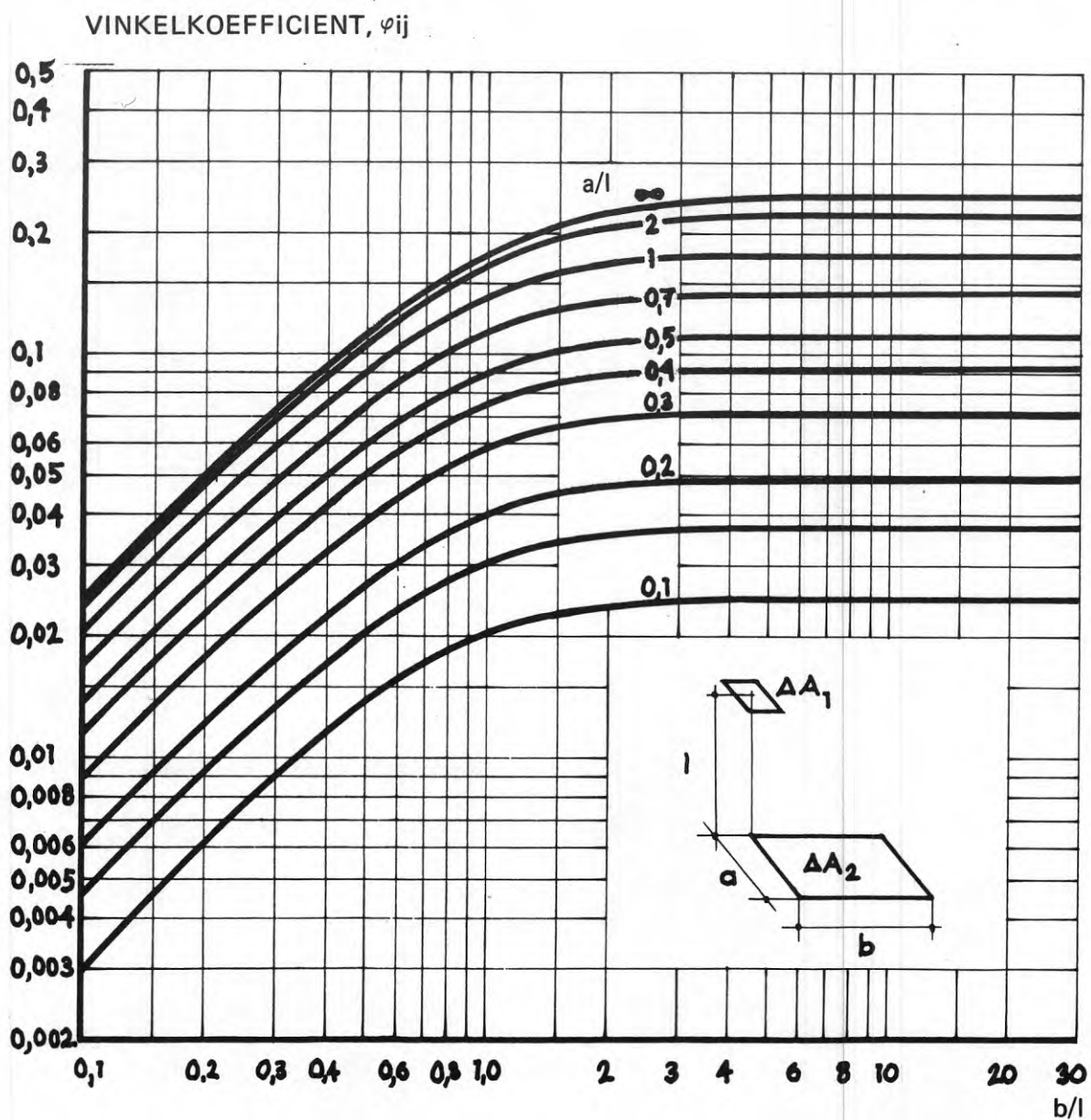


FIG. I:8 Diagram för bestämning av vinkelkoefficienten för strålning mellan ett litet ytelement  $\Delta A_1$  och en med  $\Delta A_1$  parallell rektangel  $\Delta A_2$  med ett hörn på normalen genom  $\Delta A_1$ .

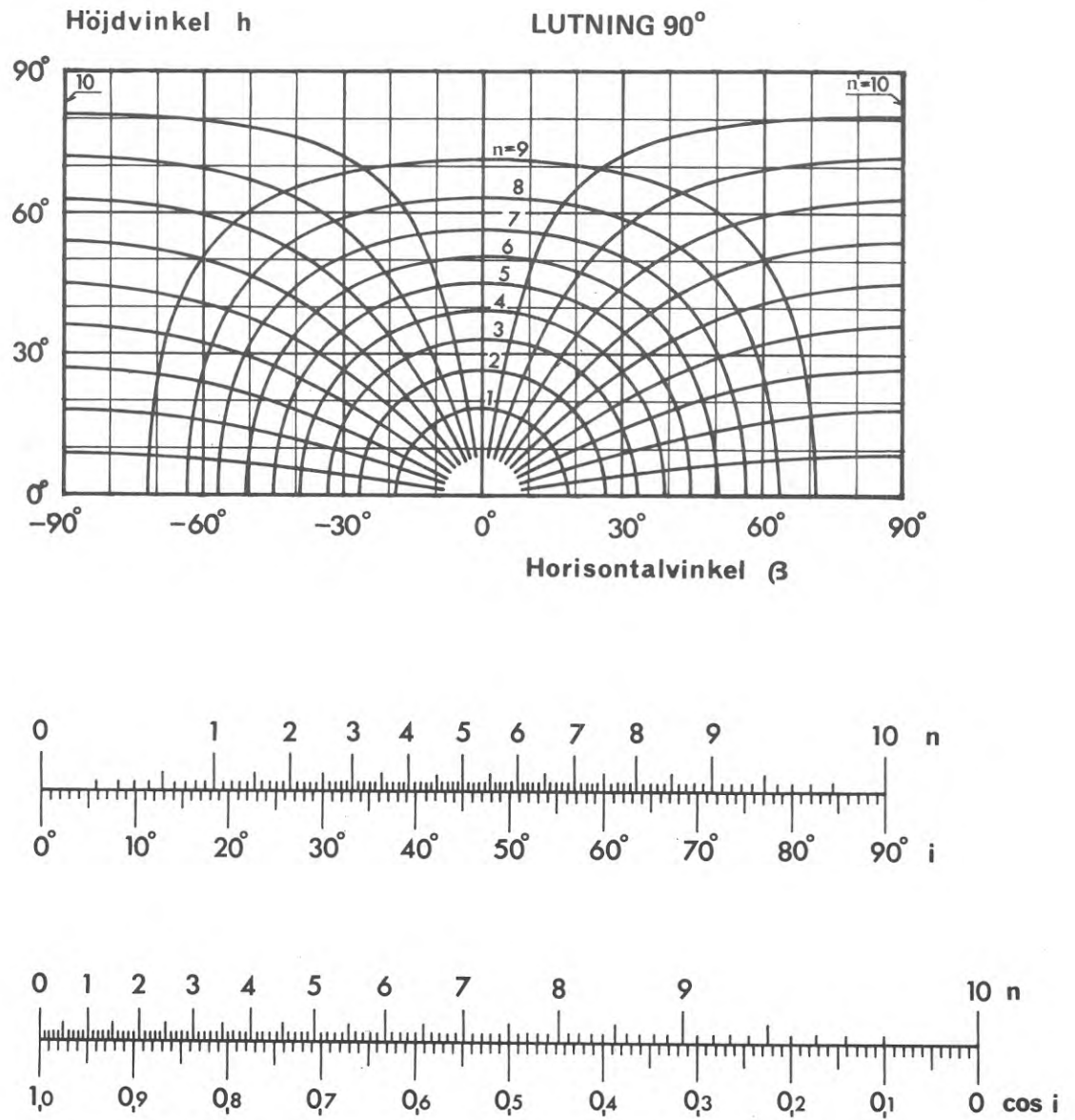


FIG. I:9 Diagram för bestämning av instrålning från sol och himmel klara dagar mot lutande ytor. Diagrammens användning beskrivs i 2.3

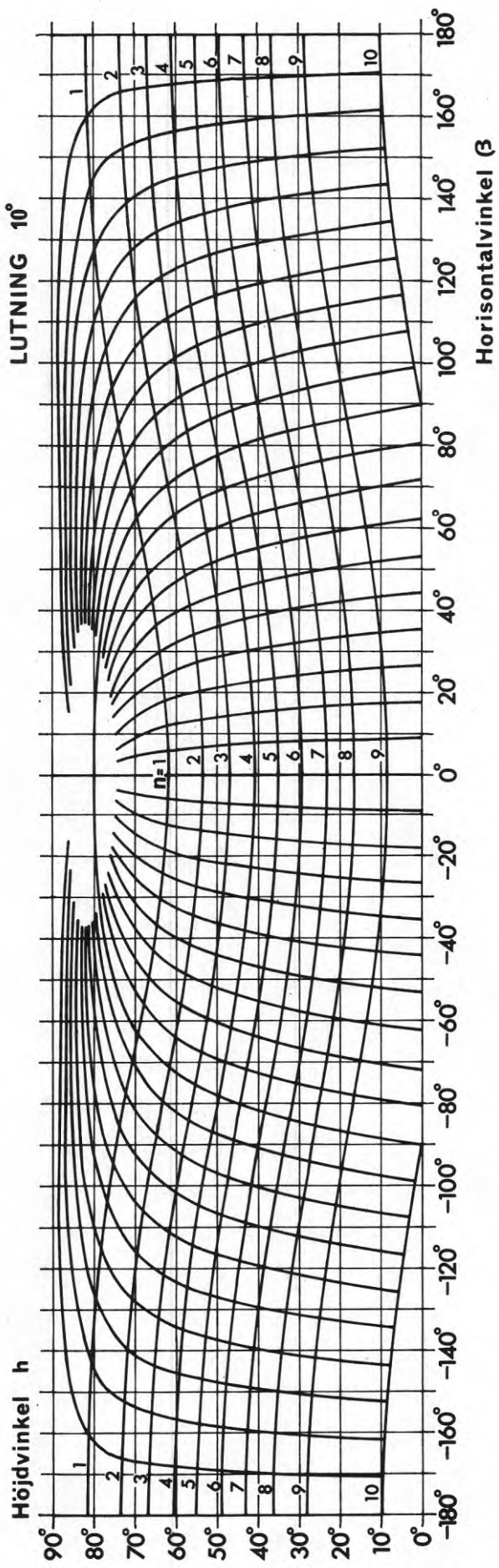


FIG. I:9 Forts.

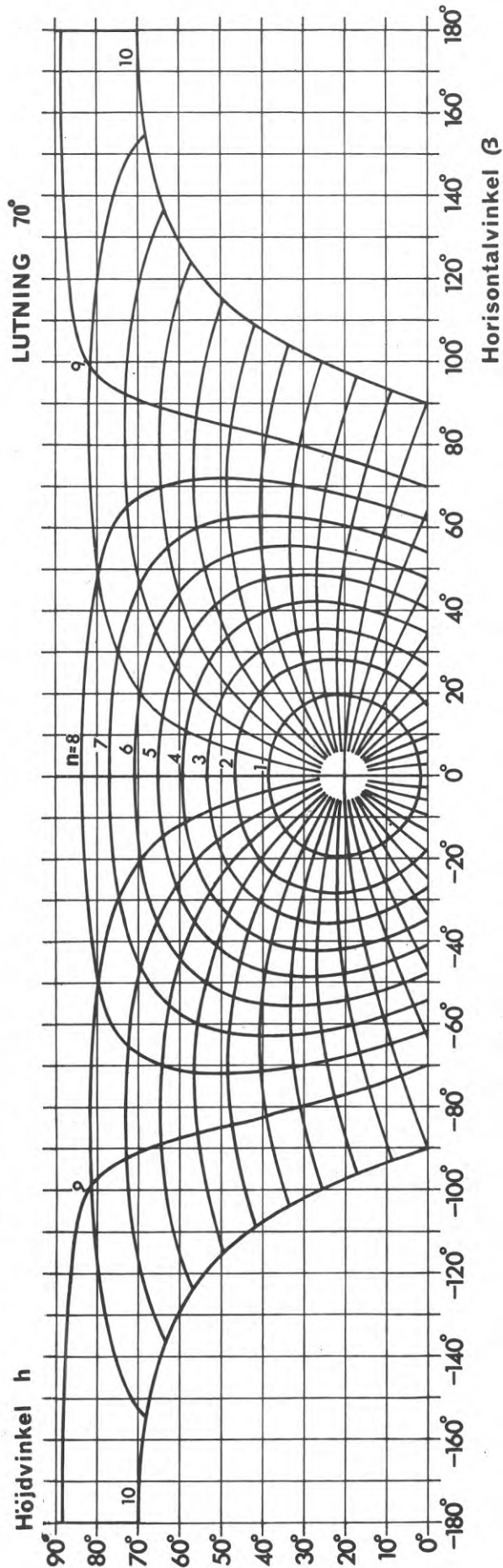
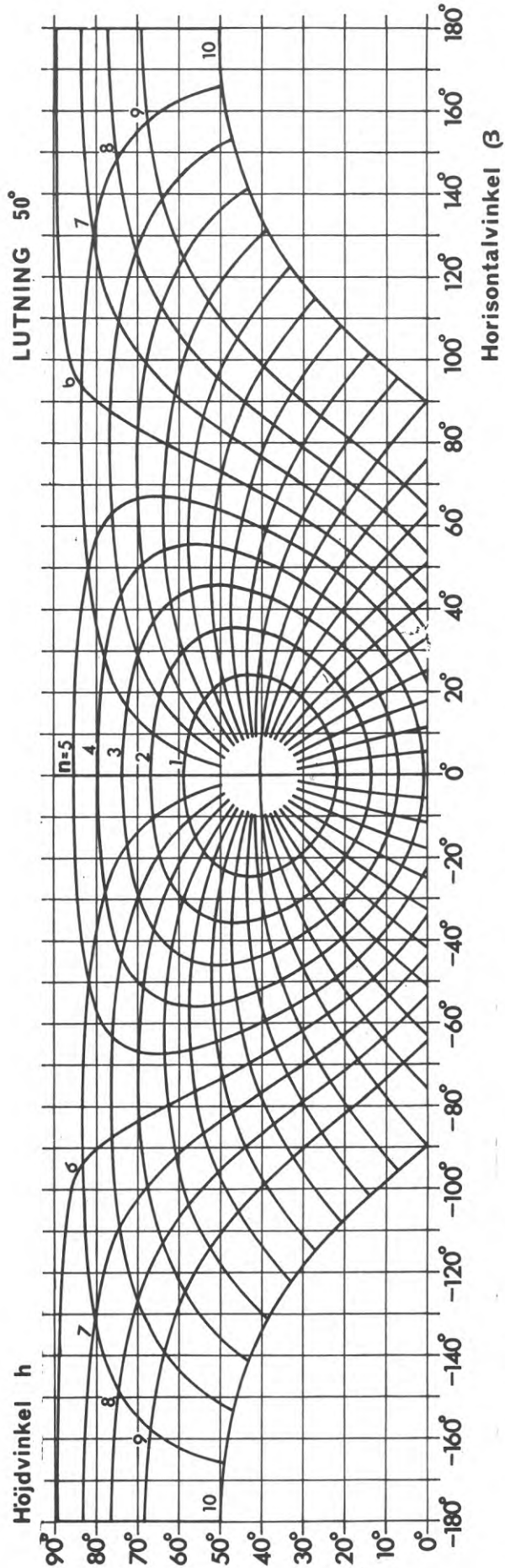


FIG. I:9 Forts.

## TABELLER

## BILAGA II

- TAB. II:1 Himmelsstrålning mot horisontell yta vid fri horisont,  $I_{dH}$ , direkt solstrålning mot yta vinkelrätt mot strålningsriktningen,  $I_{DN}$  och mot horisontell yta,  $I_{DH}$ , samt globalstrålning  $I_H = I_{dH} + I_{DH}$ , som funktion av solhöjden  $h^{\circ}$ . Måttenhet  $W/m^2$ .
- TAB. II:2 Instrålning per dygn från sol och himmel mot horisontell yta vid klar himmel och fri horisont på latituderna  $54-68^{\circ}N$ , den 15 i varje månad. Måttenhet  $Wh/m^2$  dygn.
- TAB. II:3 Instrålning i Stockholm från jämnt lysande himmel med genomsnittlig molnighet genom vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas, från solens uppgång fram till angivet klockslag (normaltid), den 15 i var och en av månaderna mars-oktober, i procent av dygnssumman instrålad energi, som också anges i tabellen. I dygnssumman,  $\bar{I}_h$   $Wh/m^2$ , har markreflexionen inräknats vid 25 % reflexionsfaktor hos markytan.
- TAB. II:4 Avskärmningsfaktorer  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  och värmege-nomgångstal  $k$  för olika fönsterkombinationer.  $F_1$  betyder totalt transmitterad strålnings-energi och  $F_2$  direkt transmitterad strålnings-energi genom ett fönster i förhållande till totalt transmitterad strålningsenergi genom ett referensfönster bestående av två rutor av vanligt fönsterglas utsatt för samma strålning från sol och himmel. Ur strålningen ge-nom referensfönstret, som erhålles ur tabeller eller diagram, får man också fönstrets lumi-nans i lumen/ $m^2$  genom multiplikation med  $F_3$  och en ljusutbytesfaktor, vars värde är ca 100 lm/W.

forts.

Värdena för olika fabrikat av specialglas avser fabrikantens isolerglasutförande.

Värdena för plastfilmer har valts med utgångspunkt från jämna värden på filmens ljustransmission. Enligt de mätdata som finns tillgängliga i broschyrmaterial och som avser filmer med inbakat aluminiumpulver tycks ljustransmissionen vara c:a 16% högre än direkttransmissionen inom hela solspektrum. Ur samma material kan man utläsa att absorptionen hos en glasruta med film är relativt konstant, c:a 25% inom ett relativt stort område (endast transmission och reflexion påverkas av mängden inblandat aluminiumpulver). Dessa förutsättningar ligger till grund för de i tabellen angivna beräknade värdena.

Utvecklingen går för närvarande snabbt när det gäller filmer. Olika material prövas och man kan förvänta sig att filmer med mera gynnsamma proportioner mellan ljus och värme kommer fram.

För andra typer av specialglas och beläggningar än de i tabellen angivna hänvisas till FIG. 6.25 a och b.

k-värdena gäller glasdelen vid solbelyst fönster och sommartemperatur.

Värden för fönster med persienn vid andra lamellutningsvinklar än  $45^{\circ}$  ges i FIG. 6.32a-g. I tabellen är a lamellytornas absorptionsfaktor för solstrålning.

De valda gardinerna representerar mitten på de olika klasserna enligt den amerikanska klassificering som redovisas i FIG. 6.41b. För andra vävtyper hänvisas till FIG. 6.42a, b och c.

## CAPTIONS

- TAB. II:1 Radiation from the sky onto a horizontal surface when the horizon is unobstructed,  $I_{dH}$ , direct solar radiation onto a surface perpendicular to the direction of radiation,  $I_{DN}$ , and onto a horizontal surface,  $I_{DH}$ , and the global radiation  $I_H = I_{dH} + I_{DH}$ , as functions of the solar altitude  $h$ . The units are  $W/m^2$ .
- TAB. II:2 Irradiation per day from the sun and the sky onto a horizontal surface when the sky is clear and the horizon unobstructed, at the latitudes of  $54-68^\circ N$ , on the 15th of each month. The units are  $Wh/m^2$  day.
- TAB. II:3 Irradiation in Stockholm from a uniformly luminous sky with average cloud cover, through a vertical window with two panes of ordinary window glass, from sunrise to the time shown (normal time), on the 15th of each month from March to October, as a percentage of the total daily energy received by radiation which is also given in the table. The daily total,  $\bar{I}_h$   $Wh/m^2$ , comprises the ground reflection calculated on the basis of a ground reflectance of 25% of the ground surface.
- TAB. II:4 Shading coefficients  $F_1$ ,  $F_2$  and  $F_3$ , and overall heat transfer coefficients (U-values) for different window combinations.
- $F_1$  denotes the ratio of totally transmitted solar radiant energy through a window, while  $F_2$  is the ratio of directly transmitted solar radiant energy through that window, to the totally transmitted energy through a reference window with double glazing of ordinary window glass exposed

to an equal amount of radiation from sun and sky. From the radiation values for the reference window, given in tables or diagrams, it is also possible to get the luminance of the window in lumens/m<sup>2</sup> by multiplying by  $F_3$  and a luminous efficiency factor, the value of which is approximately 100 lm/W.

The values obtained for different makes of special glass refer to the insulating glass grades produced by these manufacturers.

The values for plastic films have been chosen on the basis of even values of the light transmission of the film. According to the measurement data given in leaflets on the subject of films containing pulverized aluminium, the level of light transmission would seem to be approximately 16% higher than the direct transmission occurring in the solar spectrum as a whole. This material will also tell us that the absorption of a pane of glass with a coating of plastic film is relatively constant, i.e. approximately 25% within a fairly wide range (only transmission and reflexion are affected by the amount of pulverized aluminium present). These data were used as a basis for the calculated values given in the table.

Rapid progress is being made in the field of film. Different materials are being tested and the introduction of films with more favourable proportions of light and heat is to be expected.

Reference should be made to FIG. 6.25 a and b for types of special glass and coatings other than those listed in the table. The U-values refer to the glazed portions of windows exposed to sunshine in summer.

The values for windows fitted with Venetian blinds where the slats are at angles other



than  $45^{\circ}$  are given in FIG. 6.32 a-g. a in the table represents the absorbtance of the surfaces of the slats for solar radiation.

The curtains chosen represent the average for the different classes according to the American system of classification illustrated in FIG. 6.41 b. Reference should be made to FIG. 6.42 a, b and c in respect of other types of fabric.

TAB. II:1.

Sol- höjd	Genom- snittlig molnig- het		Klar himmel					
			Sommar			Vinter		
			Maj-september			Oktober-april		
h	$I_{dH}$	$I_{dH}$	$I_{DN}$	$I_{DH}$	$I_H$	$I_{DN}$	$I_{DH}$	$I_H$
2	9	8	174	6	14	200	7	15
4	17	17	300	21	38	343	24	41
6	26	27	391	41	68	447	47	73
8	34	36	459	64	100	523	73	109
10	42	44	514	89	133	584	101	146
12	51	51	561	117	167	635	132	183
14	59	57	605	146	203	681	165	221
16	67	62	647	178	240	721	199	261
18	75	67	683	211	279	753	233	300
20	84	72	713	244	316	779	266	338
22	91	76	739	277	353	801	300	376
24	99	80	761	310	389	819	333	413
26	107	83	780	342	425	835	366	449
28	115	86	797	374	460	849	399	484
30	122	88	811	406	494	861	431	519
32	129	91	824	437	528	872	462	553
34	137	93	835	467	560	881	493	586
36	144	95	846	497	592	890	523	618
38	150	97	855	526	623	897	552	649
40	157	98	863	555	652	904	581	679
42	163	100	870	582	682	910	609	709
44	170	101	877	609	710	916	636	737
46	176	102	883	635	737	921	662	764
48	181	103	888	660	763	925	687	790
50	187	103	893	684	788	929	712	815
52	192	104	898	708	812	933	735	839
54	198	105	902	730	835	936	757	863
56	202	106	906	751	857	939	779	885
58	207	107	909	771	878	942	799	906
60	212	107	912	790	897	944	818	925

Latitud o N	Månad												Medel- värde
	Jan	Febr	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	
54	1120	2350	4140	6370	7810	8690	8330	6890	4840	3030	1470	850	4660
56	890	2080	3890	6180	7710	8640	8260	6740	4610	2760	1220	650	4470
58	670	1810	3630	5990	7600	8590	8190	6580	4370	2490	990	460	4280
60	480	1550	3360	5790	7490	8550	8120	6420	4130	2220	760	290	4100
62	310	1290	3090	5580	7380	8500	8040	6250	3890	1950	560	150	3920
64	160	1050	2820	5370	7270	8470	7980	6080	3630	1680	370	60	3750
66	60	810	2540	5150	7160	8450	7920	5910	3380	1410	220	10	3590
68	10	590	2260	4920	7060	8480	7880	5730	3110	1150	100	0	3440

TAB. II:3.

Kl	Mars	April	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	2	3	2	1	0	0
6	0	2	5	7	5	3	1	0
7	1	6	10	11	10	7	4	1
8	6	12	16	18	16	14	10	5
9	14	21	24	25	24	21	19	14
10	25	30	33	34	32	31	29	27
11	37	41	43	43	41	41	41	41
12	51	52	53	52	51	51	53	57
13	64	63	62	61	60	62	66	71
14	76	74	72	70	70	72	77	84
15	87	83	80	78	78	81	86	94
16	95	90	87	85	85	88	94	99
17	99	96	93	91	91	94	98	100
18	100	99	97	95	95	98	100	100
19	100	100	99	98	98	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100
$\overline{I_h}$	360	590	780	890	840	680	460	250

TAB. II:4

	F <sub>1</sub> %	F <sub>2</sub> %	F <sub>3</sub> %	k W/m <sup>2</sup> ,°C
<i>Fönster med vanligt fönsterglas</i>				
(T <sub>N</sub> =0,86) en ruta	112	109	114	5,9
två rutor	100	93	103	3,1
tre rutor	91	80	93	2,1
 <i>Tvåglasfönster med en ruta av klart fönsterglas på insidan, specialglas enligt nedan på utsidan</i>				
Värmeabsorberande glas:				
Pilkington 6 mm				
Spectrafloat brons	71	57	53	3,1
Antisun grön	62	46	80	3,1
Antisun grå	61	44	44	3,1
Antisun brons	61	44	55	3,1
Calorex	39	20	53	3,1
Glaverbel 6 mm grått	61	46	50	3,1
brons	65	50	59	3,1
grönt	65	50	71	3,1
 Glas med metallbeläggningar:				
LVR	41	28	32	2,6
Solarpane	47	32	35	2,7
kopparbelagda glas	25-37	17-25	28-43	1,9
Stopray guld	39	32	48	2,1
Stopray blågrå	44	38	63	2,1
Stopray purpur	39	32	53	2,1

forts.

TAB. II:4 forts.

	F <sub>1</sub> %	F <sub>2</sub> %	F <sub>3</sub> %	k W/m <sup>2</sup> , °C
<i>Aluminiserad plastfilm på tvåglasfönster med rutor av vanligt fönster- glas</i>				
Filmen på det yttre gla- sets insida. Ljustrans- mission hos film + ytter- glas % = 20	26	19	23	2,9
40	46	38	46	2,9
60	65	56	68	2,9
Filmen på det inre gla- sets insida. Ljustrans- mission hos film + inre glas % = 20	41	19	23	3,0
40	59	38	46	3,0
60	77	56	68	3,0
<i>Persienn i tvåglasfönster med rutor av vanligt fönst- terglas, lamellutning 45°</i>				
Utvändigt:				
vit a=0,25	17	12		3,1
medium a=0,4	14	8		3,1
mörk a=0,75	11	2		3,1
Mellan glaset:				
vit	37	17		2,6
medium	39	11		2,6
mörk	44	3		2,6
Invändigt:				
vit	59	20		3,1
medium	65	14		3,1
mörk	77	3		3,1

forts.

TAB. II:4 forts.

		F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	k
		%	%	%	W/m <sup>2</sup> , °C
<i>Persienn i treglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas, lamellutning 45°</i>					
Utvändigt:	vit	14	10		2,1
	medium	11	6		2,1
	mörk	8	2		2,1
Mellan de yttre glasen:	vit	29	13		1,4
	medium	30	9		1,4
	mörk	31	3		1,4
Mellan de inre glasen:	vit	45	16		1,4
	medium	48	11		1,4
	medium frånlufts- fönster	20-25	11		0,6
	mörk	56	3		1,4
Invändigt:	vit	61	19		2,1
	medium	66	13		2,1
	mörk	76	4		2,1
 <i>Gardin mellan två rutor av vanligt fönsterglas</i>					
<i>Vävens egenskaper</i>					
Tät:	ljus	31	17		2,3
	medelmörk	40	10		2,3
	mörk	46	4		2,3
Medeltät:	ljus	49	40		2,3
	medelmörk	50	26		2,3
	mörk	54	16		2,3
Gles:	ljus	62	54		2,3
	medelmörk	62	43		2,3
	mörk	63	33		2,3

forts.

TAB. II:4 forts.

	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	k
	%	%	%	W/m <sup>2</sup> , °C
<i>Gardin innanför två rutor av vanligt fönsterglas</i>				
Vävens egenskaper				
Tät:	ljus	44	19	2,6
	medelmörk	59	11	2,6
	mörk	70	5	2,6
Medeltät:	ljus	60	44	2,6
	medelmörk	67	30	2,6
	mörk	77	17	2,6
Gles:	ljus	71	60	2,6
	medelmörk	75	48	2,6
	mörk	82	37	2,6



## DATORPROGRAM

## BILAGA III

- BIL. III:1 Program för beräkning av solens läge samt solinstrålningen mot vertikala och horisontella ytor.
- BIL. III:2 Program för beräkning av vandrande skuggor på en vertikal fasad.
- BIL. III:3 Program för beräkning av avskärningsfaktorer för godtyckliga kombinationer av glas och solskydd.
- BIL. III:4 Program för beräkning av temperaturförhållanden i frånluftsfönster.

## CAPTIONS

- APP. III:1 Program for calculation of the position of the sun and solar radiation on vertical and horizontal surfaces.
- APP. III:2 Program for calculation of the effect of moving shadows on a vertical facade.
- APP. III:3 Program for calculating the shading coefficients for arbitrary combinations of glass and sunshade.
- APP. III:4 Program for calculation of the temperature conditions in exhaust air windows.

BIL. III:1 Program för beräkning av solens läge samt solinstrålningen mot vertikala och horisontella ytor

Sol- och himmelsstrålningens intensitet beräknas enligt värdena i TAB. 1.25a för klart väder. Himmelsstrålningens vertikala komponent beräknas med hänsyn till solens läge, se FIG. 2.42a. Markreflekterad strålning beräknas för en oändligt utbredd diffust reflekterande markyta.

Data:

Latitud, grader

(positiv på norra halvklotet,  
negativ på södra)

datum

(ex 23 juni stansas 23.06)

Markytans reflexionsfaktor

Som resultat erhålles en tabell över solens läge och instrålningen timme för timme för var 15:e grads orientering.

Exempel:

LATITUD 68 GRADER

JUNI	KL	SÖDER			SV (SÖ)			VÄSTER (ÖSTER)			NV (NO)			NORR			MOR.	KL	SOLENS ASIMUT	HOJD
		V=0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	YTA					
0(24)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0(24)	180.0	1.3	
1(23)	0	0	0	0	0	0	0	0	10	50	90	130	160	180	10	1(23)	-166.2	2.0		
2(22)	10	10	10	10	10	10	10	10	20	100	170	240	280	30	2(22)	-152.6	4.0			
3(21)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	60	170	270	360	80	3(21)	-139.1	7.1		
4(20)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	100	240	370	150	4(20)	-125.8	11.2		
5(19)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	60	150	310	240	5(19)	-112.6	16.1		
6(18)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	80	190	340	6(18)	-99.2	21.5		
7(17)	160	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	440	7(17)	-85.4	27.1		
8(16)	360	170	110	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	530	8(16)	-70.8	32.6		
9(15)	540	370	190	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	610	9(15)	-55.1	37.6		
10(14)	680	550	390	220	130	120	120	120	120	120	120	120	120	120	670	10(14)	-37.9	41.7		
11(13)	780	690	590	430	250	140	130	130	130	130	130	130	130	130	710	11(13)	-19.4	44.4		
12(12)	810	780	720	610	470	310	140	130	130	130	130	130	130	130	720	12(12)	0.0	45.3		
13(11)	780	810	800	750	650	520	360	190	130	130	130	130	130	130	710	13(11)	19.4	44.4		
14(10)	680	780	830	830	780	690	560	400	230	130	120	120	120	120	670	14(10)	37.9	41.7		
15(9)	540	680	780	840	850	810	720	590	430	250	120	120	120	120	610	15(9)	55.1	37.6		
16(8)	360	530	680	790	850	860	820	730	600	430	250	110	100	530	16(8)	70.8	32.6			
17(7)	160	350	520	670	780	840	850	810	720	580	420	230	90	440	17(7)	85.4	27.1			
18(6)	70	150	340	500	640	750	800	810	760	670	540	370	190	340	18(6)	99.2	21.5			
19(5)	50	60	140	310	460	590	680	720	720	680	590	460	310	240	19(5)	112.6	16.1			
20(4)	40	40	40	130	270	400	500	570	610	600	560	480	370	150	20(4)	125.8	11.2			
21(3)	20	20	20	20	110	220	320	400	450	470	430	360	280	80	21(3)	139.1	7.1			
22(2)	10	10	10	10	10	70	150	220	270	300	320	310	280	30	22(2)	152.6	4.0			
23(1)	0	0	0	0	0	0	40	90	130	150	170	180	180	10	23(1)	166.2	2.0			
ÖYGNSSUMMA =	6310	6370	6520	6710	6860	6930	6820	6560	6160	5710	5290	5000	4890	8470						
VID 5 GR SKARM =	6300	6360	6510	6700	6850	6870	6670	6290	5730	5100	4550	4170	4040	8430						
10 GR SKARM =	6270	6330	6470	6650	6690	6560	6220	5730	5090	4380	3690	3220	3060	8260						

BIL. III:2 Program för beräkning av vandrande skuggor på en vertikal fasad

Programmet delar in den betraktade fasaden i ett rutnät med 1 m maskvidd. Vid jämna klockslag (sann soltid) undersöks för varje ruta om någon av de förekommande "skärmarna" ger skugga. En skuggad ruta markeras på radskrivaren med en asterisk (x) och en solbelyst med blank.

Data:

NY FASAD: Fasadorientering, grader   
 (räknas från söder positiv  
 mot väster)

Referensnivåns plushöjd, m   
 (marknivå)

Fasadens höjd, m  (heltal)  
 (från marknivå)

Fasadens bredd, m  (heltal)

För var och en av skärmarna med beteckningen enligt FIG. 2.61a-d (Z betecknar plushöjd).

$M_1$	$M_2$	L	Z	$\beta'$

100 000

avslutar skärmdata

Programmet i dess nuvarande skick beräknar ej solens läge. Värdena på solasimut och solhöjd ges som data från ett önskat klockslag fram till kl 12 på dagen. (Vid sann soltid råder symmetri kring kl 12.)

forts.

BIL. III:2 forts.

NY DAG: Datum (återges i resultatutskriften. Stansas med decimalpunkt, t ex 15.04)

Det klockslag för vilket det först angivna solläget nedan gäller

(heltal)

Parvis: solens asimut och höjd med början vid ovan angivna klockslag fram till kl 12, grader

-1

ger återhopp till NY DAG

-1

ger återhopp till NY FASAD

1000

slutsignal

Exempel:

FASADDATA:  
V=-93.5 ZQ= 16.4 H5JD= 15 RREDD= 49

NR	M1	M2	L	Z	BETA PRIM
1	-1000.0	-14.6	23.0	34.5	0.0
2	23.0	1000.0	14.6	34.5	-90.0
3	-5.9	0.0	31.0	25.9	0.0
4	-1.0	49.4	23.0	34.5	0.0
5	4.0	42.4	28.5	37.5	0.0
6	74.0	1000.0	27.4	32.6	-2.0
7	-1000.0	-23.0	72.4	32.6	88.0

DATUM 15.06

SOLENS LAGE:		
KL	H	A
5	12.9	-114.5
6	27.0	-122.2
7	27.5	-93.5
8	34.9	-75.0
9	41.9	-60.7
10	47.8	-43.1
11	51.9	-22.6
12	53.3	0.0

KL	H5JD
15	
14	*****
13	*****
12	*****
11	*****
10	*****
9	*****
8	*****
7	*****
6	*****
5	*****
4	*****
3	*****
2	*****
1	*****
0	*****

KL	H5JD
15	
14	
13	
12	
11	
10	
9	*****
8	*****
7	*****
6	*****
5	*****
4	*****
3	*****
2	*****
1	*****
0	*****

KL	H5JD
15	
14	
13	
12	
11	
10	
9	
8	
7	
6	*****
5	*****
4	*****
3	*****
2	*****
1	*****
0	*****

BIL. III:3 Program för beräkning av avskärningsfaktorer för godtyckliga kombinationer av glas och solskydd

Beträffande programmets arbetssätt se 3.6.

Data:

Antal skikt,  $n$

Nummer utifrån räknat på det skikt som diffuserar strålningen. Om alla skikt är klara anges här värdet 0 (noll).

Om alla skikt är klara följer här parvis utifrån räknat

$T_1$	$R_1$
$T_n$	$R_n$

Om något diffuserande skikt förekommer anges i stället

(Index D anger att värdet gäller direkt strålning, d diffus strålning)

$T_{1,D}$	$R_{1,D}$	$T_{1,d}$	$R_{1,d}$
$T_{n,D}$	$R_{n,D}$	$T_{n,d}$	$R_{n,d}$

Värmemotstånd på utsidan  
(normalt värde  $0,06 \text{ m}^2\text{C/W}$ )

Värmemotstånd på insidan  
(normalt värde  $0,11 \text{ m}^2\text{C/W}$ )

Värmemotstånden mellan skikten i tur och ordning utifrån räknat

$m_{1,2}$		$m_{n-1,n}$

forts.

BIL. III:3 forts.

Referensfönstrets transmissionsfaktor. Om beräkningen görs med värden gällande vinkelrätt infallande strålning, gäller för vårt referensfönster värdet 0,79, vid infallsvinkeln  $30^{\circ}$  värdet 0,78. För beräkning av Shading Coefficient (S.C.) sätts här värdet 0,86.



Här kan nya uppsättningar data från början följa.

Slutmarkering:

-1

Exempel:

606-TRANSM PAGE 17  
SKIKTDATA:

DIFFUSERANDE SKIKT NR 4

SKIKT NR	DIREKT STRÅLNING			DIFFUS STRÅLNING		
	T	R	A	T	R	A
1	0.860	0.079	0.061	0.752	0.172	0.076
2	0.860	0.079	0.061	0.752	0.172	0.076
3	0.860	0.079	0.061	0.752	0.172	0.076
4	0.166	0.566	0.268	0.427	0.259	0.214

VÄRMFÖRSTÅND:

UTSIDA 0.06  
1-2 0.17  
2-3 0.17  
3-4 0.05  
INSIDA 0.06  
K-VÄRDE 1.96

RESULTAT:

TTOT	RTOT	A1	A2	A3	A4
0.1667	0.3733	0.0876	0.0849	0.0843	0.2031

ANTAL LOOPAR 23

KONTROLLSUMMA: 1.0000

DIREKTTRANSMISSION 0.167  
SEKUNDÄRTRANSMISSION 0.296  
SUMMA 0.463

AVSKÄRMNINGSFAKTORER (TREF= 0.780)

F1= 50.3  
F2= 21.4

BIL. III:4 Program för beräkning av temperaturför-  
hållandet i frånluftsfönster

Programmet är uppställt för följande fönsterkonstruk-  
tion utifrån räknat dubbelglas + luftspalt med eller  
utan persienn + enkelglas.

De ekvationssystem som beskriver värmebalansen blir  
olika beroende på om man har persienn eller ej, vilket  
återspeglas i datauppställningen.

Data:

BÖRJAN:	Antal skikt (= 4 med per- sienn, 3 utan)	<input type="text"/>
	Uteluftens temperatur, °C	<input type="text"/>
	Rumstemperatur	<input type="text"/>
	Fönstrets bredd, m	<input type="text"/>
	höjd	<input type="text"/>
	Glasavstånd ventilerad spalt	<input type="text"/>
	Glasavstånd yttre dubbelglas	<input type="text"/>
	Solinstrålningens intensitet kcal/m <sup>2</sup> , h	<input type="text"/>
SKIKT- DATA:	Skiktcombinationens solarop- tiska egenskaper (t ex er- hållna från programmet enl BIL. III:3)	
	Direkttransmission	<input type="text"/>
	Absorption i kombinations- skikt i tur och ordning ini- från räknat	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>

forts.









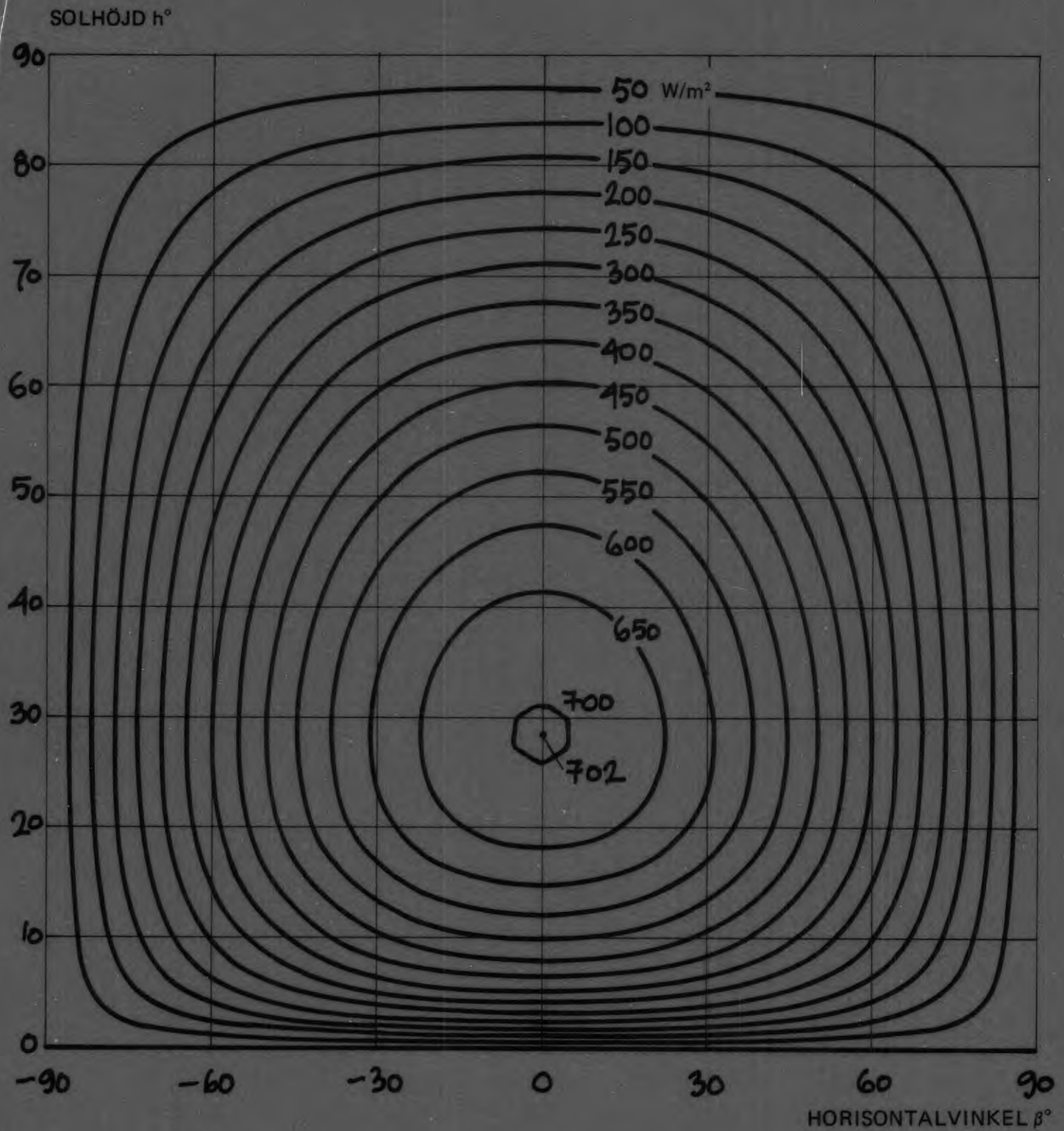


FIG. I: 10 Diagram för bestämning av direkt solstrålning klara dagar mot vertikal yta under sommarförhållanden (maj – sept). Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43.

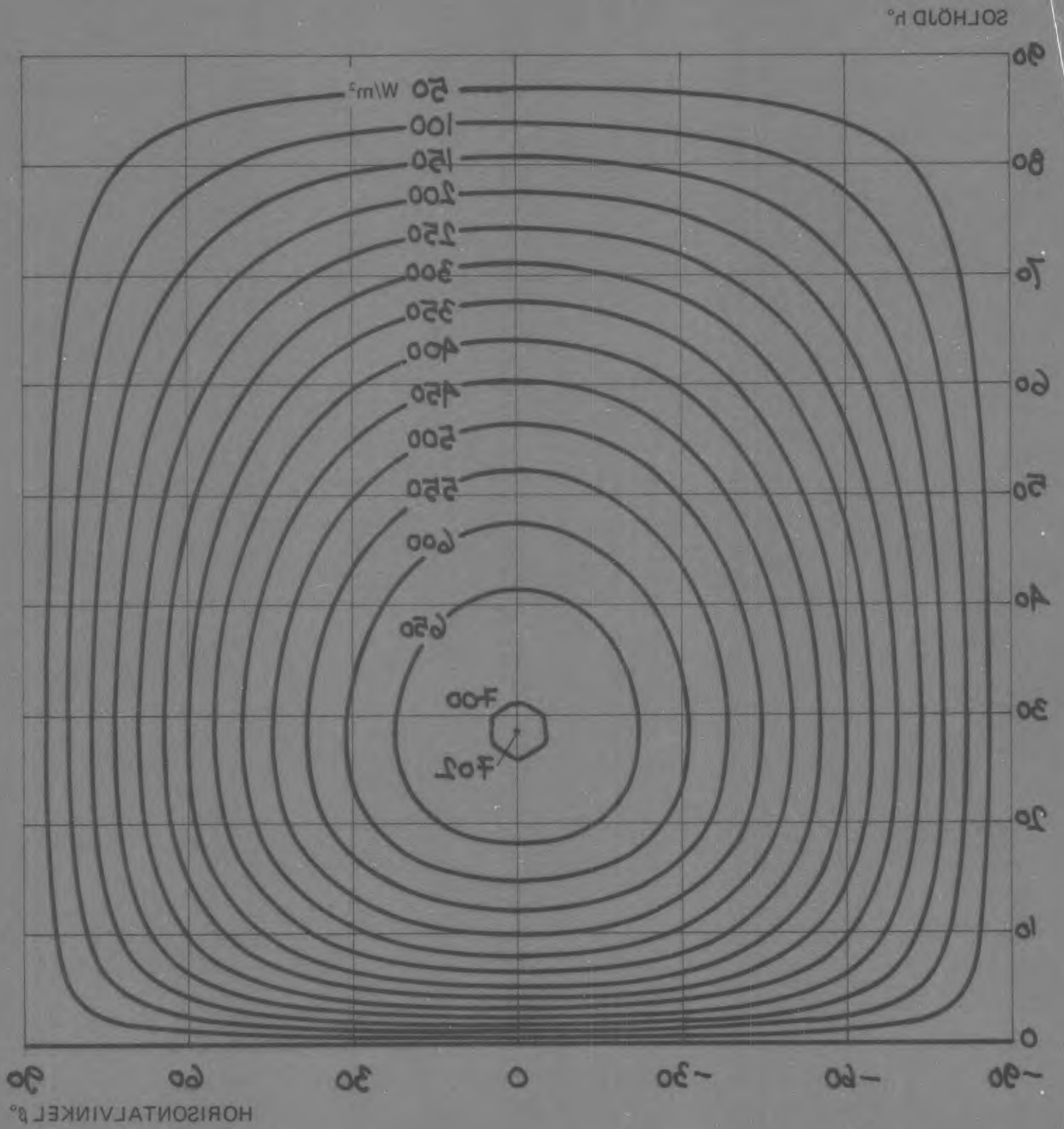


FIG. I: 10 Diagram för bestämning av direkt solstrålning klara dagar mot vertikal yta under sommartid. Hållanden (maj - sept). Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43.

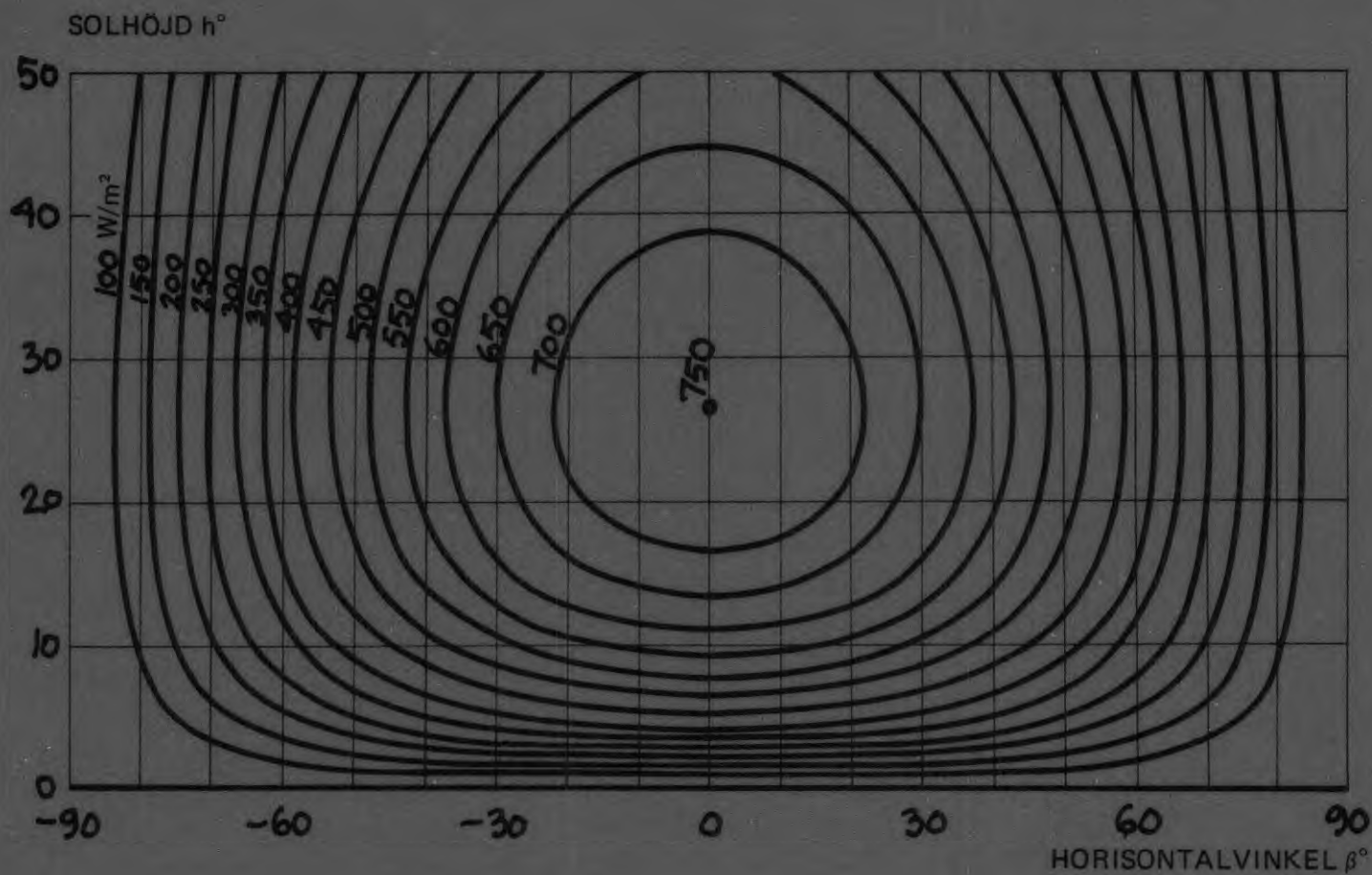
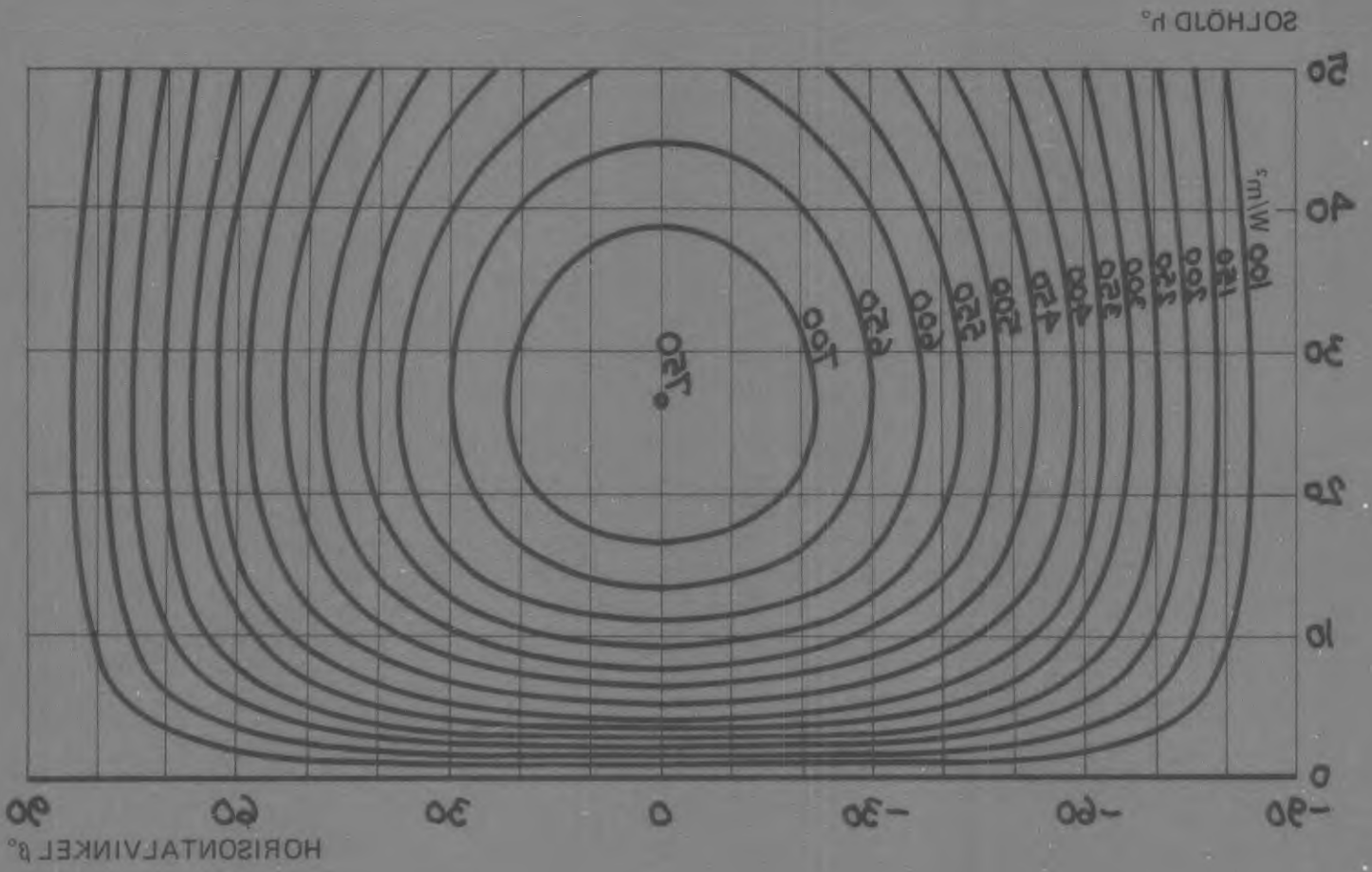


FIG. I:11 Diagram för bestämning av direkt solstrålning klara dagar mot vertikal yta under vinterförhållanden (okt – april). Enhet W/m<sup>2</sup>. Diagrammets användning beskrivs i 2.43.

FIG. 1: 11 Diagram för bestämning av direkt solstrålning klara dagar mot vertikala yta under vinterförhållanden (okt - april). Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43.



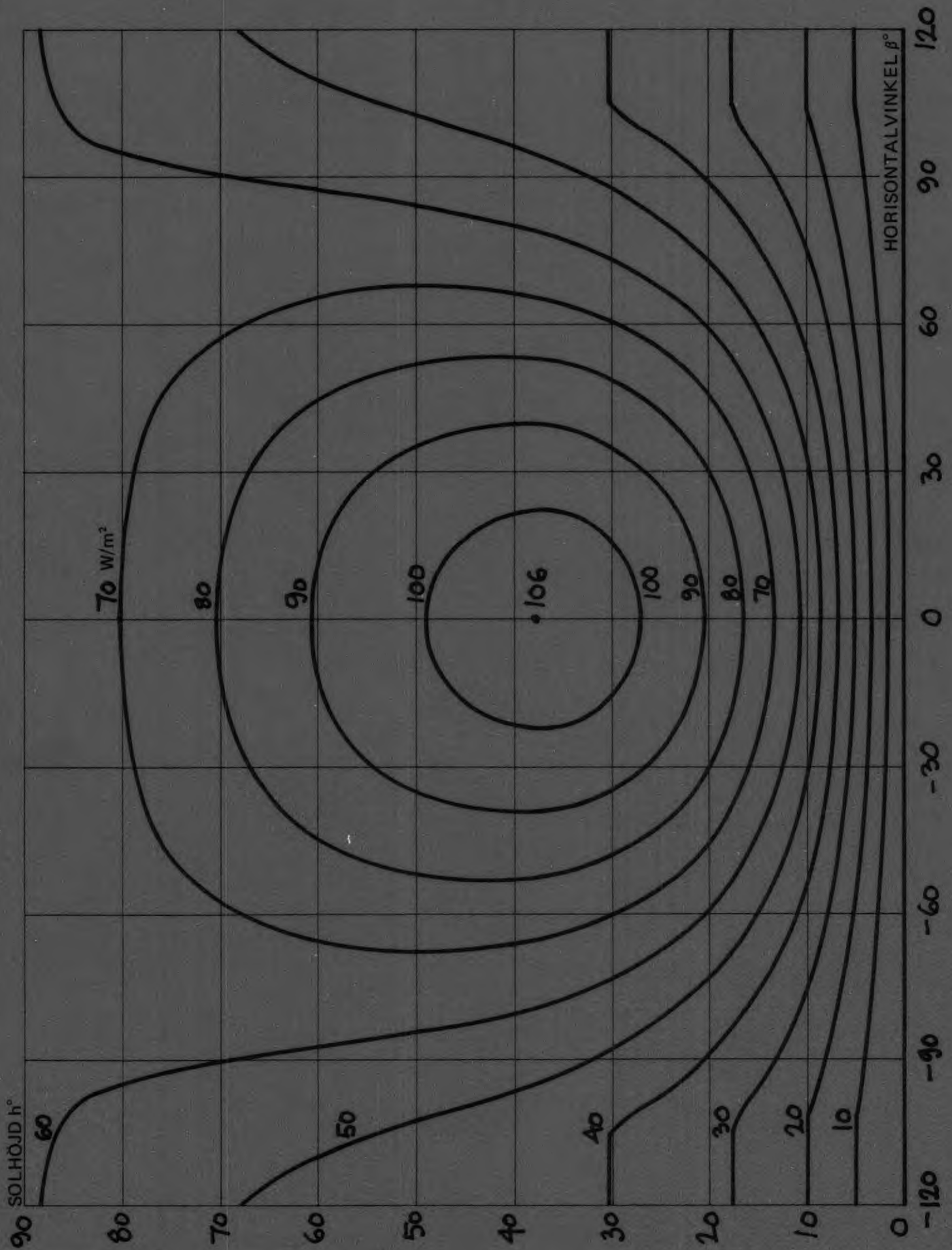


FIG. I:12 Diagram för bestämning av himmelsstrålning klara dagar mot vertikal yta. Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43.

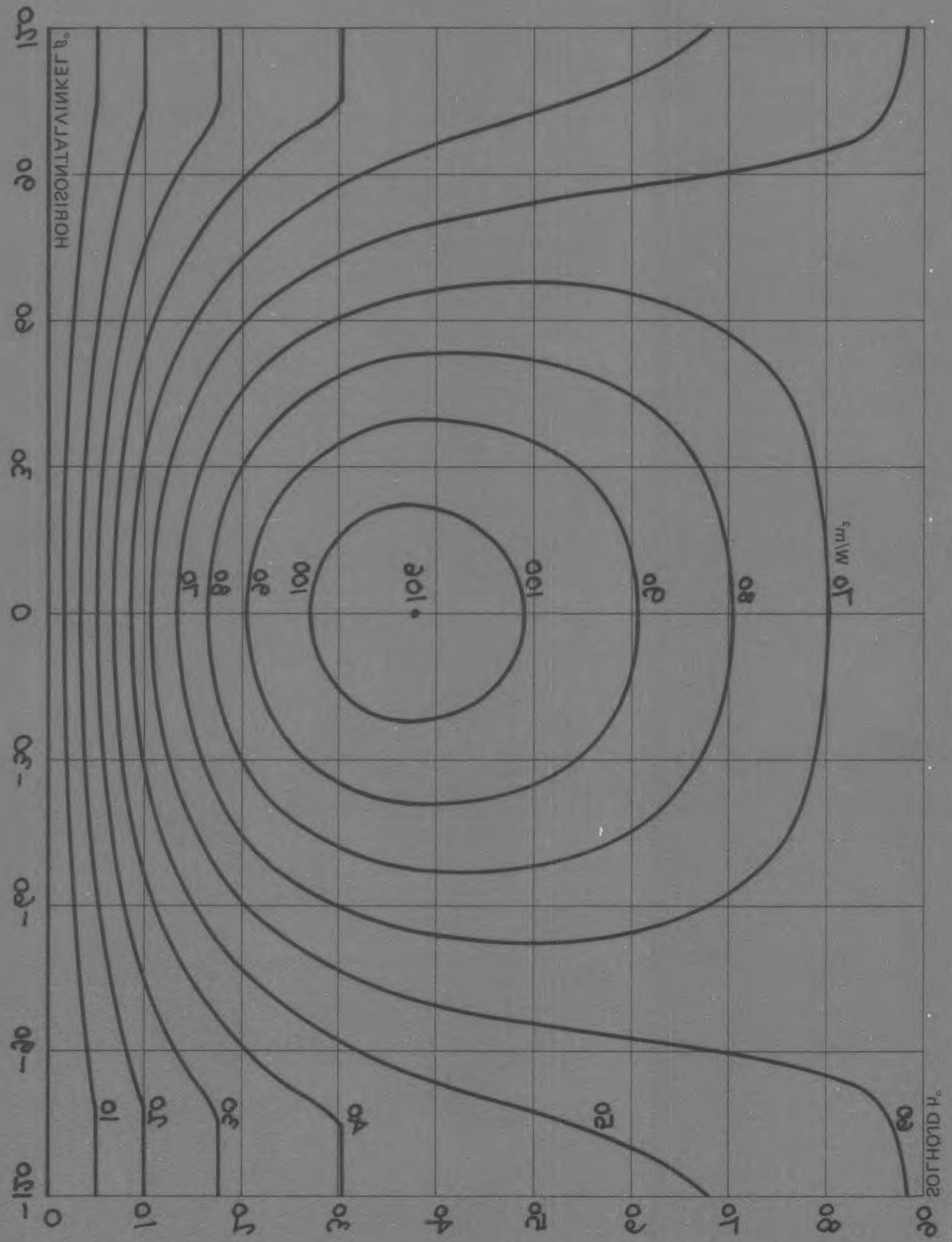


FIG. I: 12 Diagram för bestämning av himmelsstrålning klara dagar mot vertikal yta. Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43.



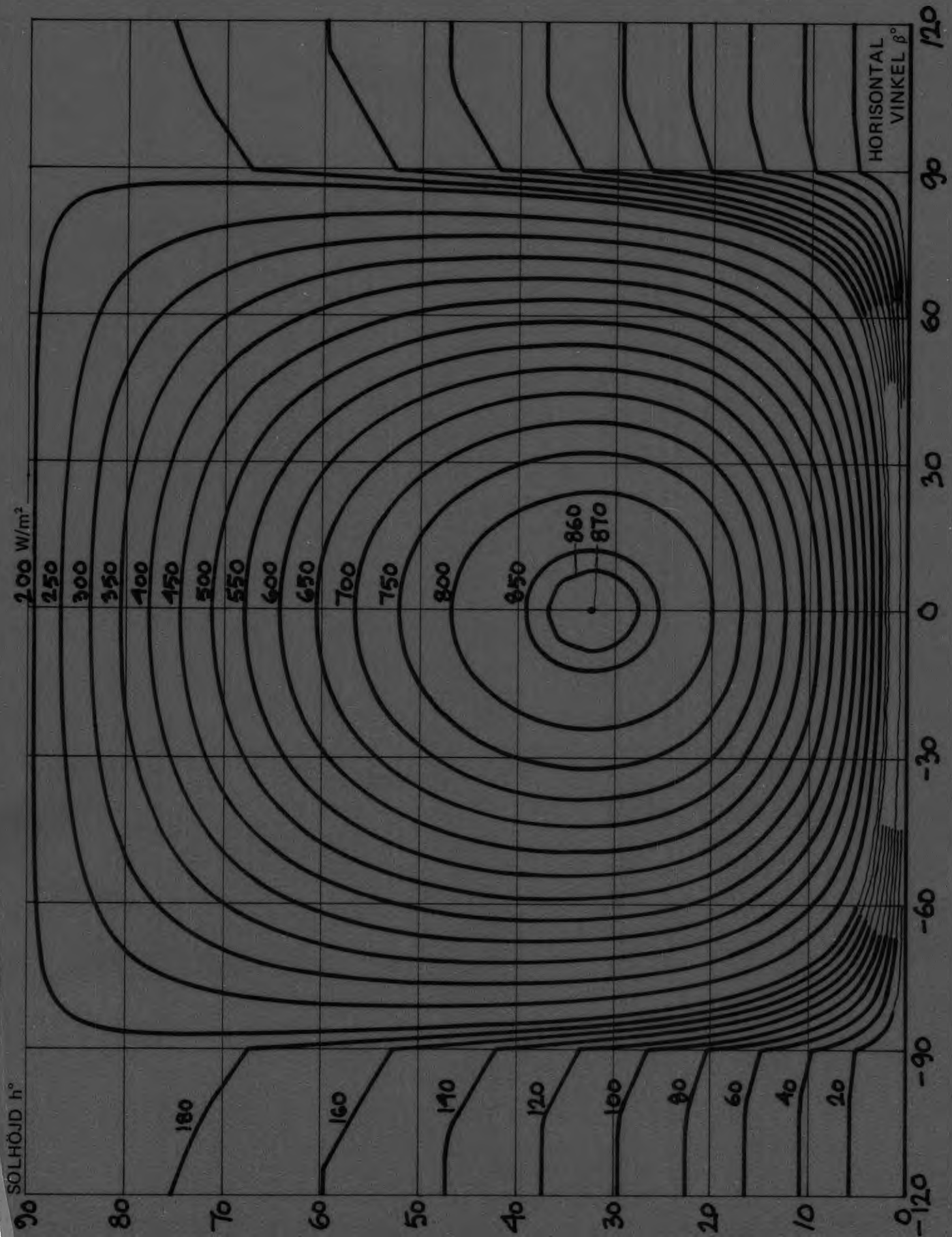


FIG. I: 13 Diagram för bestämning av instrålningen klara dagar mot vertikal yta under sommarförhållanden (maj – sept) från sol, himmel och mark. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ . Diagrammets användning beskrivs i 2.43.

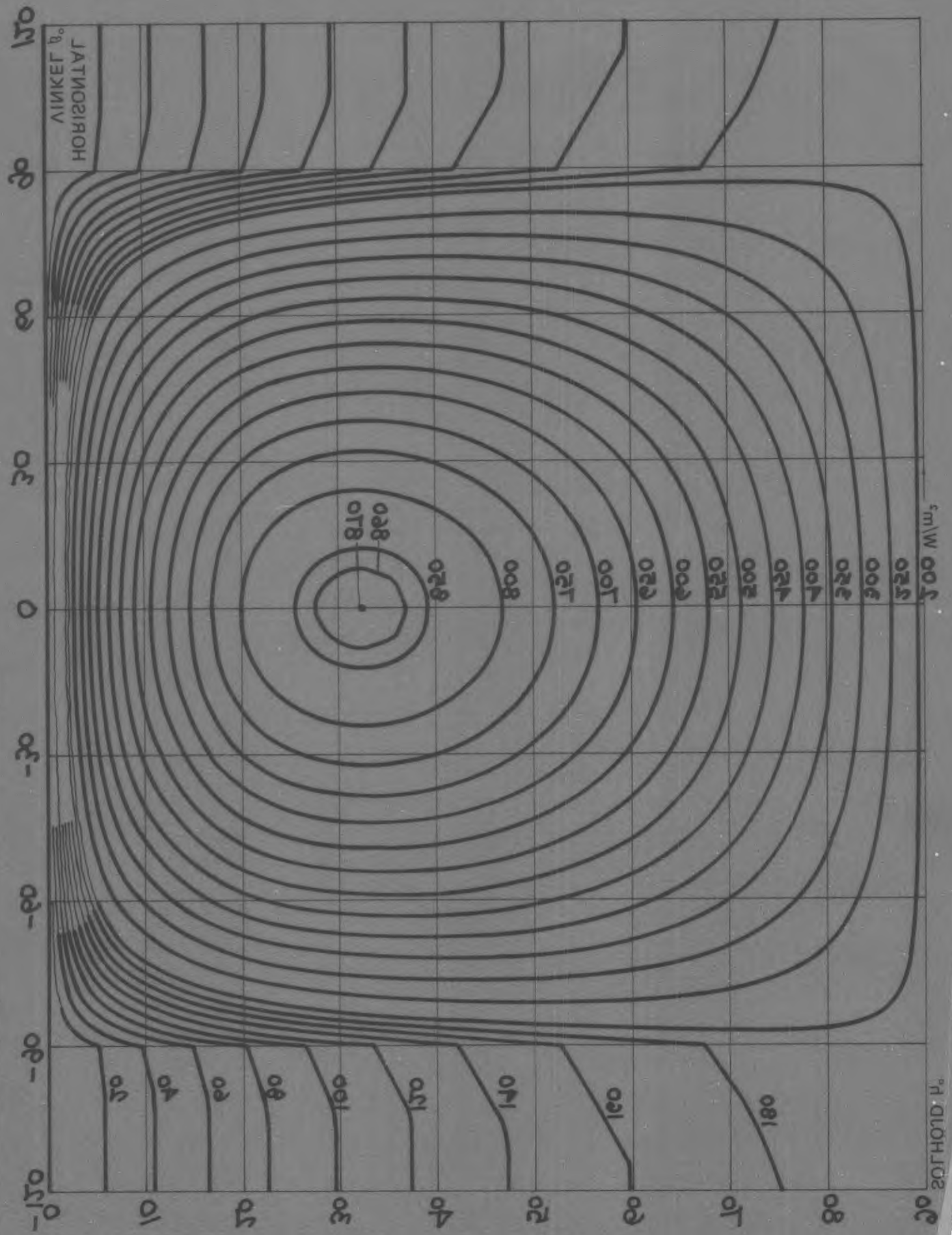


FIG. I: 13 Diagram för bestämning av inställningen klara dagar mot vertikal yta under sommarförhållanden (maj - sept) från sol, himmel och mark. Markreflexion 25%. Enhet W/m<sup>2</sup>. Diagrammets användning beskrivs i 2.43.

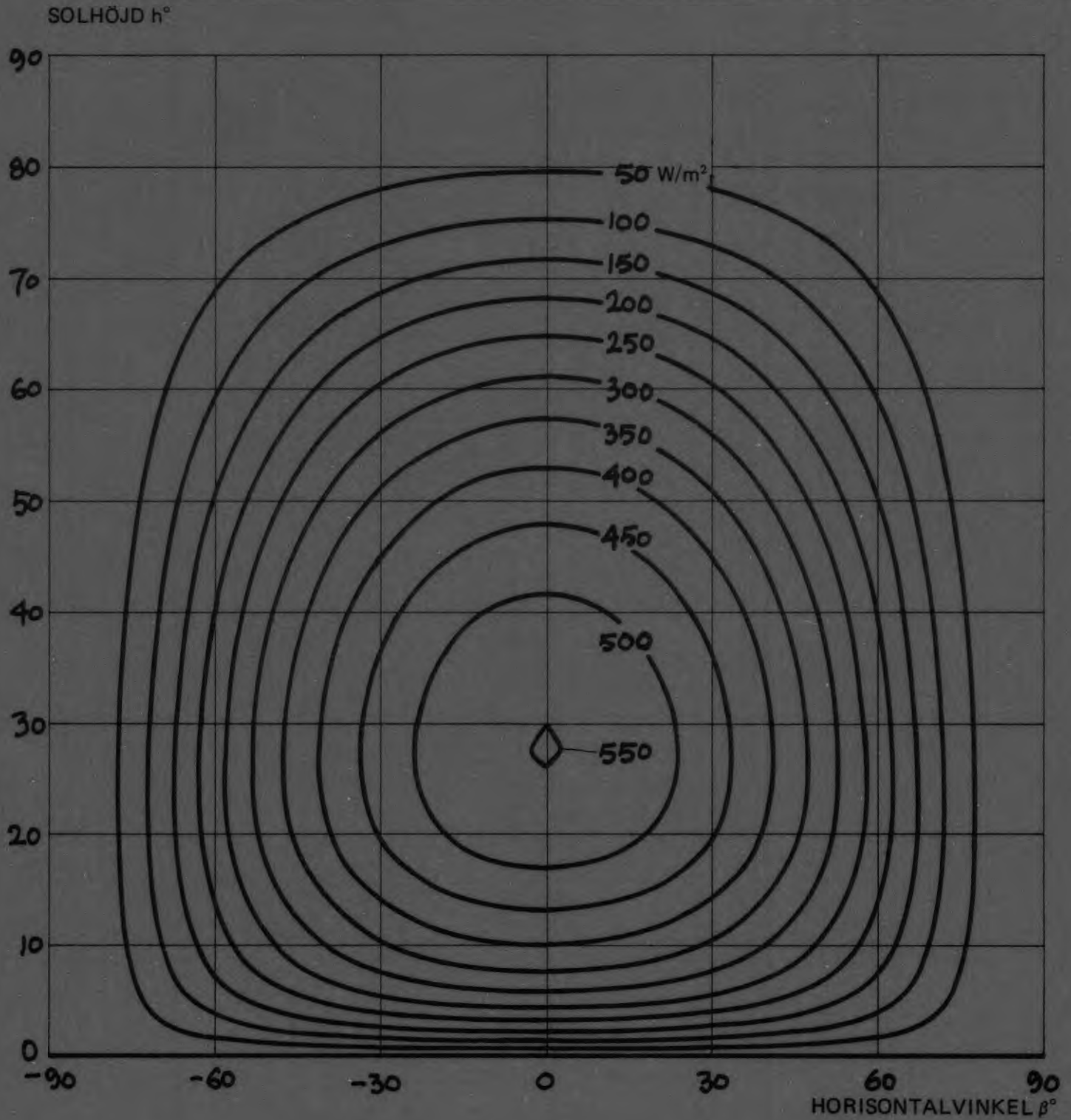


FIG. I: 14 Diagram för bestämning av instrålat värme från solen klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas (»referensfönstret»). Enhet  $W/m^2$ .

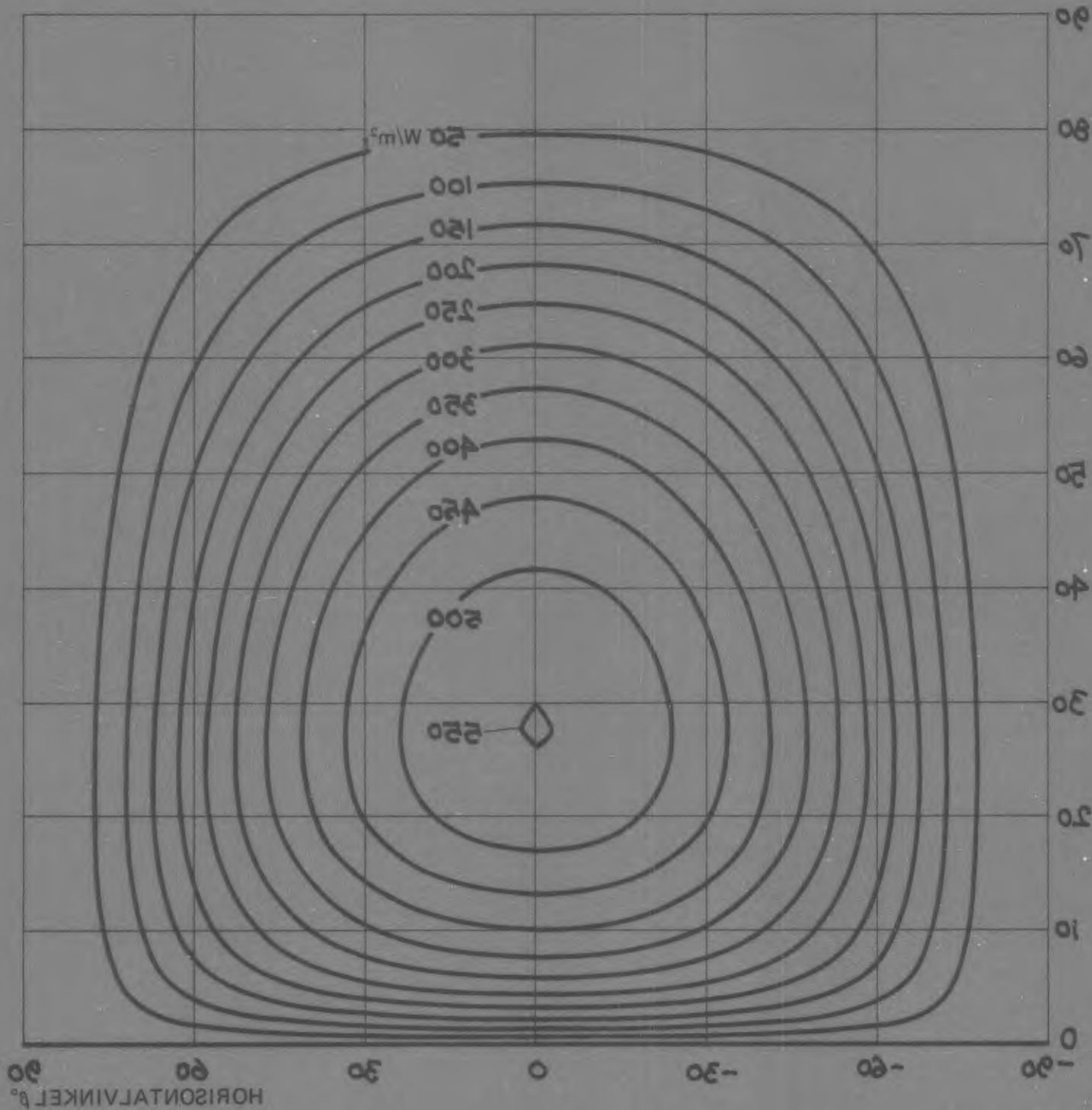


FIG. I:14 Diagram för bestämning av installerat värme från solen klara dagar sommardag (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas (»referensfönster»). Enhet  $W/m^2$ .

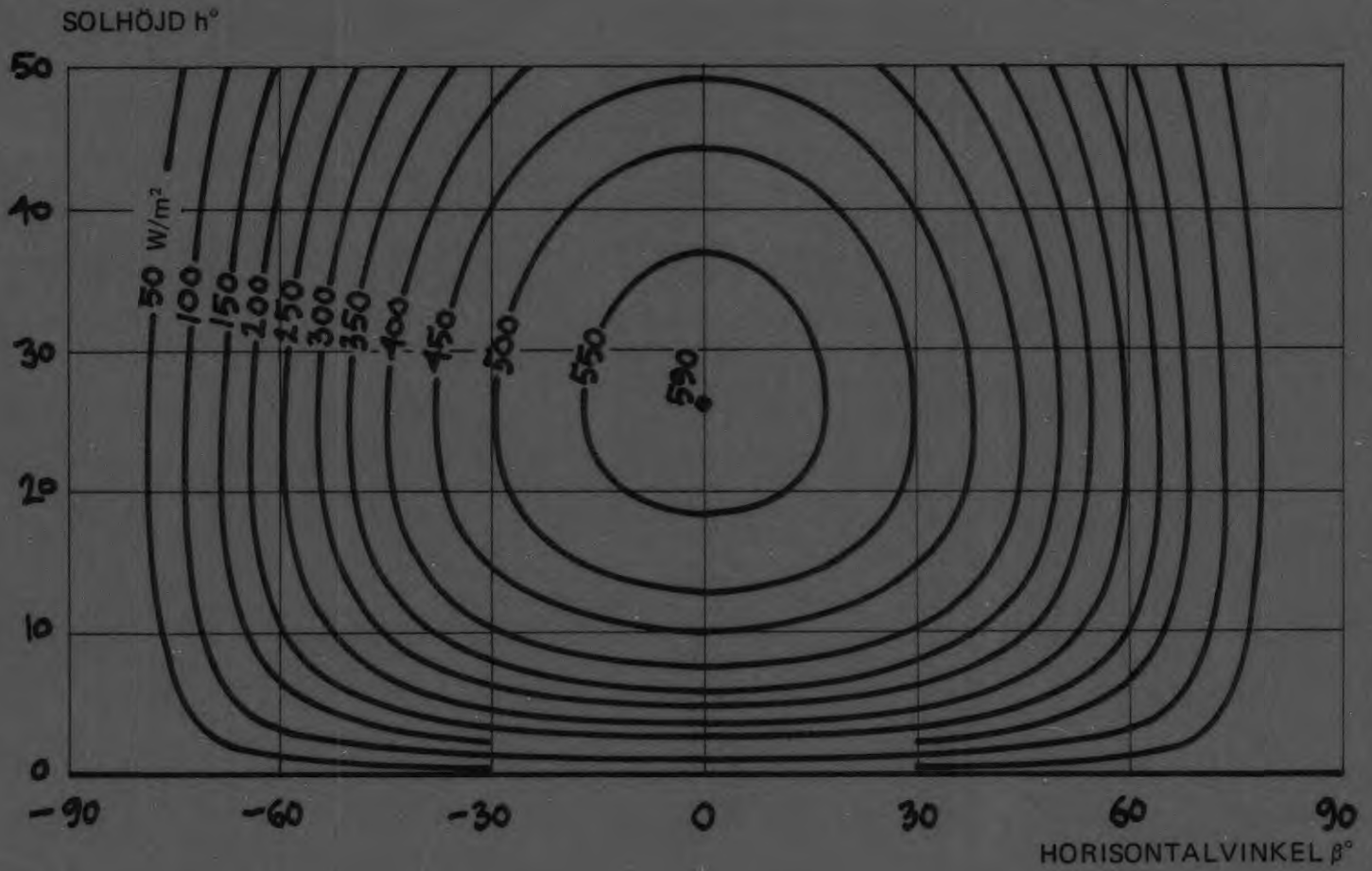
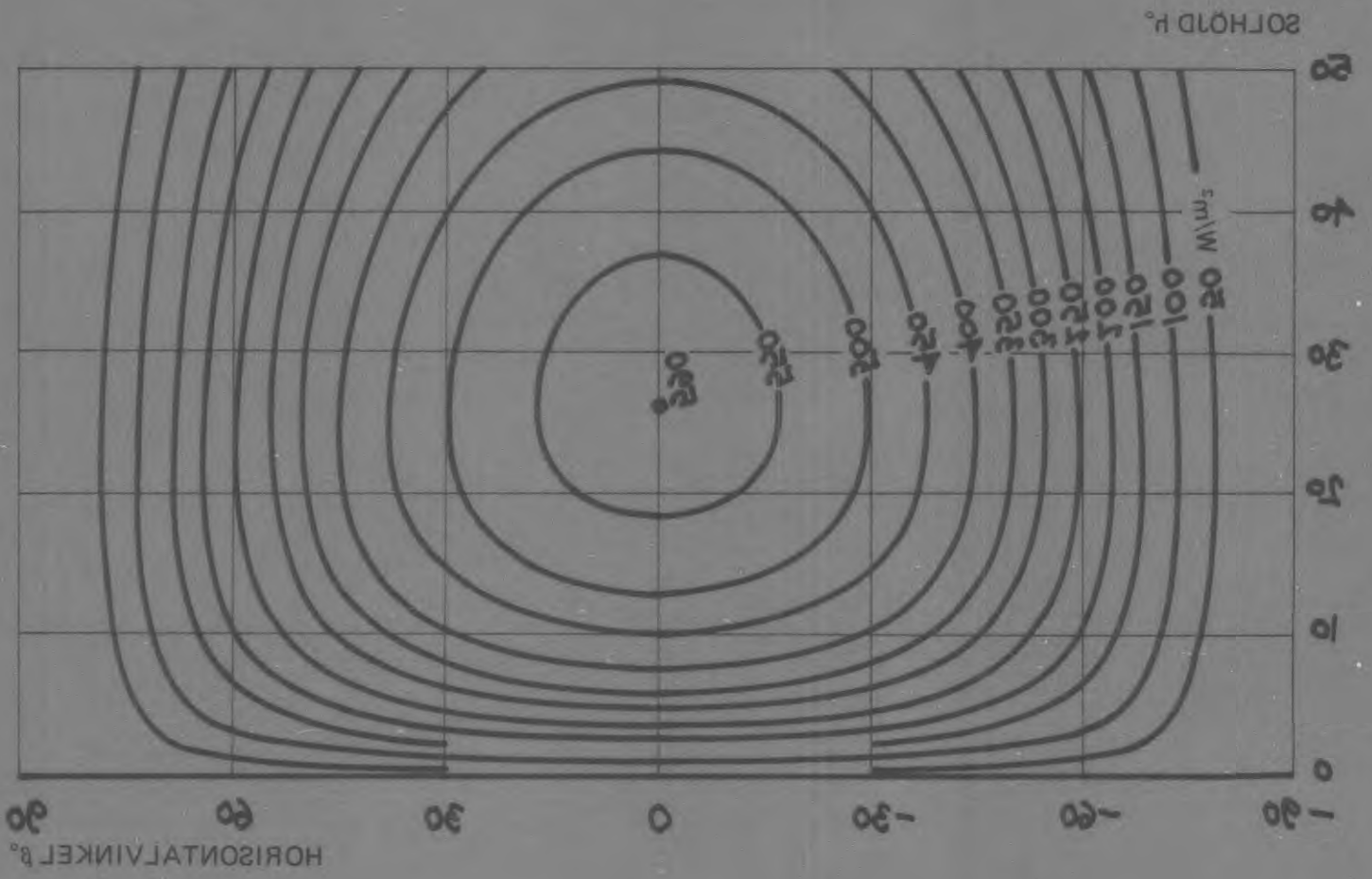


FIG. I: 15 Diagram för bestämning av instrålat värme från solen klara dagar vintertid (okt – april), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas (»referensfönstret»). Enhet  $W/m^2$ .

FIG. 1:12 Diagram för bestämning av instrålat värme från solen klara dagar vintertid (okt - april), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas («reternsfönstret»). Enhet  $W/m^2$ .



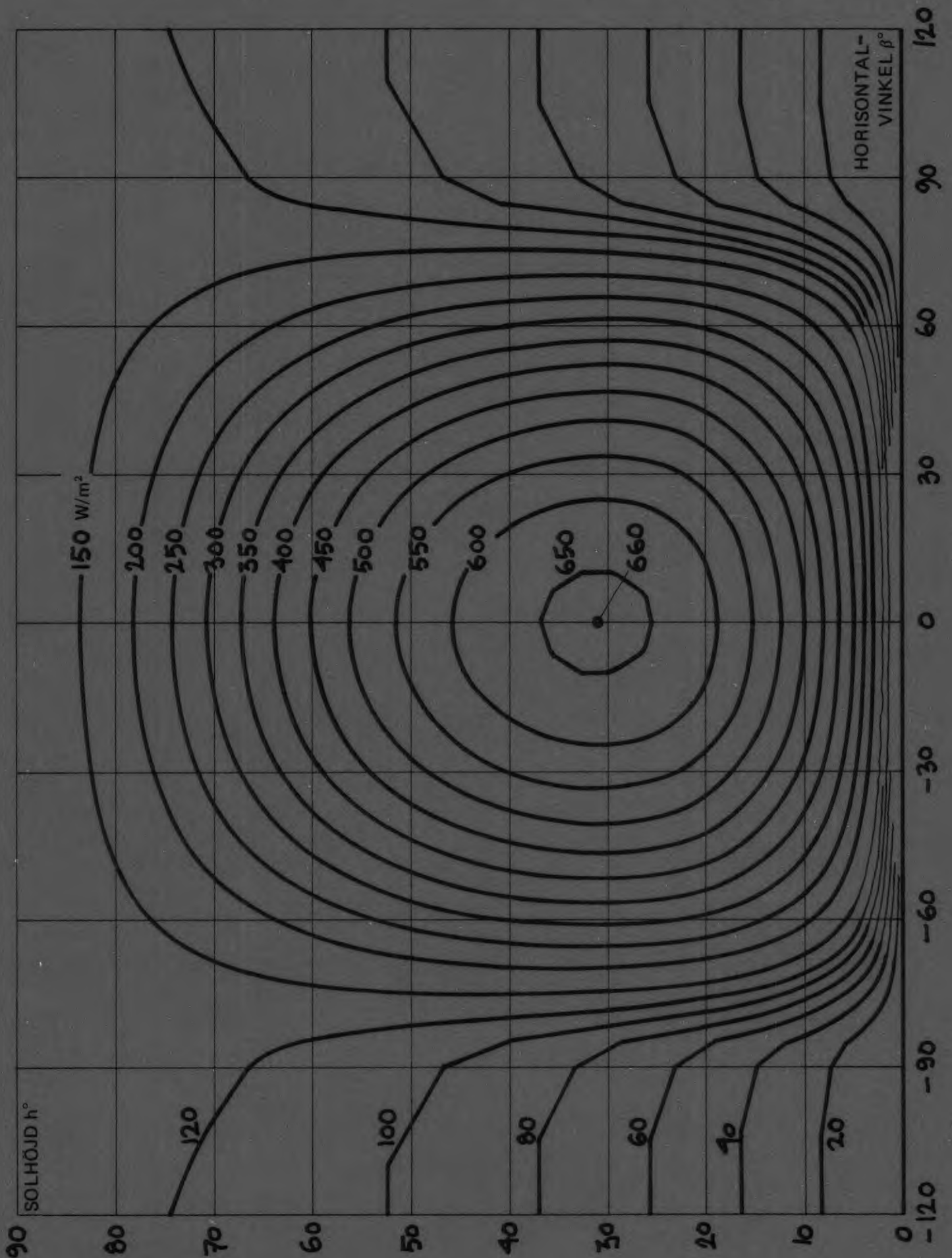


FIG. I: 16 Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas »referensfönstret». Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .

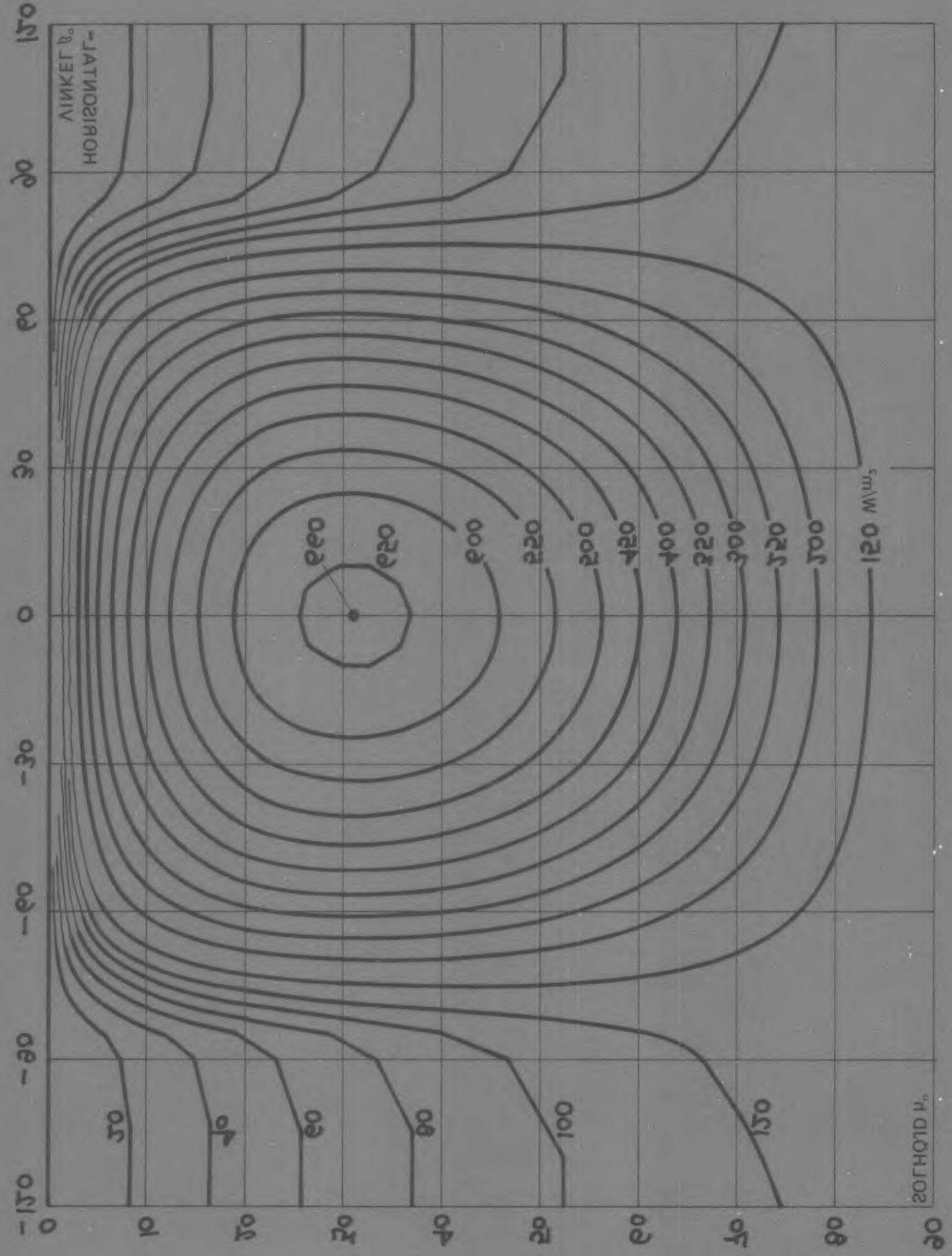


FIG. 1:16 Diagram för bestämning av installerat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas »retensfönster». Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .



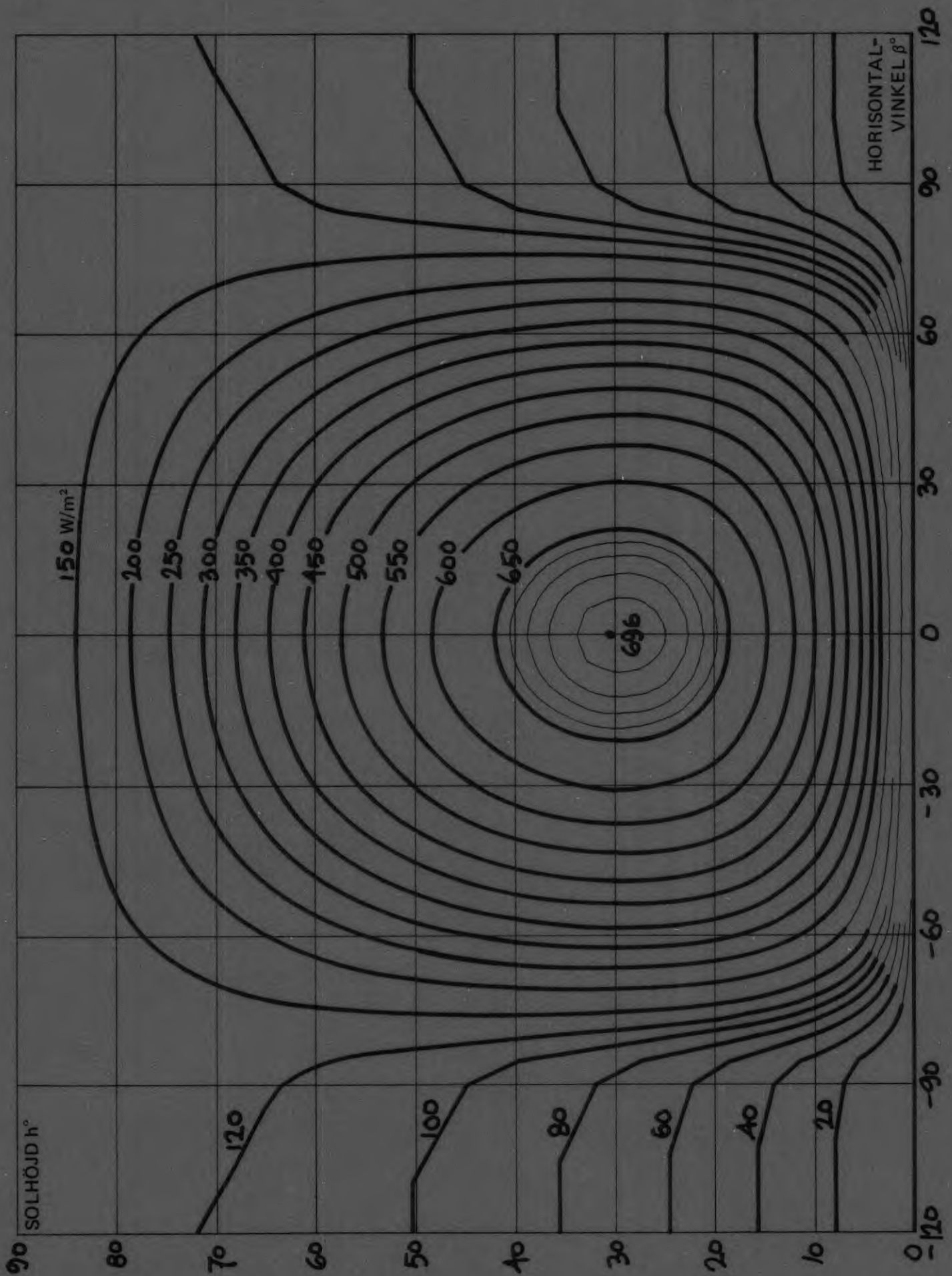
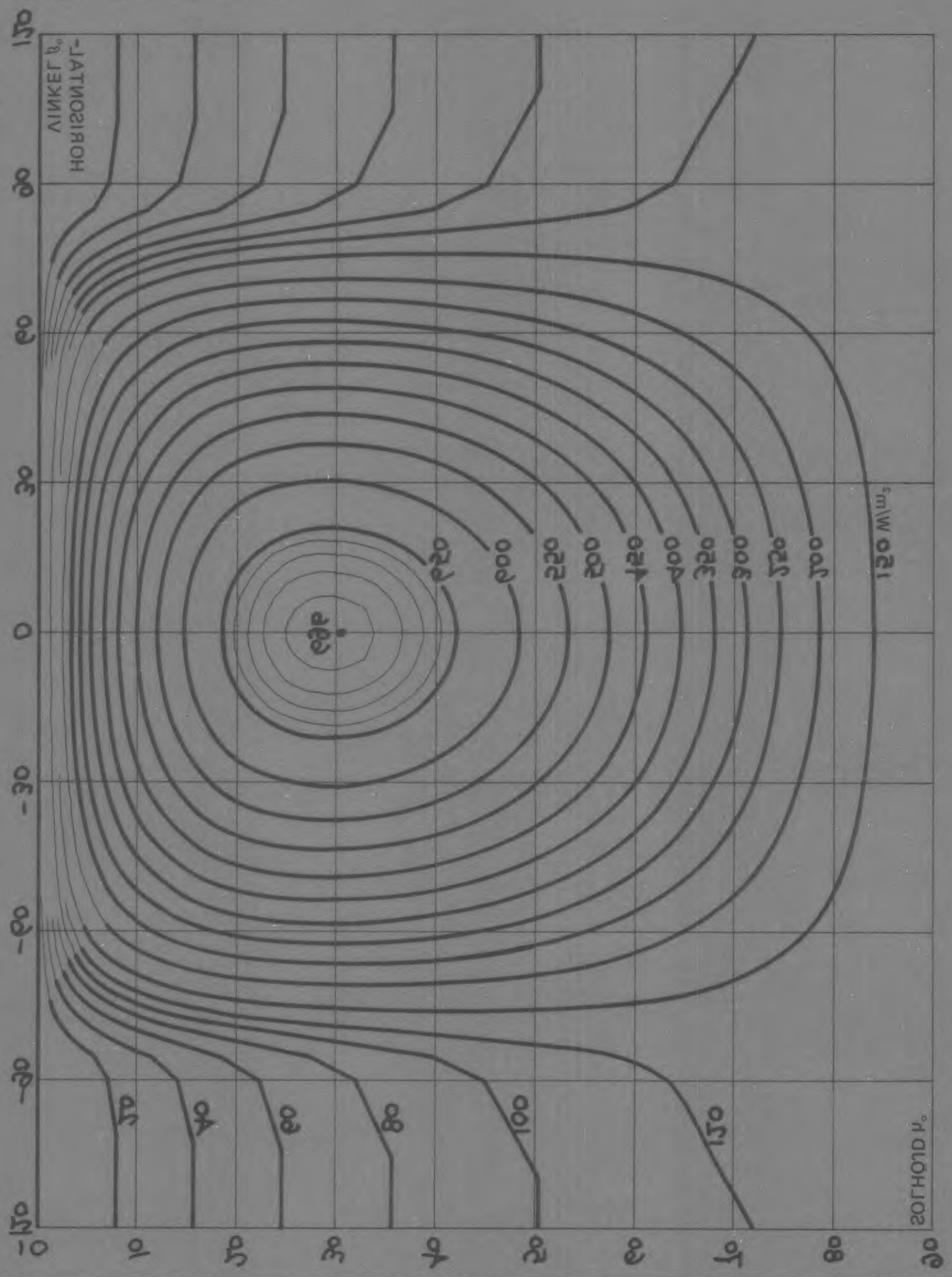


FIG. I:17 Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar vintertid (okt – april) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas (»referensfönstret»). Mark-reflexion 25 %. Enhet  $\text{W/m}^2$ .

FIG. I: 17 Diagram för bestämning av installerat värme från sol, himmel och mark klara dagar vintertid (okt - april) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas («reflexionsfönster»). Mark-reflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .



## HORIZONTELL SKÄRM

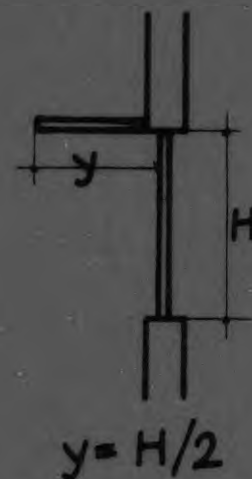
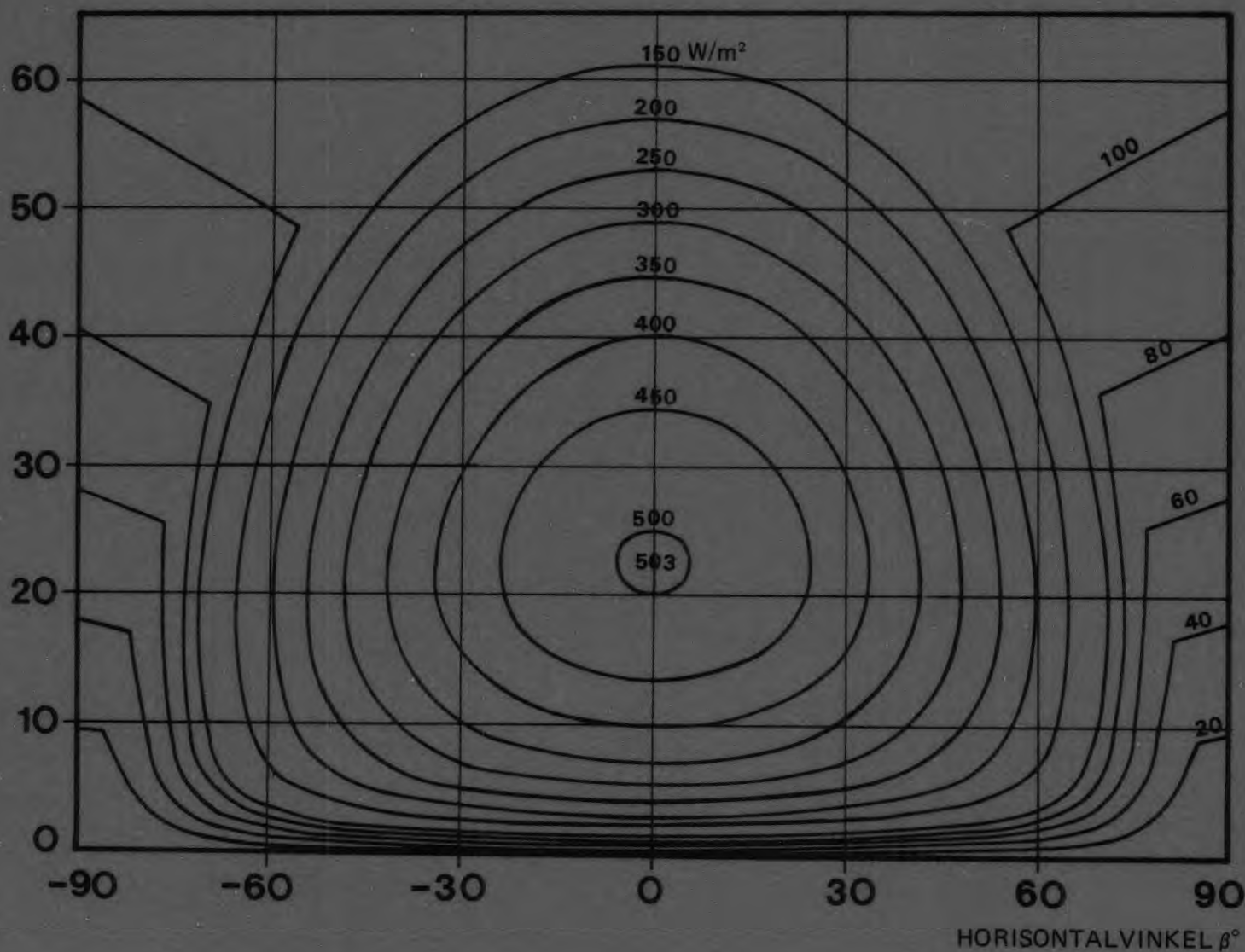
SOLHÖJD  $h^\circ$ 

FIG. I:18 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut  $1/2$  fönsterhöjd och är placerad i fönstrets överkant. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .

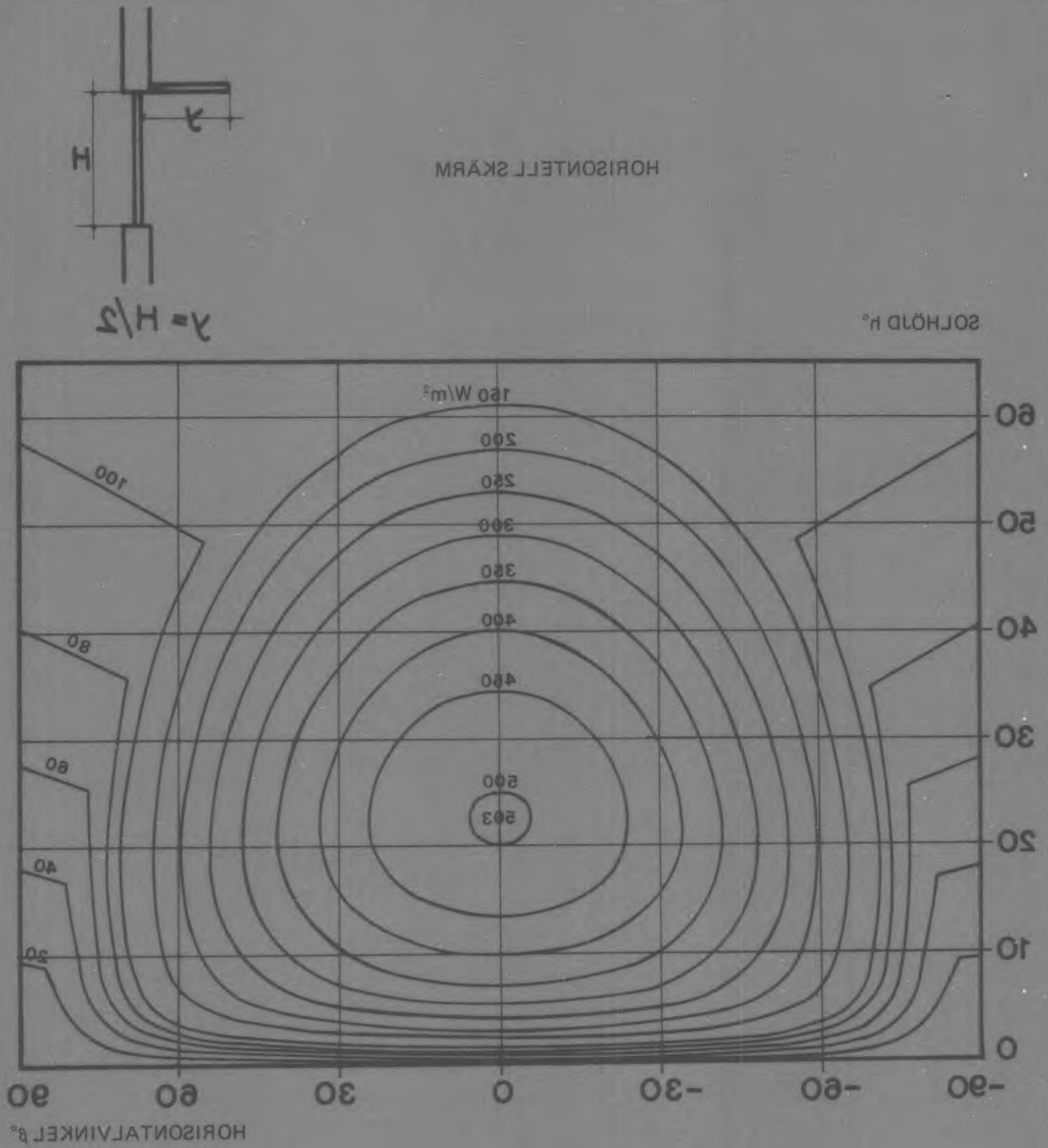
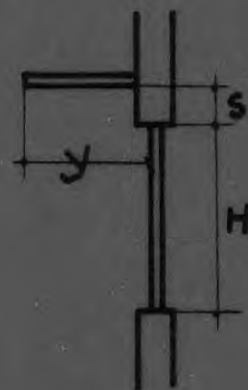


FIG. I: 18  
 Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut 1/2 fönsterröjd och är placerad i fönstrets överkant. Markreflexion 22 %. Enhet W/m².  
 Horisontell skärm

## HORIZONTELL SKÄRM



$$y = H/2 \quad s = H/4$$

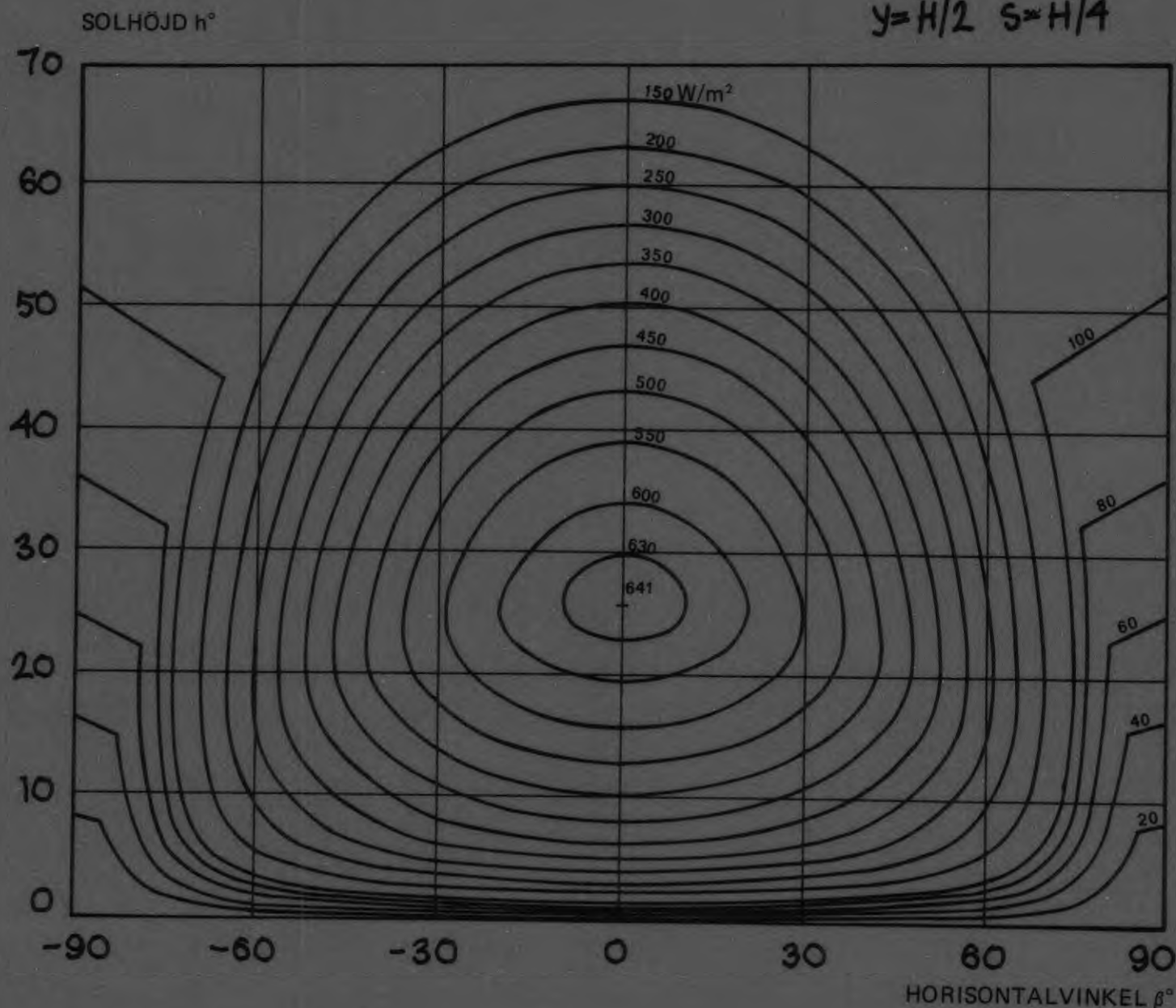
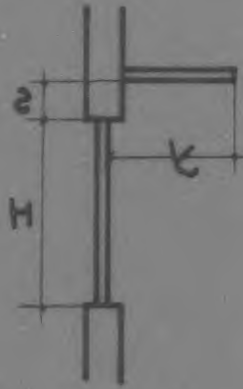


FIG. I:19 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut  $1/2$  fönsterhöjd och är placerad  $1/4$  fönsterhöjd ovanför fönstret. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .



HORIZONTELL SKÄRM

$K = H/2$   $s = H/4$

SOLHÖJD  $h^\circ$

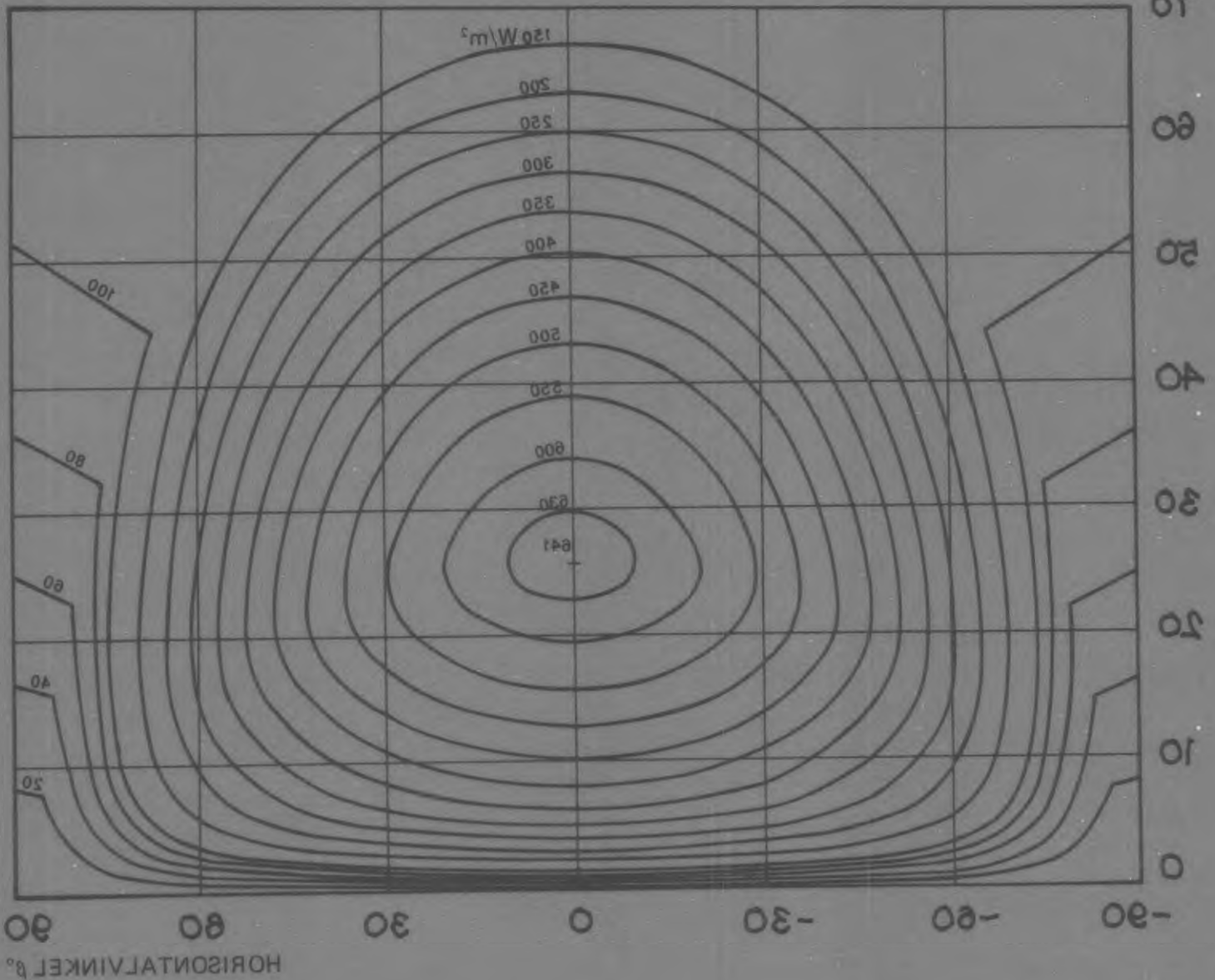


FIG. I: 19  
 Diagram för bestämning av inställd värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut  $1/2$  fönsterhöjd och är placerad  $1/4$  fönsterhöjd ovanför fönstret. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

Horisontell skärm

## HORIZONTELL SKÄRM

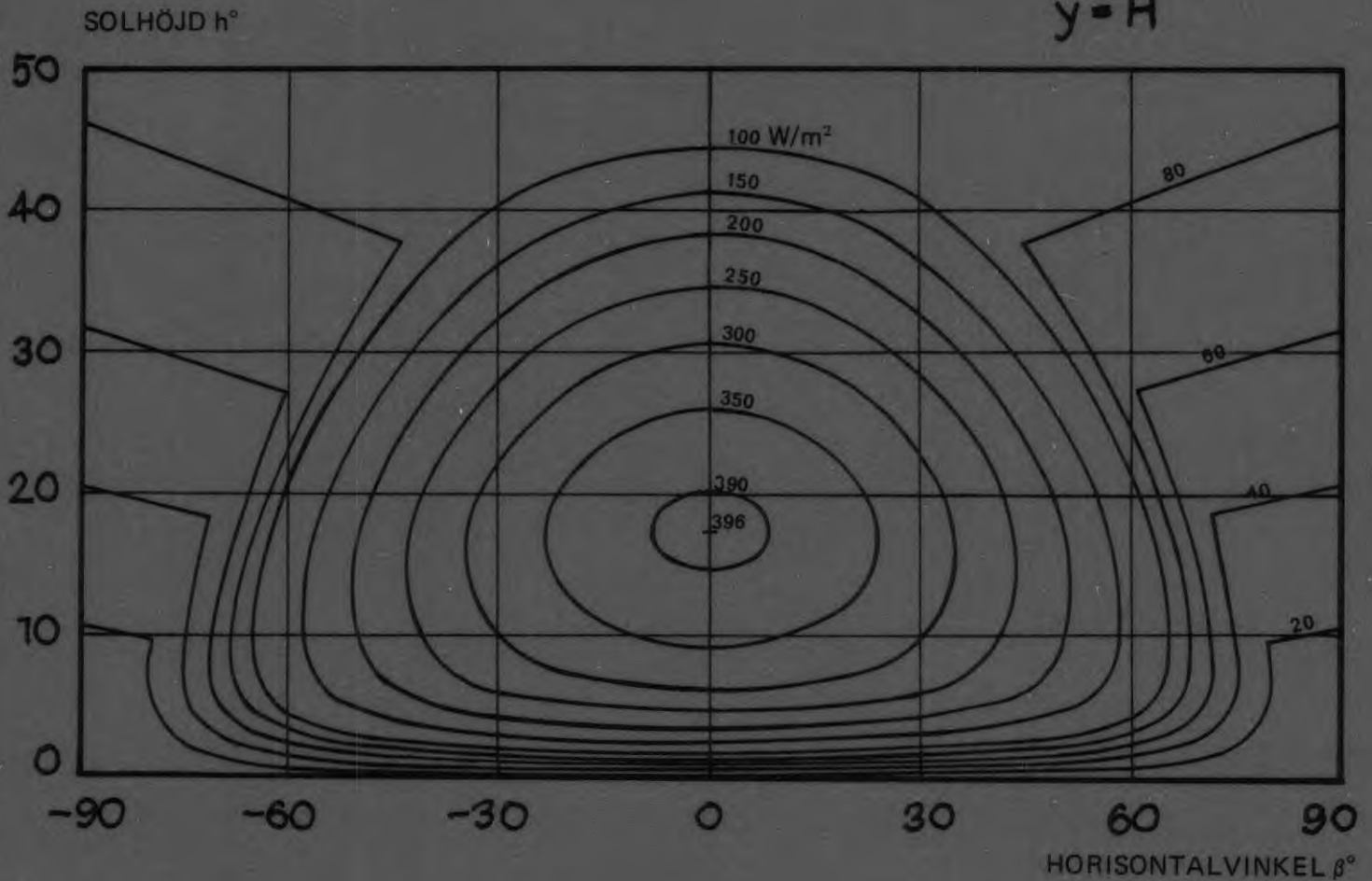
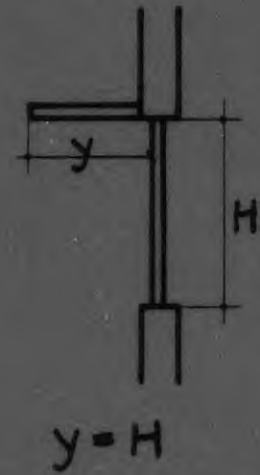


FIG. I:20 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut 1 fönsterhöjd och är placerad i fönstrets överkant. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .

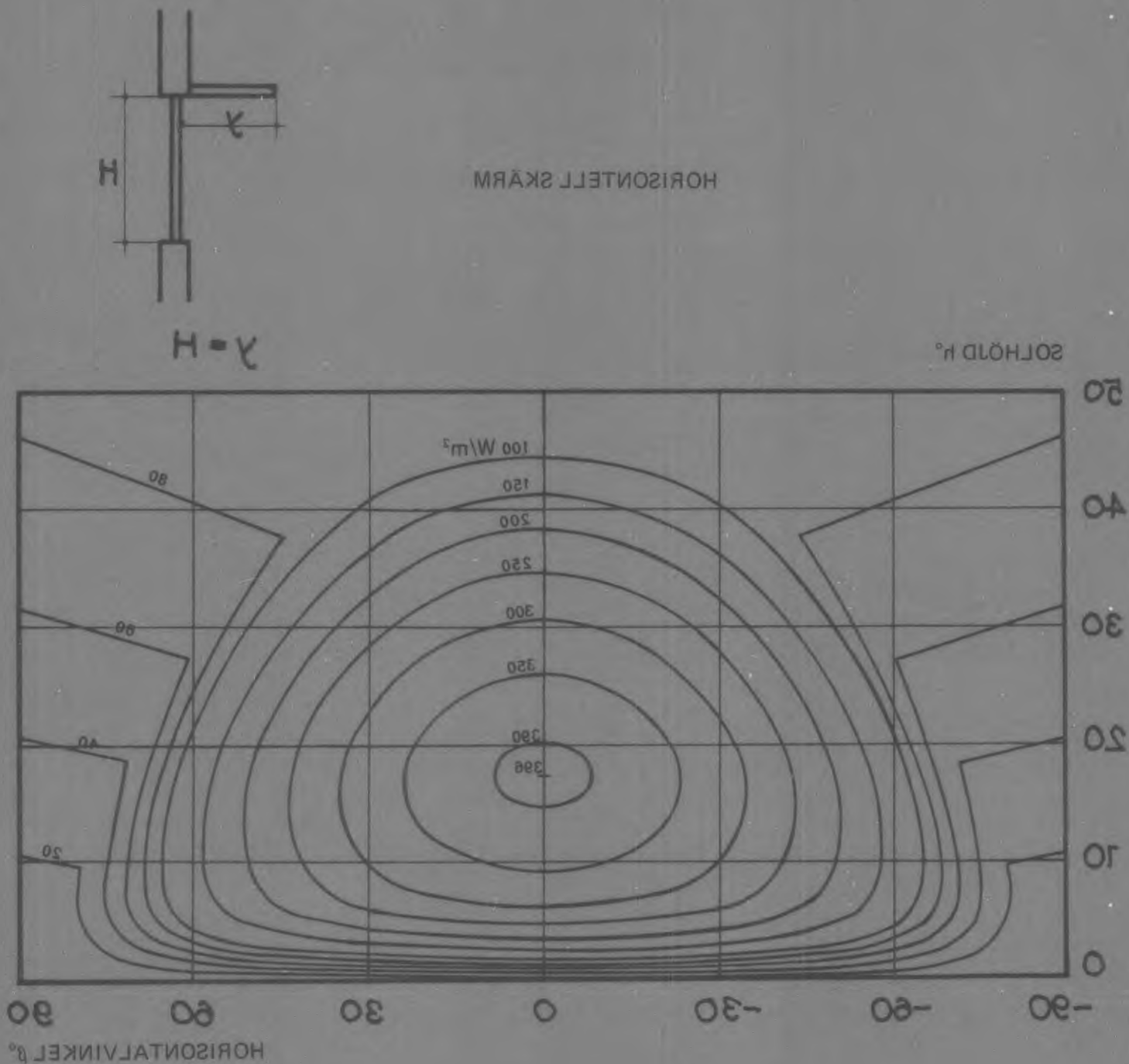
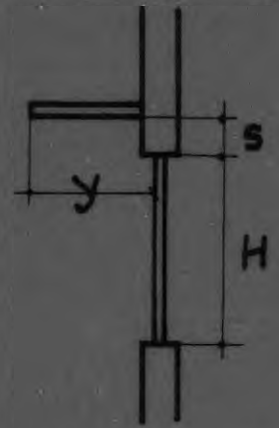


FIG. I: 20  
 Horisontell skärm  
 Diagram för bestämning av instålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut i fönsterhöjd och är placerad i fönstrets överkant. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .



## HORIZONTELL SKÄRM



$$y=H \quad s=H/4$$

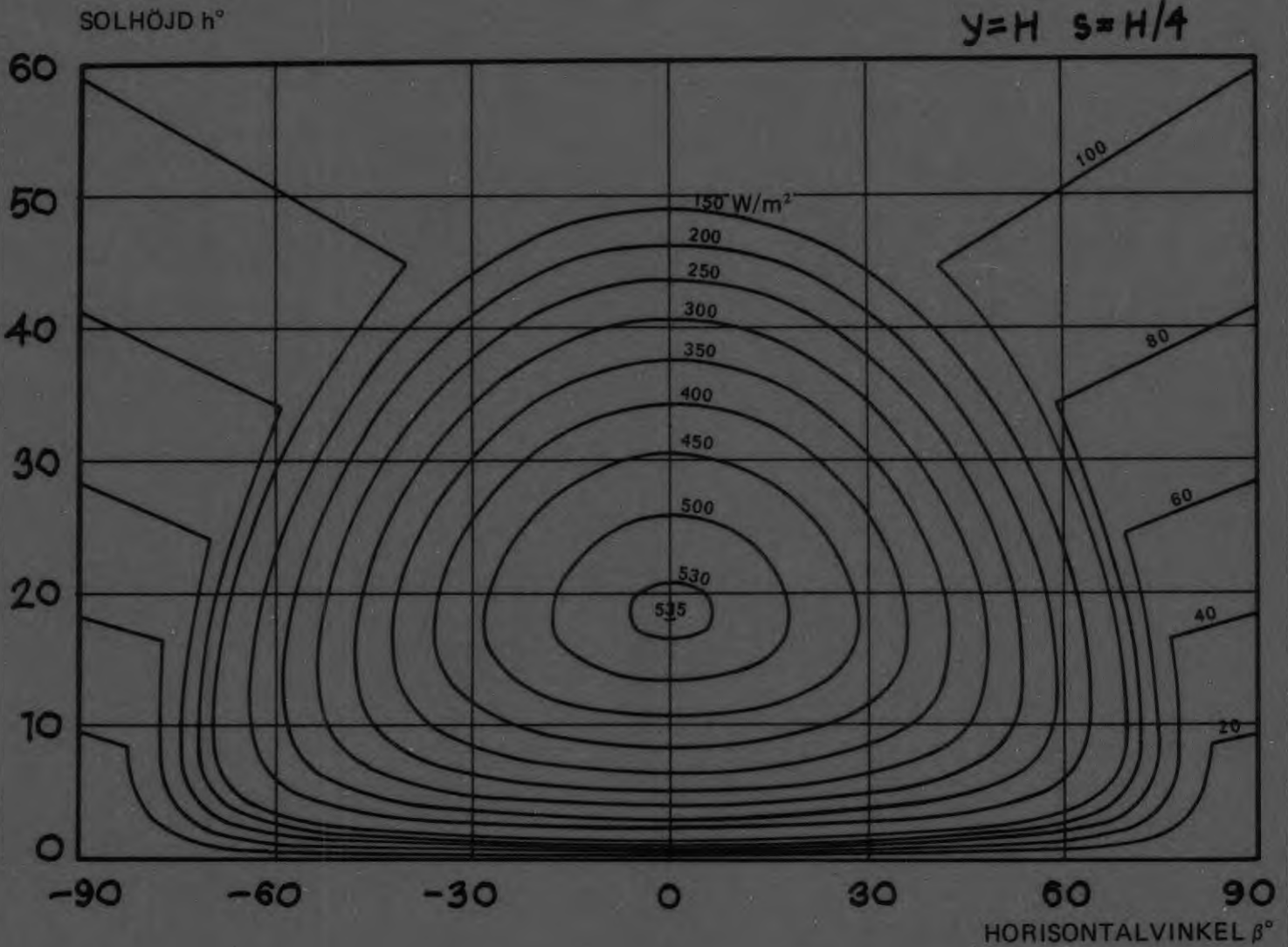
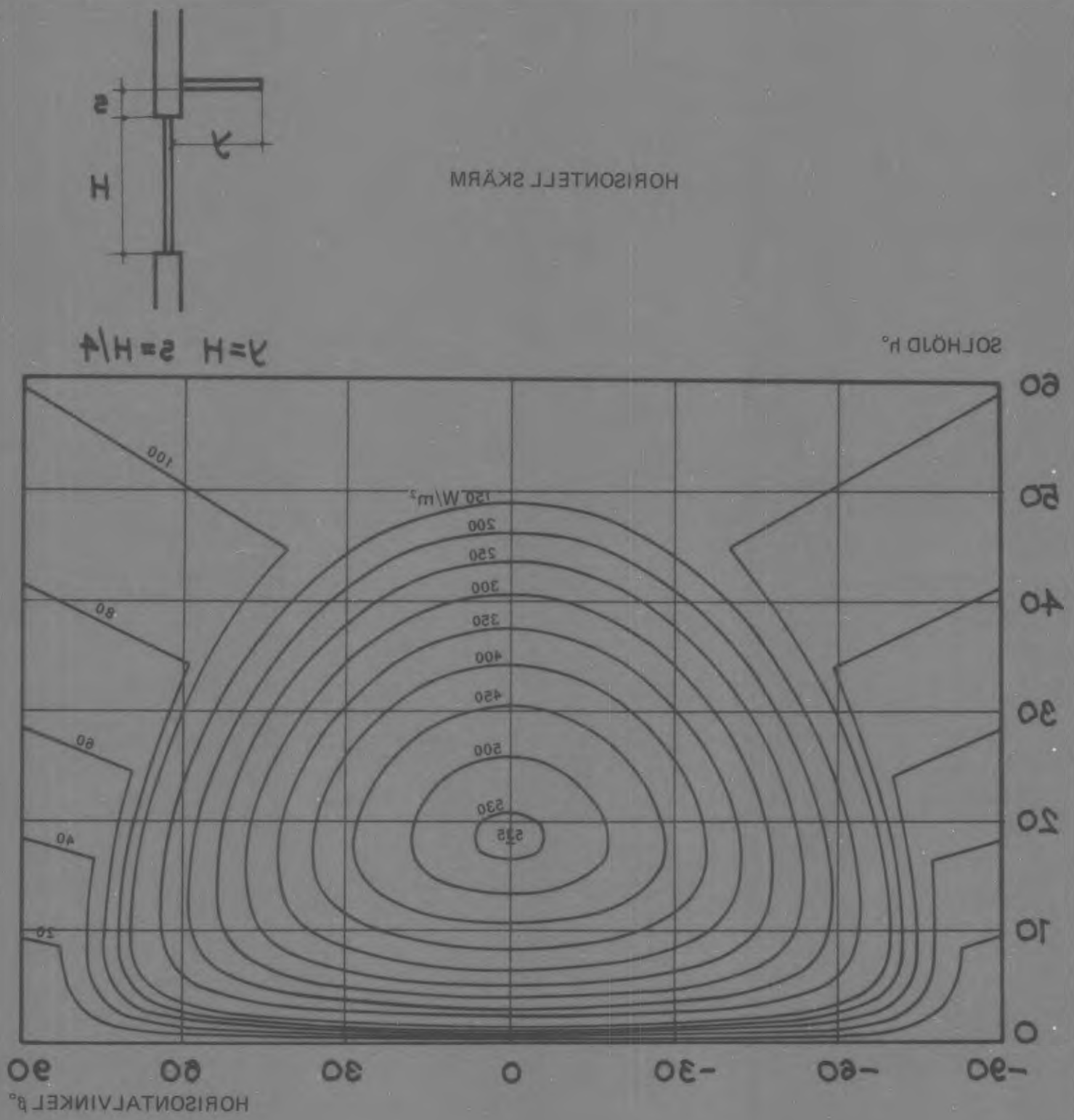


FIG. I:21 Horisontell skärm

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut 1 fönsterhöjd och är placerad 1/4 fönsterhöjd ovanför fönstret. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .



HORISONTELL SKÄRM

SOLHÖJD  $h^\circ$

$\gamma = H$   $\gamma = H/4$

HORISONTALVINKEL  $\alpha^\circ$

FIG. I:21 Horisontell skärm  
 Diagram för bestämning av instålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maja - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med en horisontell skärm ovanför fönstret. Skärmen sticker ut 1 fönsterhöjd och är placerad 1/4 fönsterhöjd ovanför fönstret. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

## VERTIKAL SKÄRM

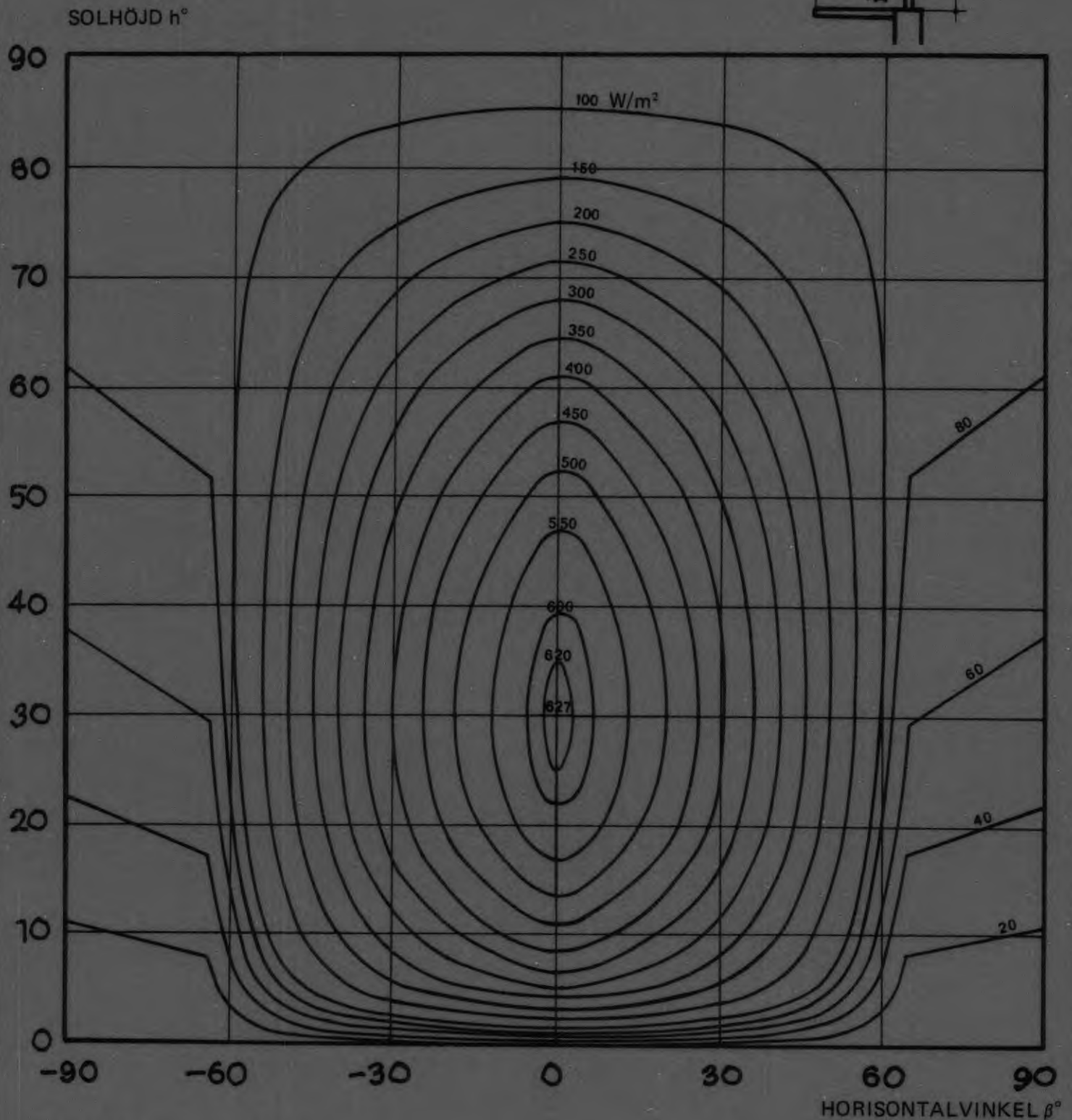
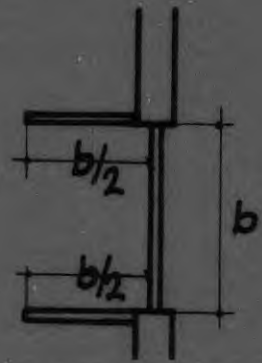


FIG. I:22 Vertikala skärmar

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut  $1/2$  fönsterbredd och är placerade vid fönstrets kanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .

VERTIKAL SKÄRM

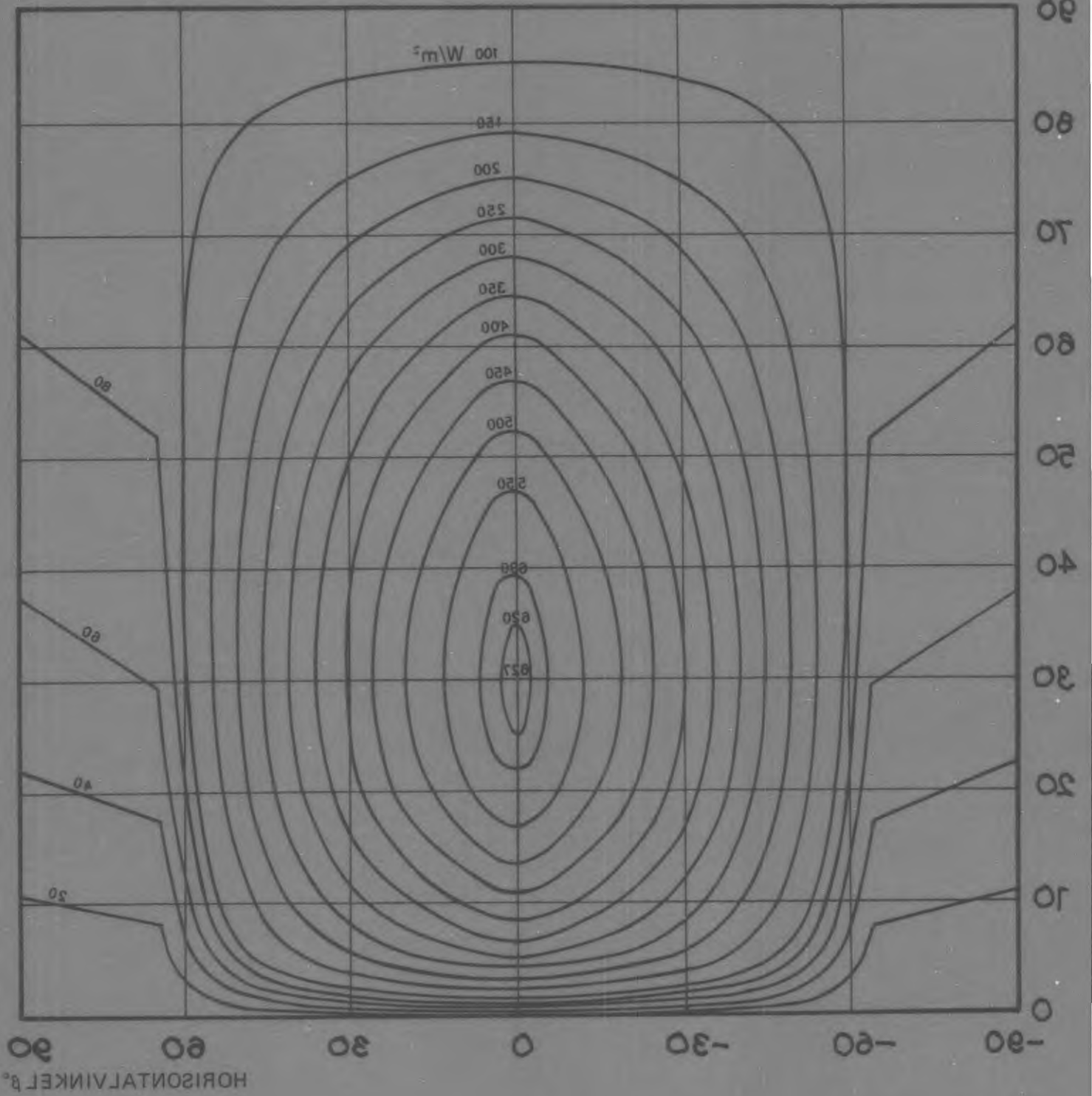
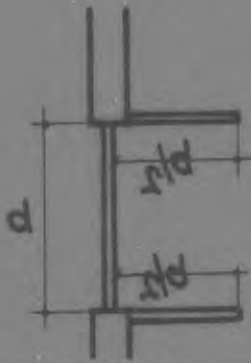


FIG. I:22 Vertikala skärmar  
 Diagram för bestämning av installerad värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut 1/2 fönsterbredd och är placerade vid fönstrets kanter. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

## VERTIKAL SKÄRM

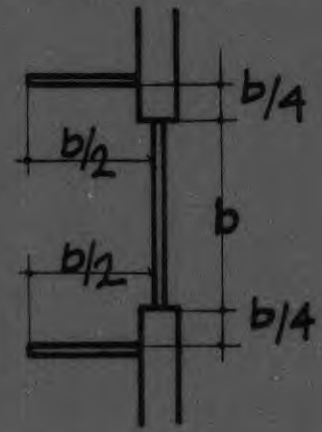
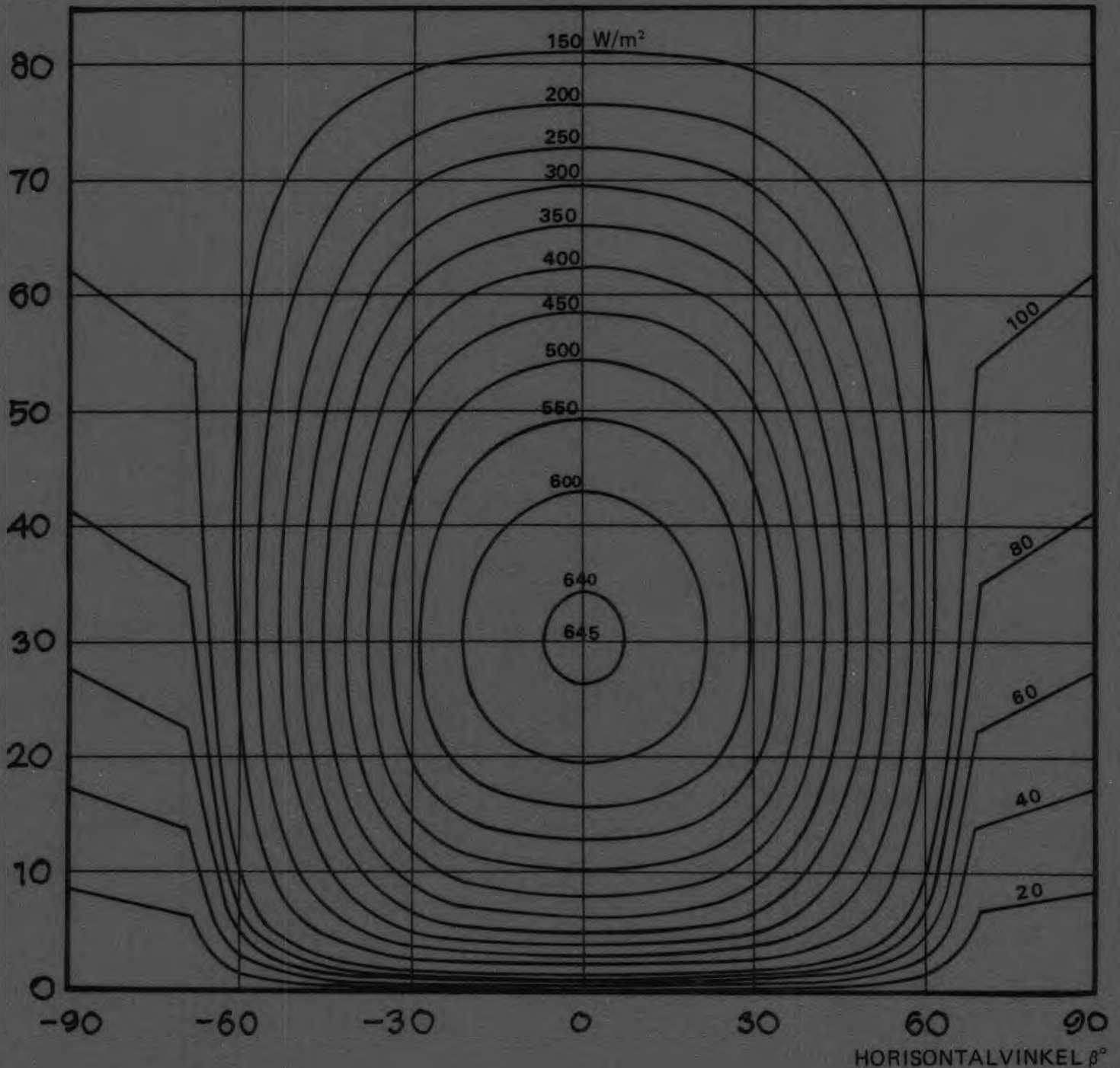
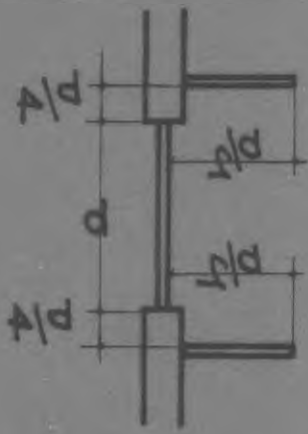
SOLHÖJD  $h^\circ$ 

FIG. I:23 Vertikala skärmar

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut  $1/2$  fönsterbredd och är placerade  $1/4$  fönsterbredd från fönstrets sidokanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .



VERTIKAL SKÄRM

SOLHÖJD  $h^\circ$

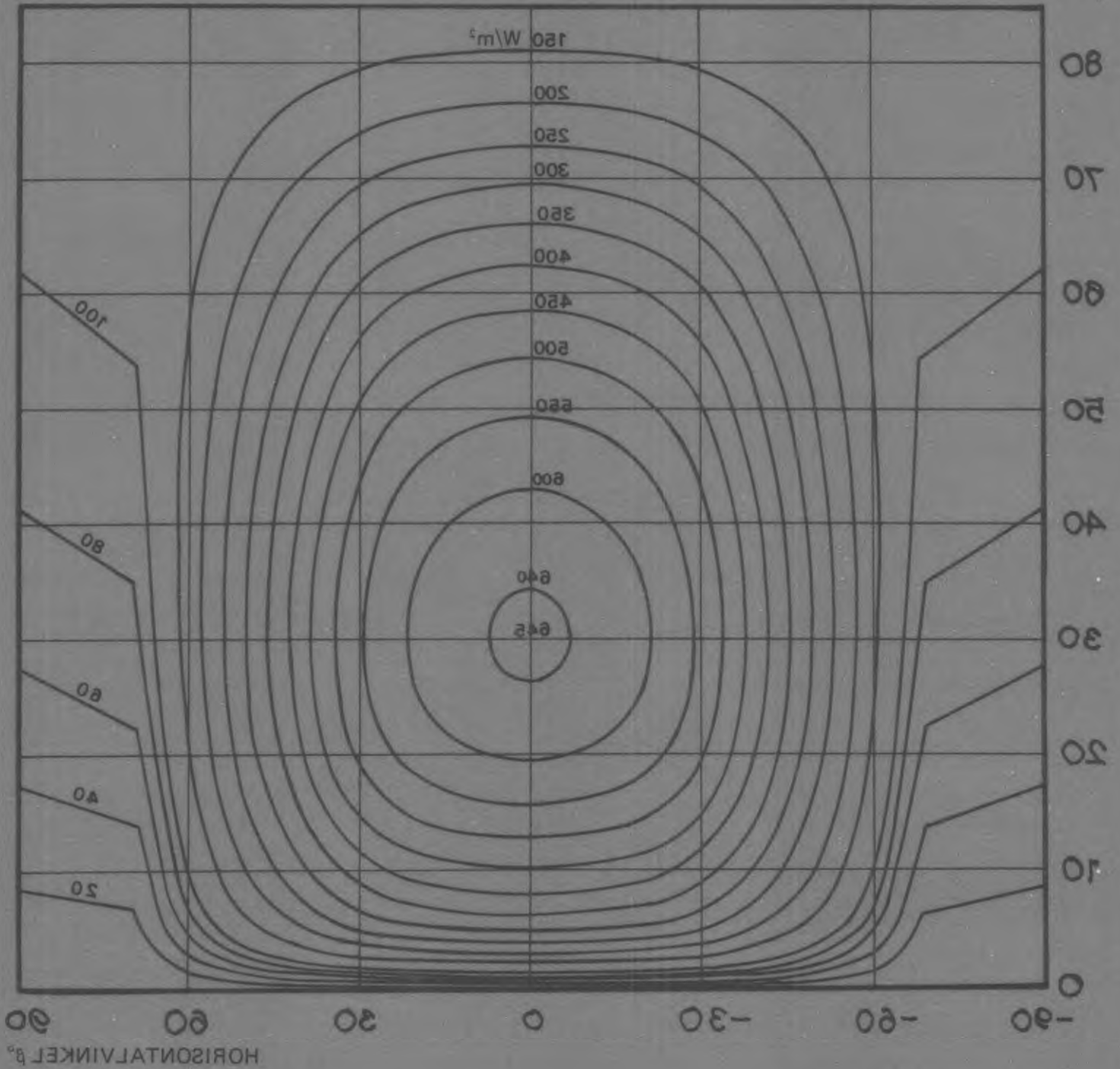


FIG. I:23 Vertikalskärm  
 Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikalskärm vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut 1/2 fönsterbredd och är placerade 1/4 fönsterbredd från fönstrets sidokanter. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

## VERTIKAL SKÄRM

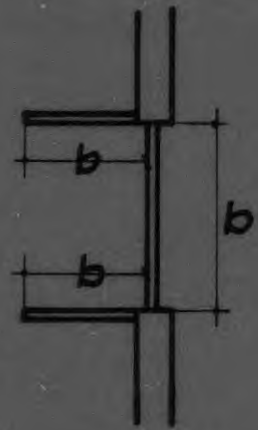
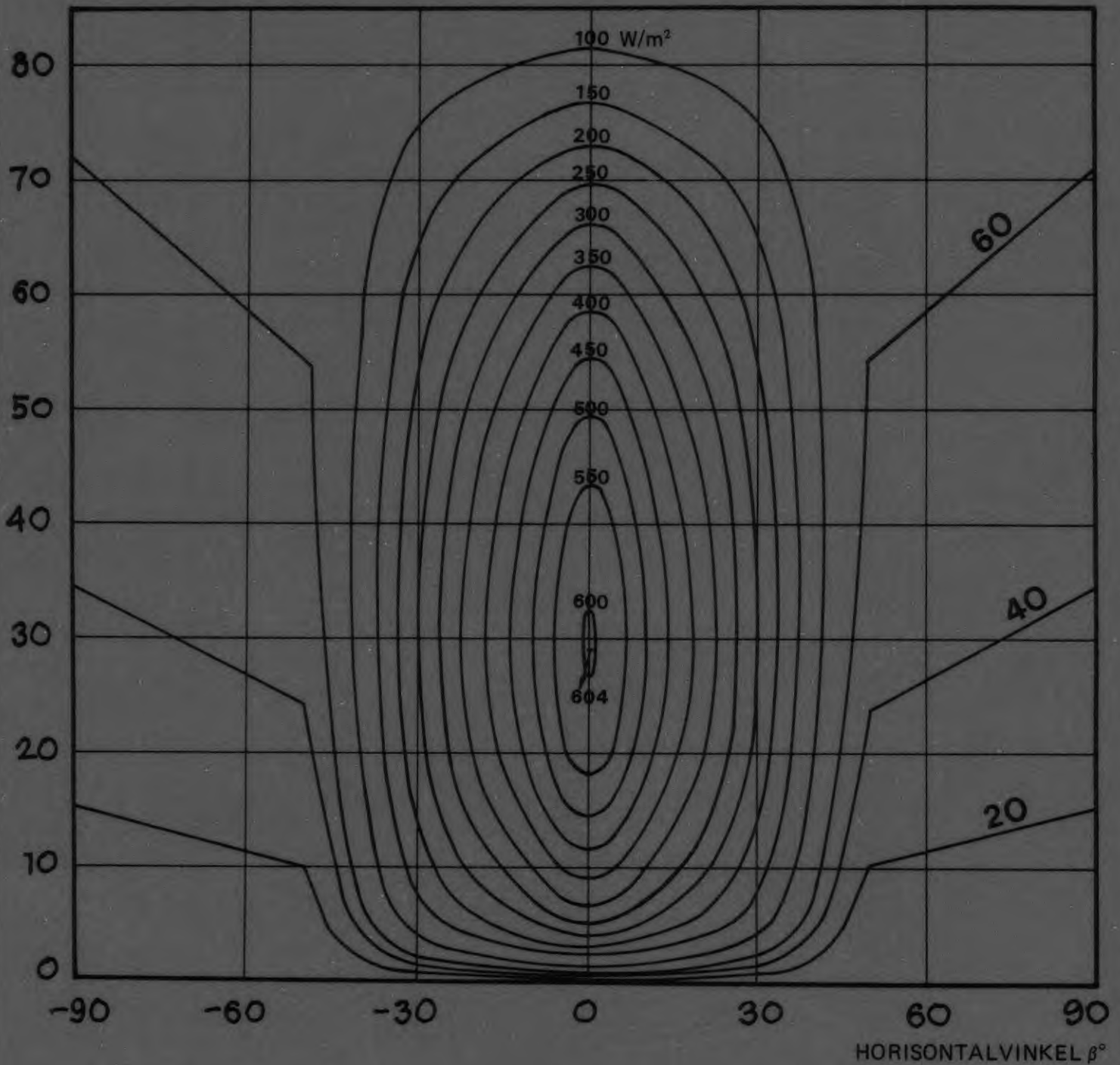
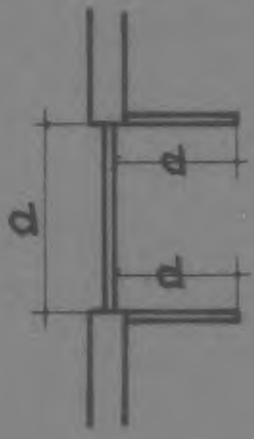
SOLHÖJD  $h^\circ$ 

FIG. I: 24 Vertikala skärmar

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut 1 fönsterbredd och är placerade vid fönstrets kanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .



VERTIKAL SKÄRM

SOLHÖJD H°

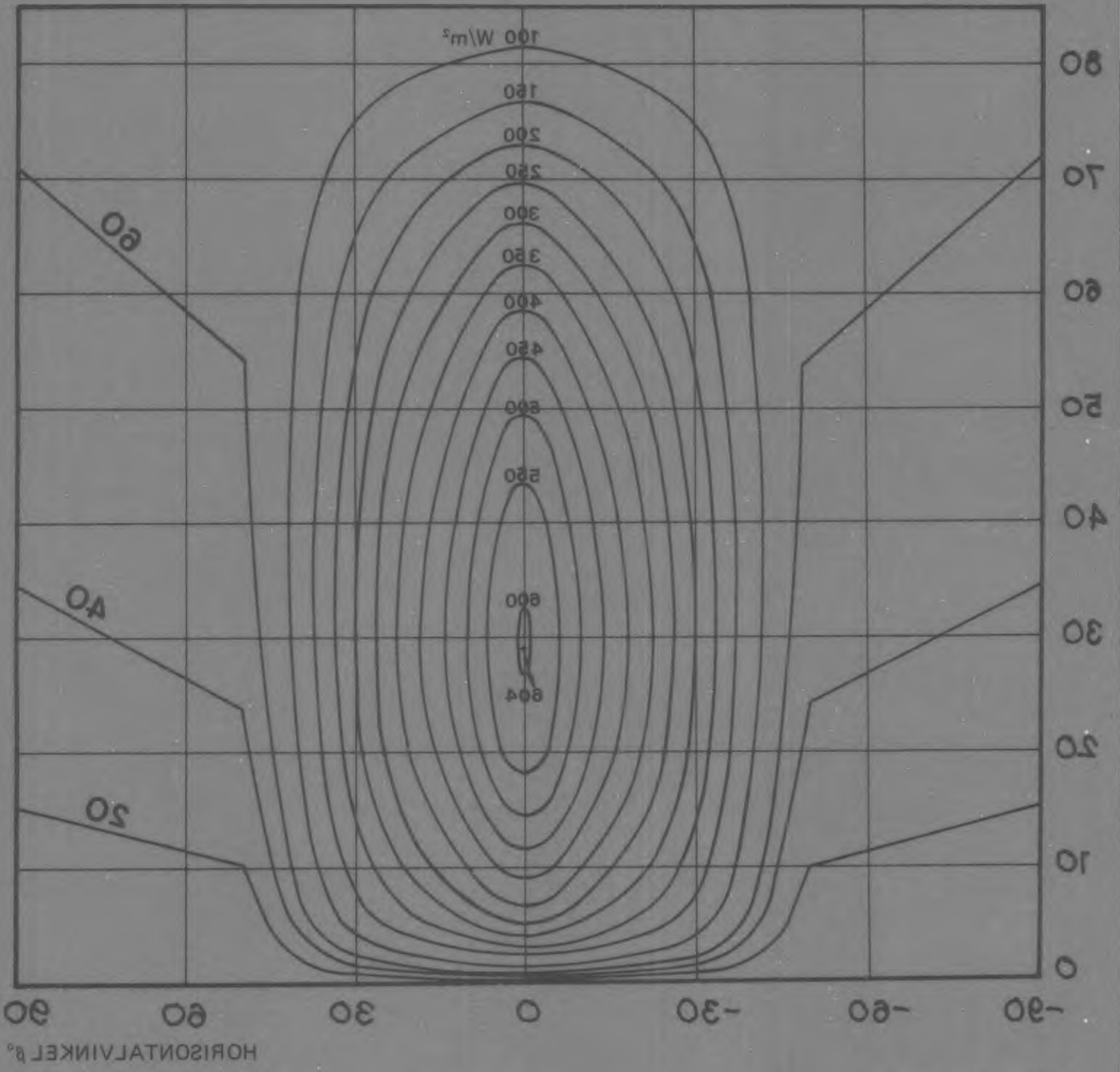


FIG. I:24 Vertikala skärmar  
 Diagram för bestämning av installerat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarnas stöcker ut i fönsterbredd och är placerade vid fönstrets kanter. Markreflexion 25%. Enhet W/m²



## VERTIKAL SKÄRM

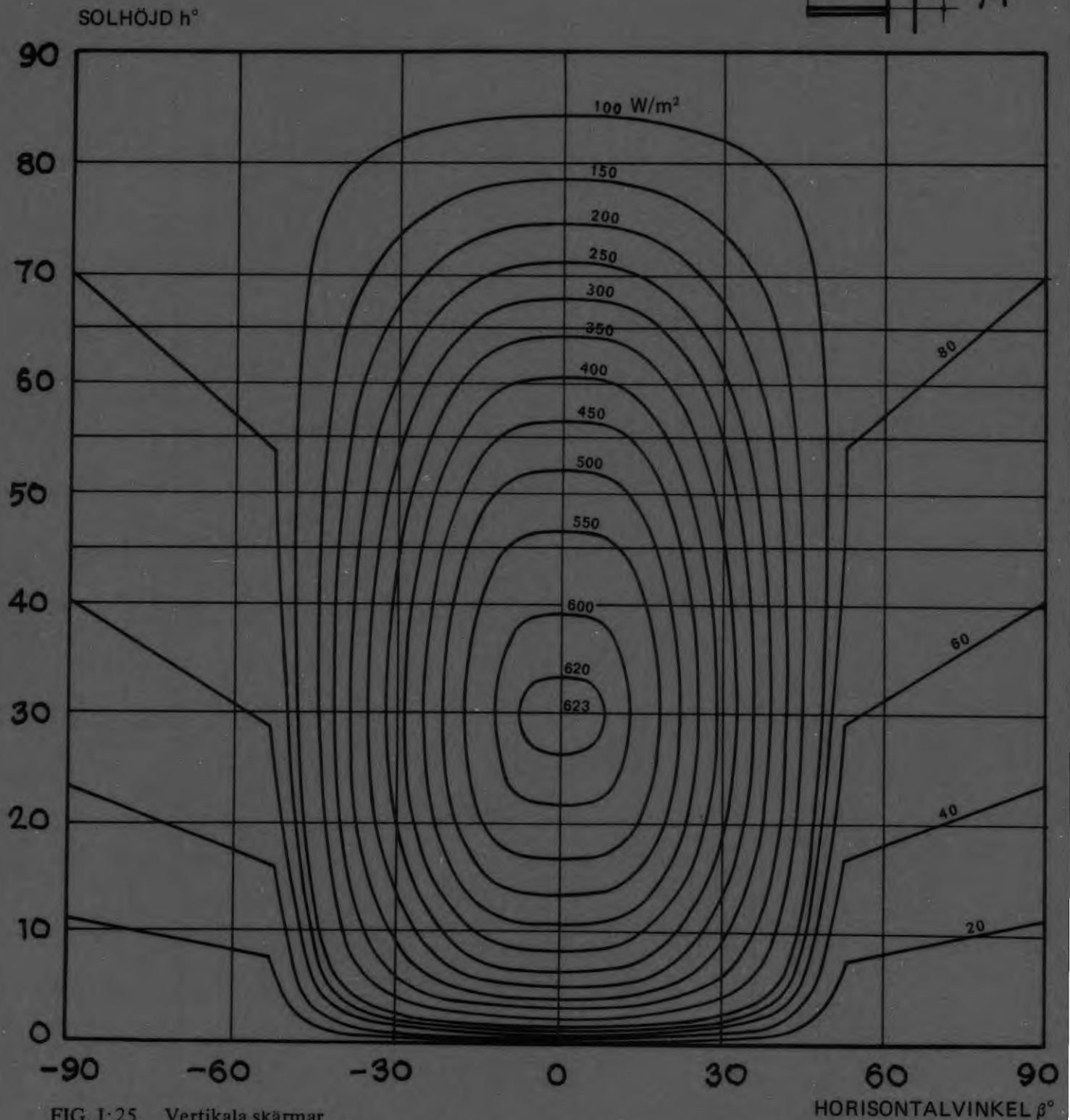
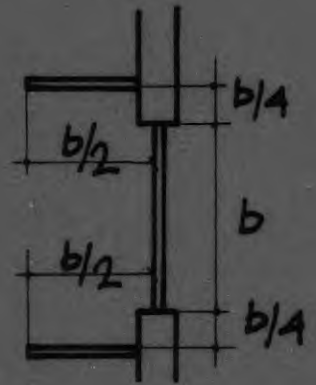


FIG. I:25 Vertikala skärmar

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut 1 fönsterbredd och är placerade  $1/4$  fönsterbredd från fönstrets sidokanter. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .

VERTIKAL SKÄRM

SOLHÖJD  $h_s$

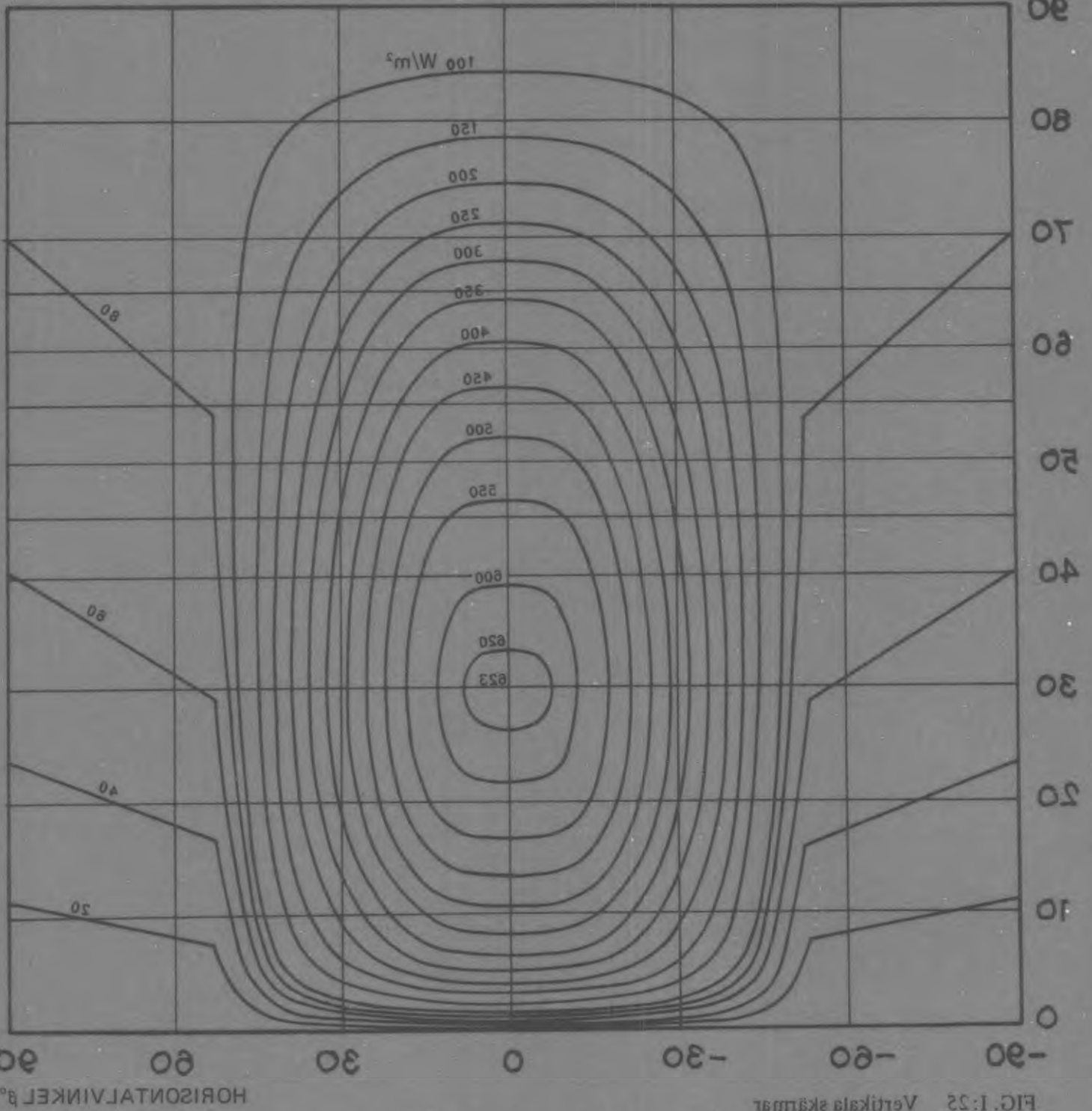
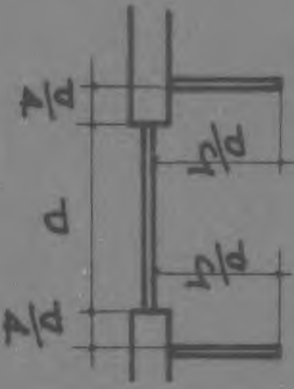


FIG. I:22

Vertikala skärmar

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas med vertikala skärmar vid sidan av fönstret. Skärmarna sticker ut i fönsterbredd och är placerade  $1/4$  fönsterbredd från fönstrets sidokanter. Markreflexion 22%. Enhet  $W/m^2$ .

HORISONTALVINKEL  $\beta$



Indraget 1/5 kantlängd

Karmbredd 1/20 kantlängd

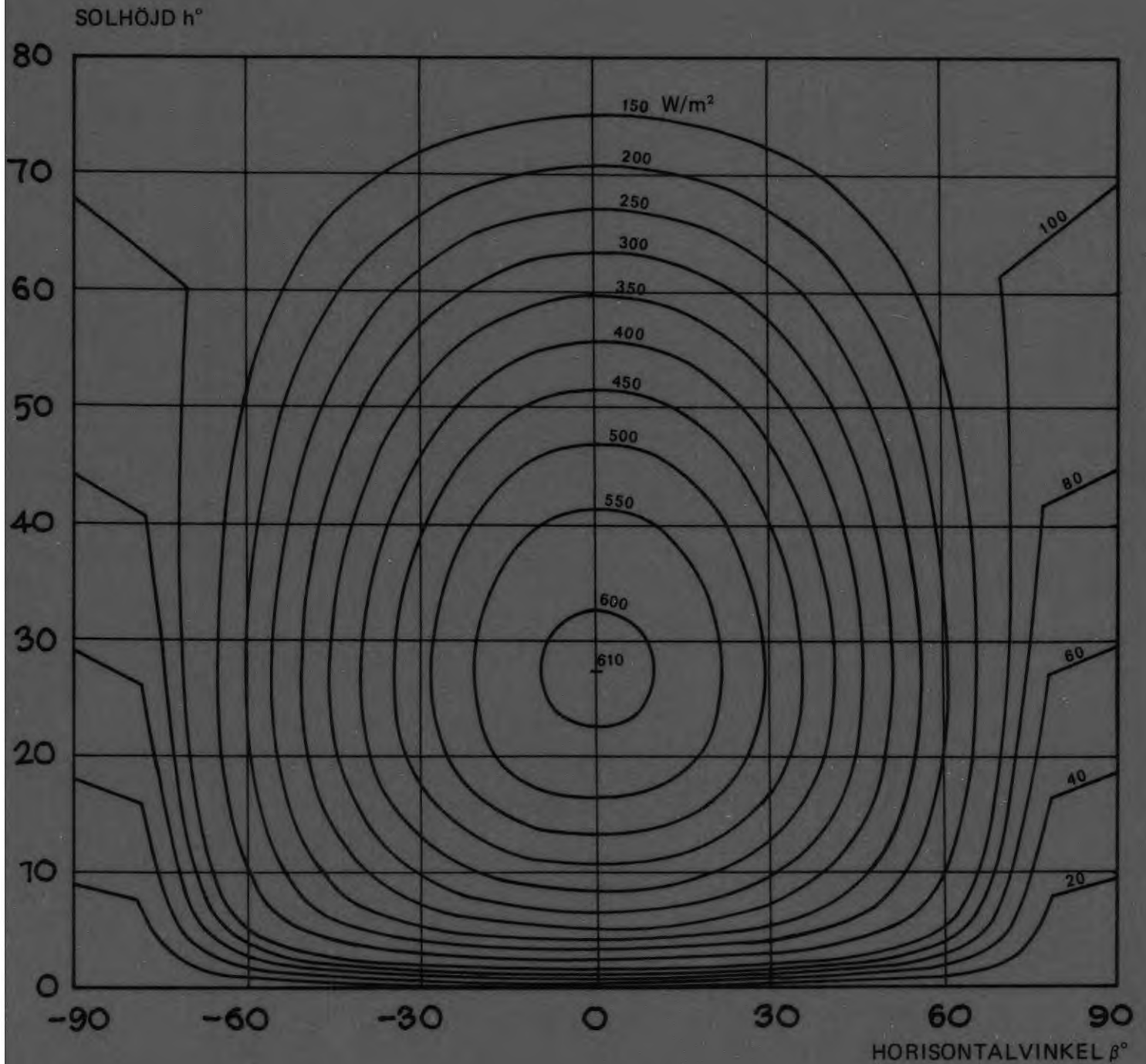


FIG. I:26 Indraget fönster

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadriskt och indraget 1/5 kantlängd samt försett med en karm med bredden 1/20 av kantlängden. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

Karriärrad 1\20 kantlängd  
 Indraget 1\5 kantlängd

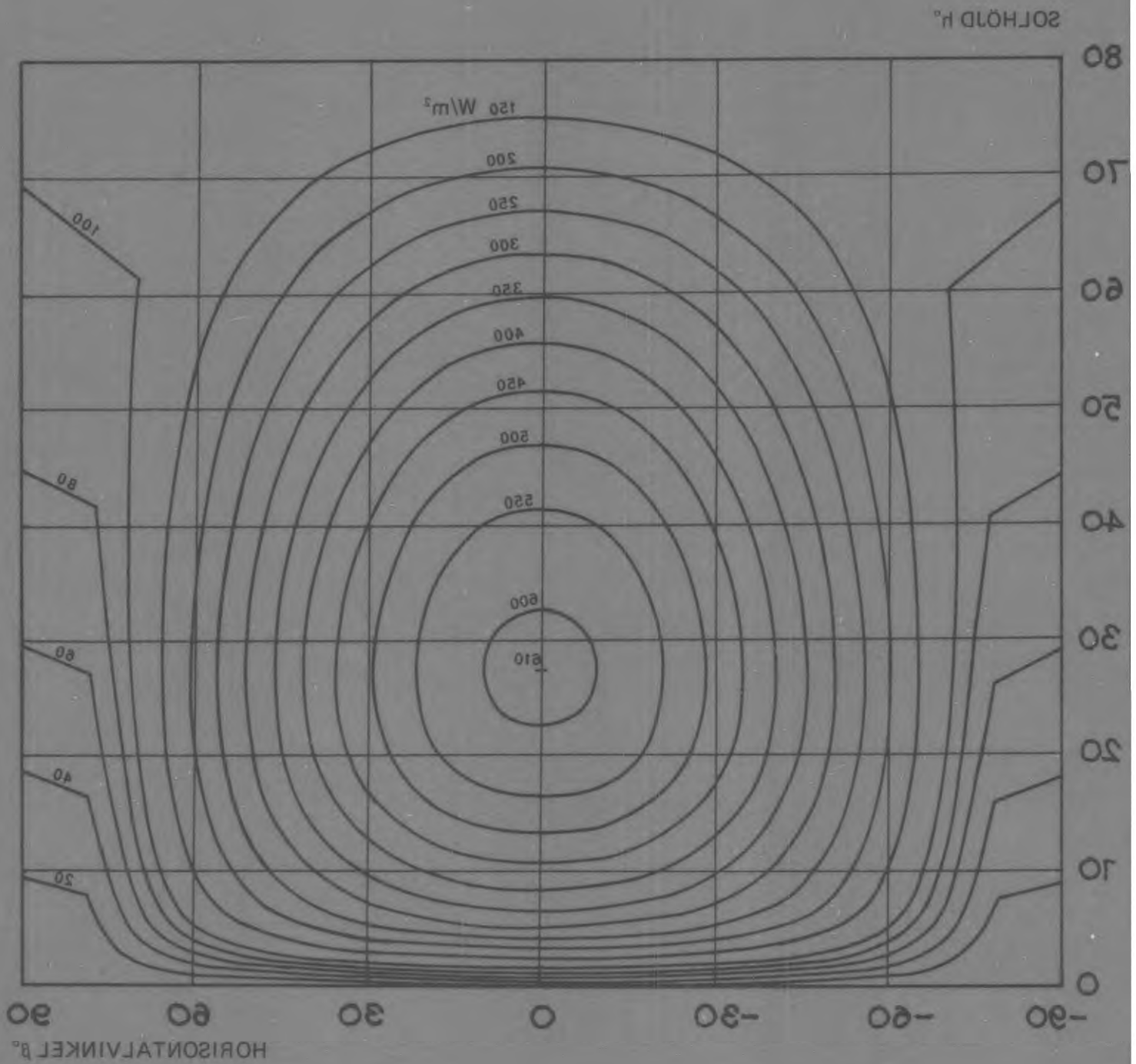


FIG. 1:26  
 Indraget fönster  
 Diagram för bestämning av instålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag  
 (maj - sept.) genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget 1\2 kantlängd samt försedd med en karm med bredden 1\20 av kantlängden.  
 Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

Indraget 1/2 kantlängd

Karmbredd 1/20 kantlängd

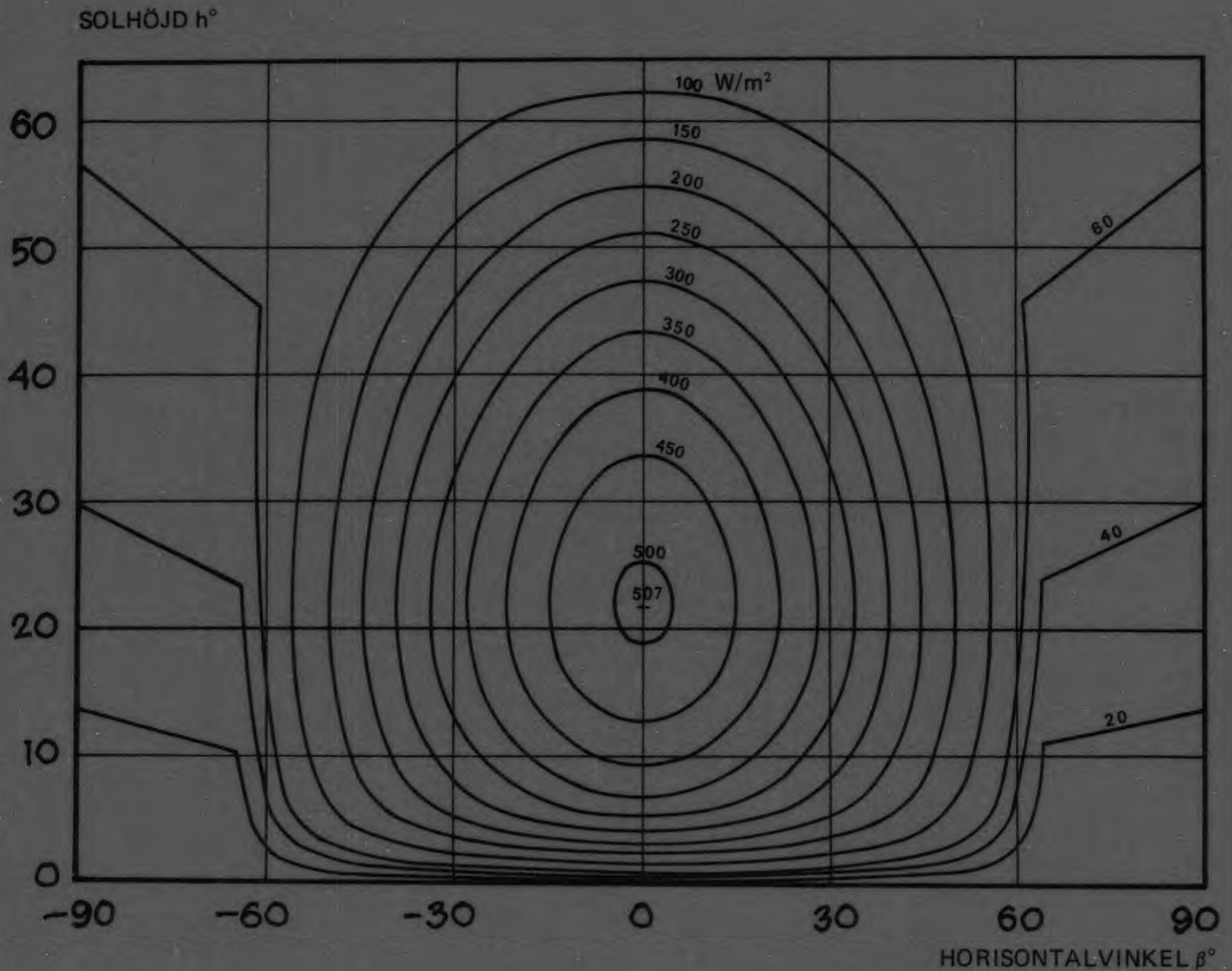


FIG. I:27 Indraget fönster  
Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget 1/2 kantlängd samt försett med en karm med bredden 1/20 av kantlängden. Markreflexion 25%. Enhet W/m<sup>2</sup>.

Karmlängd 1\20 kantlängd  
 Indraget 1\2 kantlängd

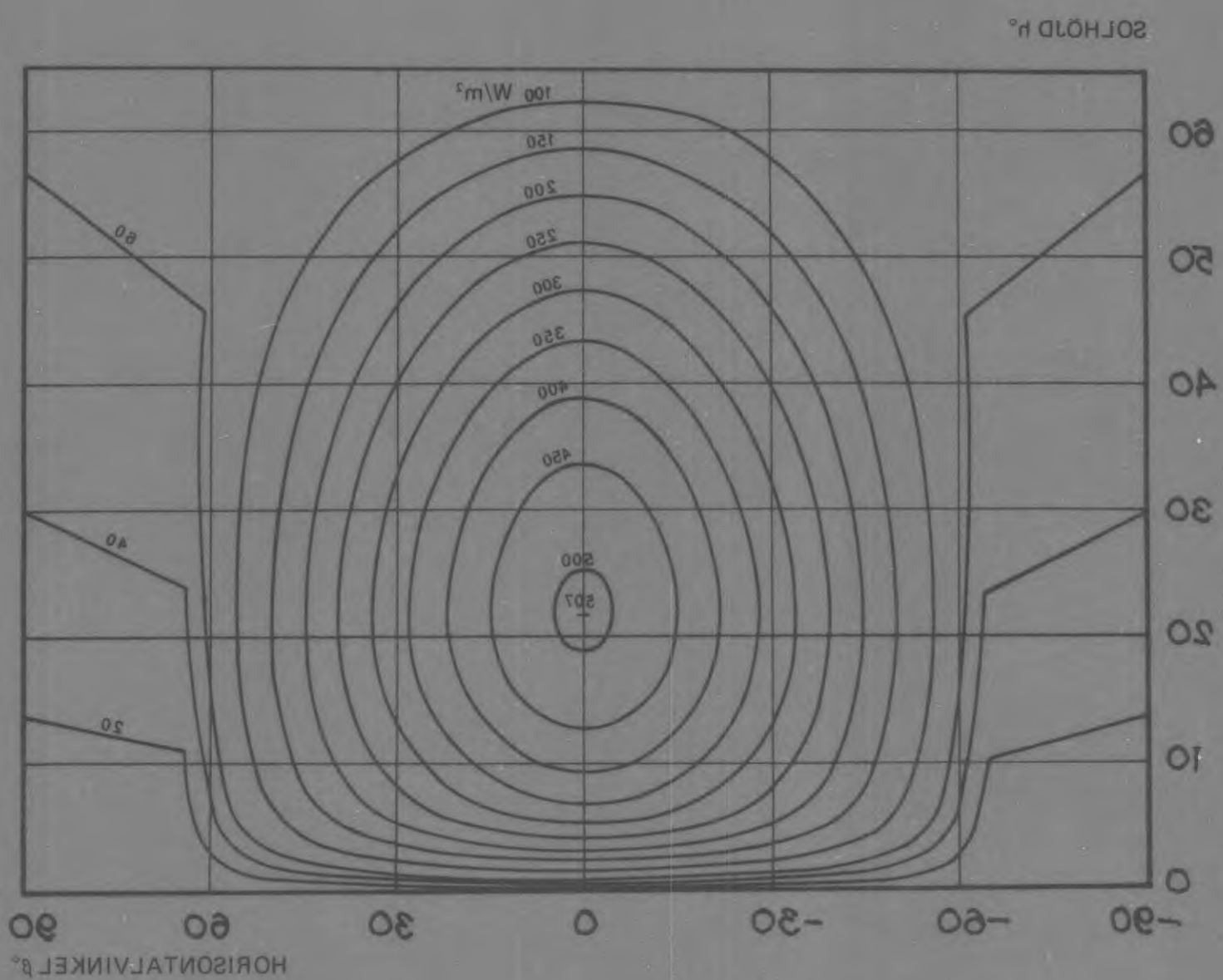


FIG. I:27  
 Indraget fönster  
 Diagram för bestämning av installerat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommardag (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget 1\2 kantlängd samt försedd med en karm med bredden 1\20 av kantlängden. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .

Indraget 1 kantlängd

Karmbredd 1/20 kantlängd

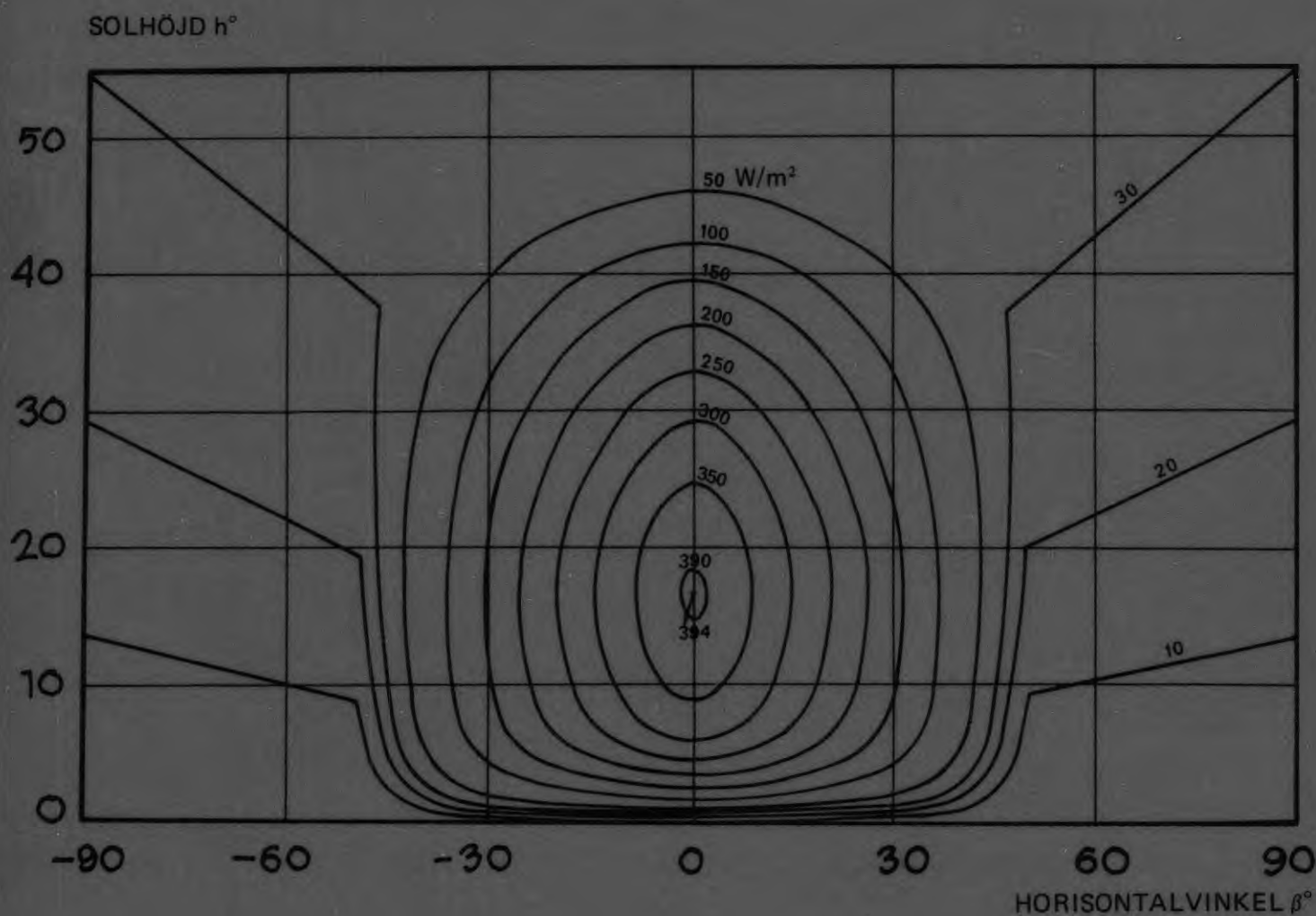


FIG. I:28 Indraget fönster

Diagram för bestämning av instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar sommartid (maj – sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget 1 kantlängd samt försett med en karm med bredden 1/20 av kantlängden. Markreflexion 25 %. Enhet  $W/m^2$ .

Kärlbredd 1\20 kantlängd  
 Indraget i kantlängd

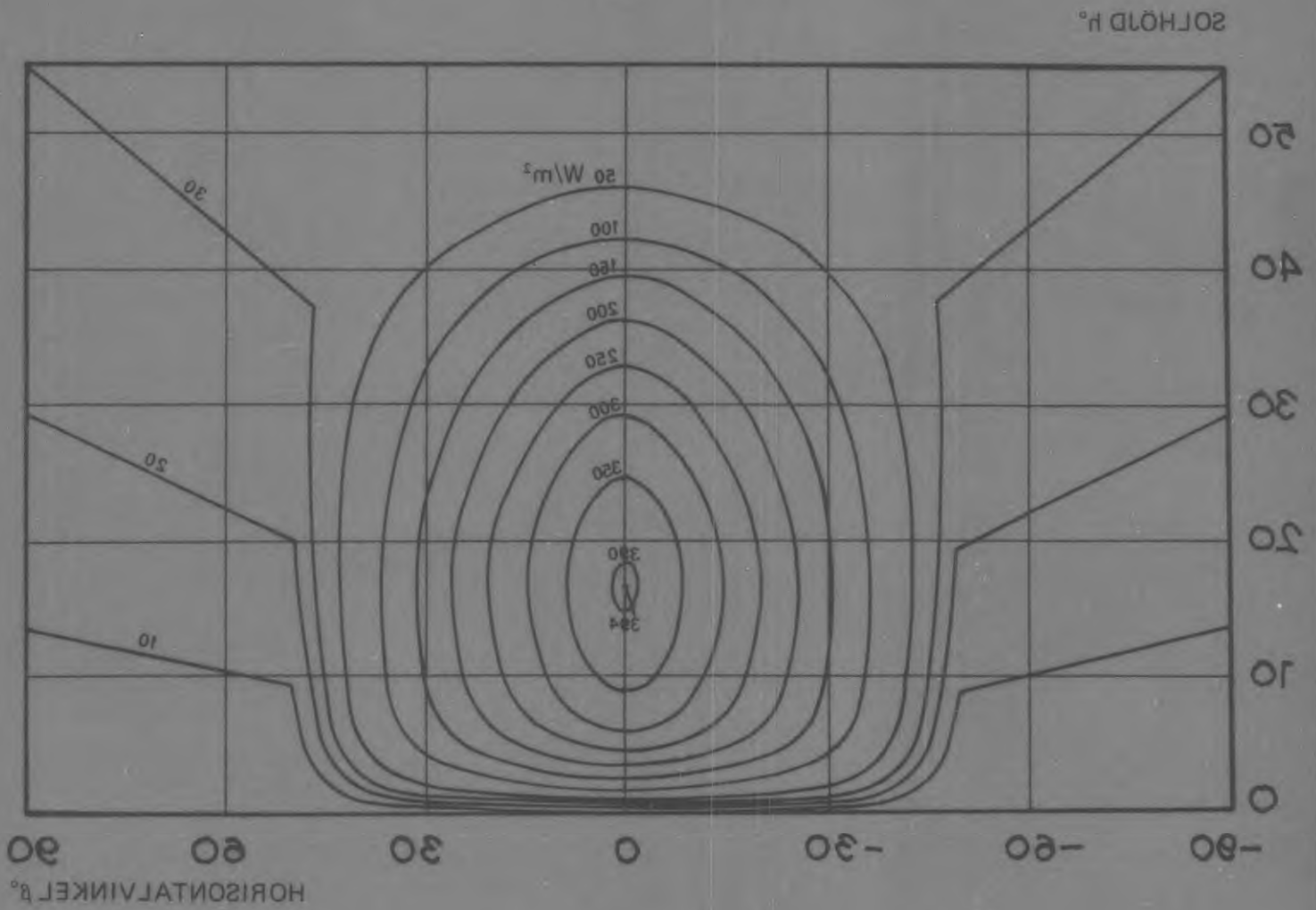


FIG. I:28

Indraget fönster  
 Diagram för bestämning av inställt värme från sol, himmel och mark klara dagar sommertid (maj - sept), genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt fönsterglas. Fönstret är kvadratisk och indraget i kantlängd samt försedd med en karm med bredden 1\20 av kantlängden. Markreflexion 25%. Enhet  $W/m^2$ .



R19:1974

Denna rapport avser anslag D 705 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm

Grupp: installation

Pris: 80 kronor + moms