

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

meddelse nr. 4

SOLAFSKÆRMNING AF VINDUER

af

Vagn Korsgaard

MÅLING AF SOLINDFLADET GENNEM FORSKELLIGE
TYPER VARMEABSORBERENDE VINDUESRUDER

af

Th. Lund Madsen

særtryk af Ingeniøren nr. 3, 1962

Solafskærmning af vinduer

Af docent, civilingeniør Vagn Korsgaard
Laboratoriet for Varmeisolering, D. T. H.

I artiklen omtales fordele og ulemper ved solindfaldet gennem vinduer, og de forskellige afskærmningsmuligheder omtales tillige med deres effektivitet. Der fremsættes synspunkter til støtte for at arbejdsrum, specielt klasseværelser, orienteres med vinduesfacader mod nord. I et eksempel vises, hvorledes temperaturforløbet i et sydvendt værelse bliver en klar forårsdag.

69.028.2

Det er først efter den sidste verdenskrig, hvor de store vinduers arkitektur er blevet almindelig, at de uheldige varmekirkinger af solindfaldet er blevet et alvorligt problem. Det gælder ikke blot her i landet, men overalt hvor den moderne glasarkitektur dyrkes. De internationalt bedst kendte eksempler på solindfaldets ubehagelige følger er FN-bygningen i New York, Unesco-huset i Paris og sundhedsministeriets bygning i Rio de Janeiro. Her i landet har vi som bekendt også adskillige kendte nye bygninger med samme skavank.

I vort klima burde solen altid være en velkommen gæst, men når den undertiden ikke er det, er det vor egen skyld, fordi vi ikke forstår at modtage og behandle den rigtigt i vore huse.

Solindstrålingen gennem vinduer kan være behagelig eller ubehagelig. Udfra et psykologisk synspunkt er solstrålingen oftest stimulerende, fordi den stærke belysning, skyggerne og de kontraster, som opstår mellem solbelyste og ikke solbelyste partier i vore omgivelser, indvirker på vor foretagsomhed og humør. Den fysiologiske og hygiejniske betydning af sollyset er antagelig også af nogen betydning, selvom virkningen svækkes stærkt ved passage igennem vinduesglas. Den forøgelse af varmekønnelsen, som solstrålingen giver anledning til, vil af de fleste føles

behagelig, når den ikke bliver for kraftig. Energimæssigt vil solstrålingen også være fordelagtig, såfremt vi forstår at udnytte den, idet der herved kan spares energi til såvel kunstigt lys som varme.

Først når solindstrålingen bliver for stor, opstår der ulemper. En ulempe opstår, når sollyset bliver så kraftigt eller falder på en sådan måde, at det virker blændende. En anden ulempe opstår, når varmeenergien af den indfaldende solstråling bliver så stor, at den bevirker en overophedning af rummene. Den første ulempe er forholdsvis let afhjulpel ved anvendelse af gardiner eller persienser, som ganske vist medfører, at udsigten gennem vinduet formindskes. Om dette er en ulempe, afhænger af omstændighederne. Den anden ulempe, overophedningen, kan undertiden blive så stor, at de pågældende rum må betragtes som uanvendelige som arbejdsrum. For at mindske denne overophedning, benytter man en række forskellige afskærmningsmetoder, der kan inddeles i følgende hovedgrupper:

1. indvendig afskærmning
2. afskærmning mellem to lag glas
3. varmeabsorberende glas
4. udvendig bevægelig afskærmning
5. udvendig fast afskærmning

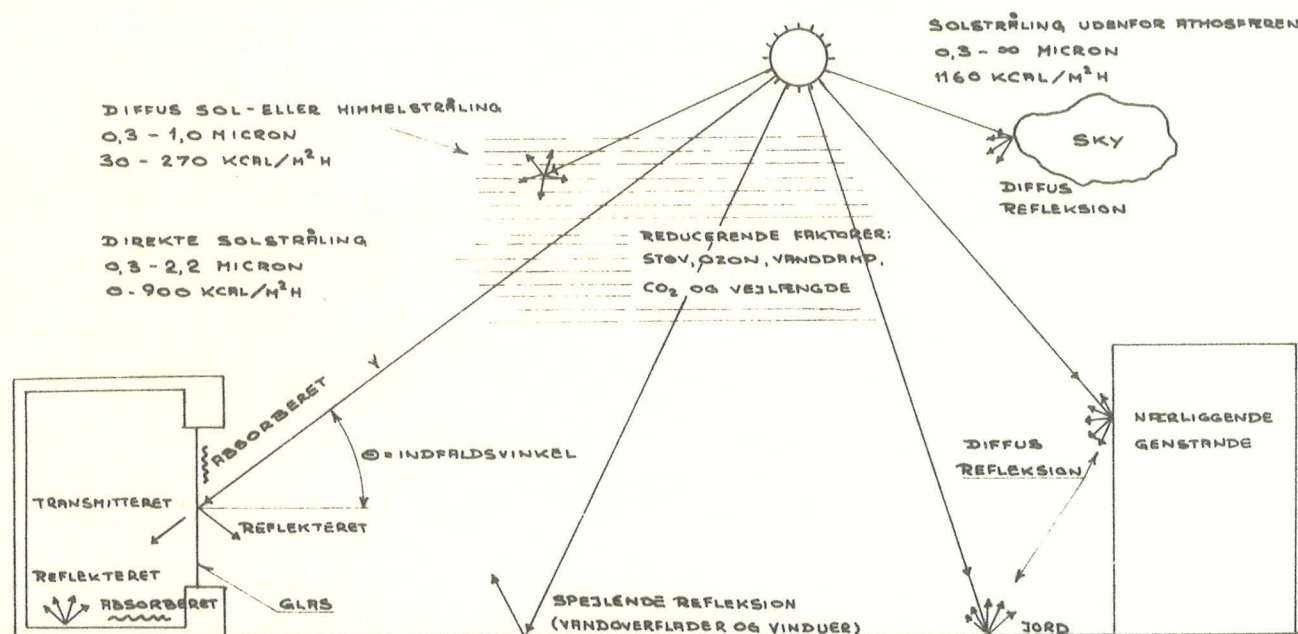


Fig. 1. Forskellige former for solstråling.

Hver af disse hovedgrupper kan inddeles i en række undergrupper, indenfor hvilke der forekommer en lang række forskellige udførelsesformer. Afskærmningernes effektivitet vil stort set vokse i den anførte rækkefølge. Amerikanerne har som mål for afskærmningens effektivitet indført en størrelse, som benævnes afskærmningsfaktoren (shade factor), som vil blive omtalt nærmere i det følgende i forbindelse med en nærmere omtale af de enkelte afskærmningsmetoder.

Solstråling.

Intensiteten af solstrålingen udenfor jordens atmosfære er beregnet

til $1160 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$ (solarkonstanten). Om-

kring 43 % af denne stråling når jordoverfladen, enten direkte (27 %) eller som diffus himmelstråling (16 %), medens ca. 15 % absorberes af atmosfæren. Den direkte solstråling og den diffuse himmelstråling kaldes tilsammen for globalstrålingen. På fig. 1 er anskueliggjort de forskellige former for diffus stråling.

Solen kan i strålingshensende betragtes som et absolut sort legeme med temperaturen 6000 °K. Den spektrale fordeling fremgår af fig. 2. Solintensitetens variation med solhøjden er vist på fig. 3.

Vindues varmebalance.

Varmebalancen for et uafskærmet glasareal er skematisk vist på fig. 4.

Den varmemængde, Q , der tilføres rummet fra glassets indvendige overflade bliver:

$$Q = A - B + C + D + E$$

Den ved konvektion til rumluften afgivne varmemængde, D , kan være både positiv og negativ afhængig af, om glassets indvendige overfladetemperatur er højere eller lavere end rumluftens temperatur. Strålingen fra glassets indvendige overflade $A + C + E$ vil ikke straks gøre sig gældende med sin fulde vægt på rumtemperaturen, idet kun en del af den synlige stråling vil reflekteres fra rummets indvendige begrænsningsflader og inventar afhængig af disses farve. Resten af den synlige stråling og hovedparten af den mørke del af strålingen vil i første omgang absorberes af inventaret og de indvendige begrænsningsflader, hvorved disse vil opvarmes med en vis tidsforsinkelse afhængig af deres varmeakkumuleringssevne, inden de ved konvektion igen afgiver varmen til rumluften. Denne tidsforsinkelse må anses for særdeles fordelagtig, da den bevirker en udjævning af temperaturforløbet i rummet. De af et rums begrænsningsflader, der kan solbeskinnes, normalt gulv og indervæg, bør derfor udføres med stor varmeakkumuleringssevne.

Glassets strålingstransmission er forskellig for forskellige dele af solspektret. På fig. 2 er indtegnet den spektrale transmission for et almindeligt vinduesglas. I det yderste ultraviolette absorberer glasset næsten al stråling, så kun meget lidt slipper igennem. Da det er denne del af sollyset, der er mest bakteriedræbende og virksom ved dannelse af vitaminer i huden, er sollysets hygiejniske og fysiologiske betydning blevet svækket stærkt ved passage gennem glasset. I det langbølgede ultraviolette er transmissionen bedre, og

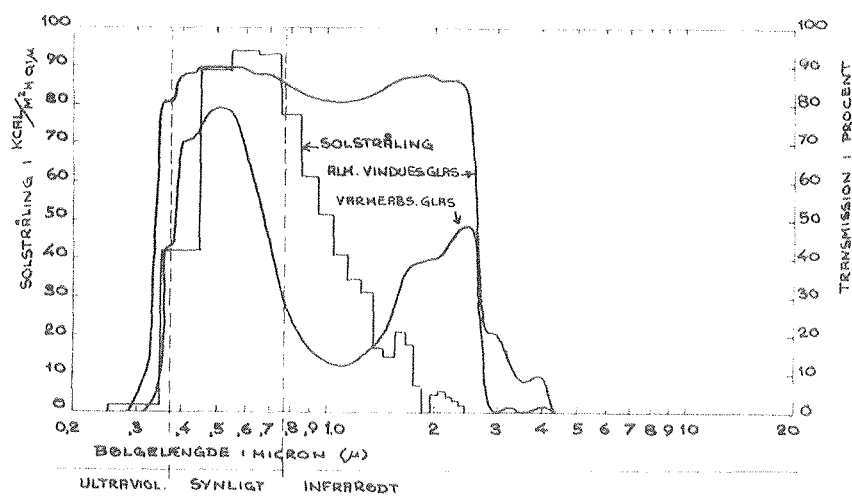


Fig. 2. Solstrålingens spektrale fordeling og transmissionsevn for glas.

for stråling indenfor det synlige område er den høj, op imod 90 % for de bedste glassorter. I den infrarøde del synker transmissionen igen, hvor meget afhænger af glassets jernindhold (Fe_2O_3).

Afskærmningsmetoder.

Som mål for afskærmningens effektivitet benyttes som nævnt afskærmningsfaktoren, F , der kan defineres som forholdet mellem det totale varmeindfald gennem det afskærmede vindue minus konvektions og strålingsvarmeafgivelsen fra indersiden af et uafskærmet enkelt lag almindeligt glas og den totale solenergi, som transmitteres igennem et enkelt lag uaf-

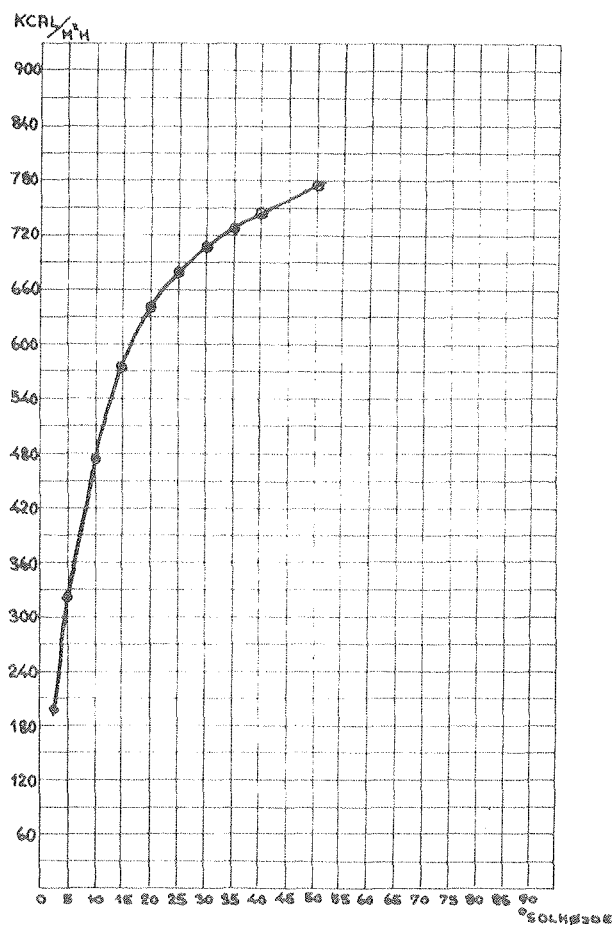


Fig. 3. Intensiteten i klart vejr af den direkte solstråling i afhængighed af solhøjden.

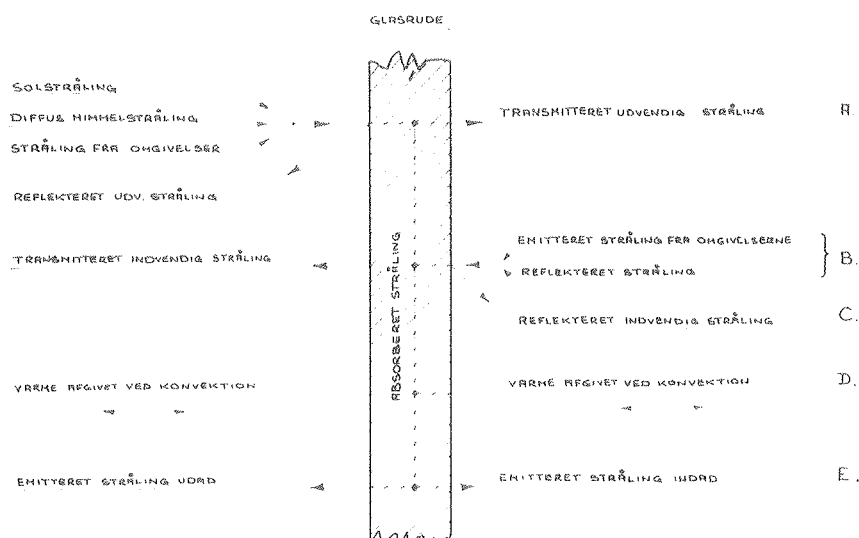


Fig. 1. Varmebalancen for en vinduesrudd.

skærmet almindeligt glas, eller idet betegnelserne fra fig. 1 benyttes, hvor $Q = A - B + C + D + E$ fås

$$F = \frac{Q \text{ for afskærmet vindue} - (Q - A) \text{ for uafskærmet enkelt glas}}{A \text{ for uafskærmet enkelt glas}}$$

Det ses, at F højst kan blive 1, og at afskærmningen er mest effektiv for små værdier af F .

Afskærmningsfaktoren angives normalt, når solen står i en plan vinkelret på vinduet. Værdien vil for en række afskærmningers vedkommende variere en del med årstiden (solhøjden).

I hosstående tabel er opført værdier af F for en del forskellige afskærmninger.

1. indvendig afskærmning.

De mest benyttede indvendige afskærmninger er gardiner, rullegardiner og persiener.

Et gardins effektivitet afhænger især af stoffets tæthed og farve. Et tæt, lyst gardin og åbentstående vindue bagved gardinet kan give en udmærket solafskærmning af vinduet. Det samme gælder et rullegardin, som dog i de sædvanlige udførelser må betragtes som en ret primitiv form for solafskærmning.

Persiener med drejelige lameller har i en række forskellige udførelser vundet stor udbredelse her i landet, vel i første række som afløser af rullegardinet med henblik på at kunne skærme boligen mod indblik udefra. Persiener er velegnede til regulering af belysningen i rummene, men er ikke mere effektiv til solafskærmning end gardiner.

For de tre omtalte typer afskærmning gælder, at de ikke er særlig effektive med hensyn til at holde solvarmen ude, idet de absorberer hele den mørke del af solstrålingen og en ikke ubetydelig del af den lyse stråling. Herved opvarmes gardinet eller persiennen betydeligt og afgiver derefter varmen ved konvektion til luften. En væsentlig forøgelse af virkningen kan opnås, såfremt vinduet bagved holdes åbent. I vort blæsende klima er dette dog kun forholdsvis sjældent muligt.

2. Afskærmning mellem to lag glas.

Den mest almindeligt benyttede afskærmningsmetode af denne art er at anbringe en almindelig persienne med drejelige lameller i mellemrummet mel-

lem forsatsvinduet og ydervinduet eller mellem de to lag glas i et koblet vindue. For at afskærmningen skal være så effektiv som mulig, skal lamellerne være metalblanke og indstilles således, at de reflekterer strålerne udefter. Forår og efterår medfører dette, at persiennen skal være helt lukket, men herved udelukkes ikke alene solvarmen, men også sollyset, således at der bliver for mørkt i lokalet. Er lamellerne lakerede, vil de reflektere solstrålingen diffust, hvorved den afskærmende virkning nedsættes betydeligt.

I Sverige benyttes undertiden i stedet for persiener jalousier af plisseret papir. Den afskærmende virkning er en hel del større end for persiener. Holdbarheden er ikke helt så god, og de lukker helt for udsynet, til gengæld er de billige.

I U.S.A. er der i de senere år fremkommet en ny type vinduesrudder, hvor der imellem to lag glas er

anbragt et ganske smalt metaljalousi med faste og fastsiddende lameller (fig. 5). Hulrummet mellem glassene kan enten være luftfyldt og forsejlet langs kanten eller være udfyldt med en klar plast. Da lamellerne er fastsiddende med en vinkel på ca. 20° med vandret, vil virkningen være minimal ved denne solhøjde. Først når solhøjden bliver så stor, at lamellerne skygger helt for hinanden, bliver der en mærkbar virkning. Til gengæld vil udsynet gennem vinduet altid være generet af de fastsiddende lameller.

3. Varmeabsorberende glas.

Varmeabsorberende glas' virkning beror på dets indhold af jernilte (Fe_2O_3). Selv ret små mængder, 0,15–0,50 %, har en betydelig virkning. På fig. 2 er indtegnet absorptionskurven for et glas med højt jernindhold. Det ses, at det ikke alene er de infrarøde varmestraler, som absorberes, men også den langbølgede del af det synlige lys, hvilket bevirker, at glasset fremtræder med en blågrøn farve. De bedste glas af denne type absorberer omkring halvdelen af

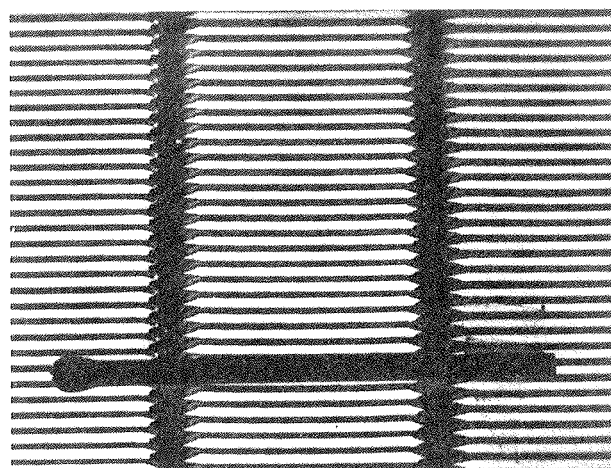


Fig. 5. Metaljalousi indstøbt i glasrudd. Tændstikken viser størrelsesforholdet.

solenergien ved vinkelret stråling. Den absorberede energi bevirker, at glasset varmes op, hvorved energien vil afgives igen dels ved konvektion dels ved langbølget varmestråling. Om sommeren kan omkring halvdelen af den absorberede energi på denne måde afgives indad til rummet, således at det kun bliver omkring 25–30 % af solvarmen, der holdes ude. Dette forhold kan forbedres en del ved at anbringe et lag almindeligt glas indenfor det varmeabsorberende f. eks. i form af en hermetisk lukket dobbelt glastrude, hvor det yderste lag glas er det varmeabsorberende.

For nylig er der fremkommet et plastmateriale, som kan påføres eksisterende vinduer som en tynd hinde, der absorberer omkring 30 % af solstrålingen. Hinden påføres glassets indvendige side for at beskytte den mod vejrliget.

4. Udvendig fast afskærmning.

En udvendig fast afskærmning kan gøres meget effektiv, såfremt den udformes, så den skygger helt for glasarealet.

En måde at opnå denne solafskærmning på er ved at forøge tagudhænget. På vore breddegrader, hvor solen aldrig når højere op end ca. 55° , kan der med tagudhæng af en rimelig størrelse kun opnås en mærkbar afskærmning i sommermånederne for sydfacaden i étplans-huse.

Egentlige solafskærmninger efter dette princip udformes som baldakiner af lodret eller skråtstillede lameller af træ eller metal, se fig. 12. Da det normalt er meget begrænset, hvor langt en sådan baldakin kan rage ud foran facaden, vil den kun være brugbar ved afskærmning af vinduer i sydfacader.

I de senere år ser man undertiden anvendt faste halvtæg af lette, farvede plastbølgeplader, især foran



Fig. 6. Sydfacaden på en standardbygning på den nye D. T. H. i Lundtofte.

butiksvinduer, hvor de tillige har den mission at give ly i regnvejr for mulige kunder.

5. Udvendig bevægelig afskærmning.

Denne kategori af afskærmninger, der er de mest effektive, omfatter markiser og jalousier i forskellig udførelse.

Markiser udføres med eller uden sidestykker. Sidestykkernes formål er at skygge, når solen står skråt mod facaden, men når solen står vinkelret på facaden, vil de i stille vejr bevirke, at der samler sig varm luft i markisen, hvilket medfører en tilsvarende opvarmning af vinduesglasset, eller at varm luft strømmer ind igennem vinduet, hvis dette står åbent. For vinkelret solstråling bevirker dette, at markiser med sidestykker er ringere end markiser uden sidestykker. Markisernes største ulempe er, at de er ret dyre i vedligeholdelse. De kan dog nu også leveres udført af letmetallister i mange farver.

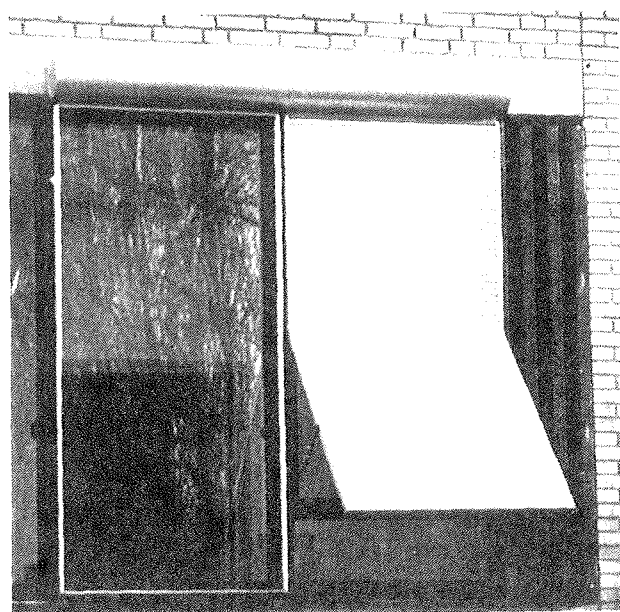


Fig. 7. Forslag til aluminiumsjalousi til ny D. T. H. af kgl. bygningsinspektør Nils Koppel.

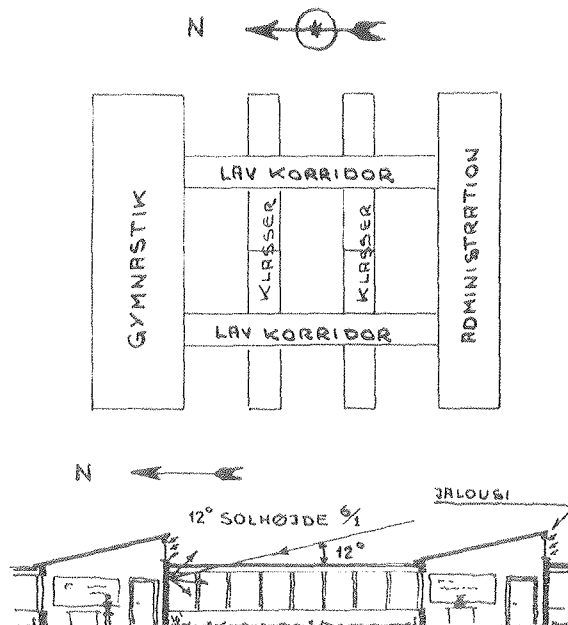


Fig. 8. Forslag til principløsning for en eet-plans skole med nordvendte vinduer.

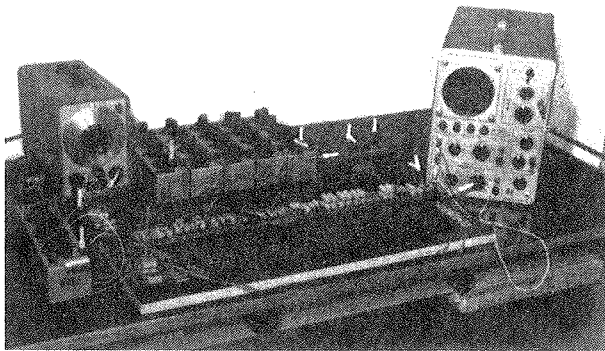


Fig. 9. Måleopstilling og el-analogmodel af to-fagsrum på den nye D. T. H. i Landtofte.

En navnlig i Sydeuropa igennem århundreder almindelig benyttet solafskærmning, som er særdeles effektiv, er de bekendte sidehængslede jalouiskoder. Til brug her i landet er de næsten for effektive tillige med, at de udelukker for meget af det synlige lys. Endvidere kræver de i vort klima en del vedligeholdelse. Der fås nu også letmetallpersiener til udvendig montering.

Til afskærmning af den øverste del af større vinduer f.eks. i skoler benyttes undertiden fastmonterede, men drejelige jalousier.

Iøvrigt er her et område, hvor arkitektens og ingeniørens tekniske snilde og fantasi har rige muligheder for at udfolde sig. Som eksempel herpå kan nævnes, at ved en skole i Aalborg er der i udhænget i hele facadens længde monteret et solidt rullegardin, der er maskindrevet og betjenes fra en central, og som evt. kan styres af en fotocelle. Et andet eksempel er vist på fig. 7. Afskærmningen består af letmetallister, der enten kan rulles skråt ud som en markise eller lodret ned. Normalt er der et par millimeters afstand mellem listerne, men i helt nedrullet tilstand ligger listerne an mod hinanden, og det bagved liggende rum bliver derved næsten mørkelagt. Denne type jalousier er tænkt anvendt ved den nye tekniske højskole i Lundtofte ved de rum, hvor man er interesseret i en meget effektiv solafskærmning og mørkeægning.

Andre metoder.

Fra gammel tid har vi betragtet det som en selvfølge, at opholdsrum, kontorer, undervisningslokaler m.v. skal have vinduer mod øst-syd-vest. Rum af denne art, som kun har nordvinduer, forekommer vel, men anses i almindelighed for dårlige ja nærmest usunde. Dette er vel en helt naturlig ting her i Finsens fædreland, men det er dog i dag et spørgsmål, om det er et holdbart synspunkt, da som tidligere nævnt den mest aktive del af sollyset i henseende til bakteriedræbende og vitamindannende egenskaber frafiltreres i almindeligt vinduesglas. At et velbelyst rum i almindelighed må betragtes som mere hygiejnisk end et rum med dårlige lysforhold er givet, men gode lysforhold kan meget vel opnås alene med nordvendte vinduer, der endog i mange tilfælde giver et bedre arbejdslys, jævnfør kunstneres atelierer og fabriklokaler med nordvendte ovenlys. Nordvendte rum har fra gammel tid haft et dårligt ry og blev derfor anvendt og udstyret som sådanne, særlig med hensyn til vinduesudformning og mangelfuld opvarmning. Yderligere tog man som oftest ikke særlig hensyn til udsigten fra disse rum.

For beboelsesrum, hvor overophedning på grund af solindfaldet ikke spiller så stor en rolle, er der måske ingen grund til at ændre dette forhold, men for egentlige arbejdsrum f.eks. kontorer og undervisningslokaler, er der, mener jeg, god grund til at tage dette spørgsmål med alle dets mangeartede problemer op til kritisk revision. Med hensyn til udsyn gennem vinduet foretrækker jeg personlig at betragte en solbelyst udsigt igennem et vindue i et behageligt opvarmet rum, der ligger i skygge, fremfor at se vinduet forandret til en mere eller mindre blændende flade, der fremkommer, når man trækker gardiner for eller lukker persienerne, når solen skinner igennem vinduet.

Ved nordorienterede rum går man ganske vist glip af det varmetilskud, som solindfaldet medfører, og hvoraf en del må betragtes som nyttig og behagelig, så længe der ikke er tale om overophedning, men for arbejdsrum må det betragtes som vigtigere altid

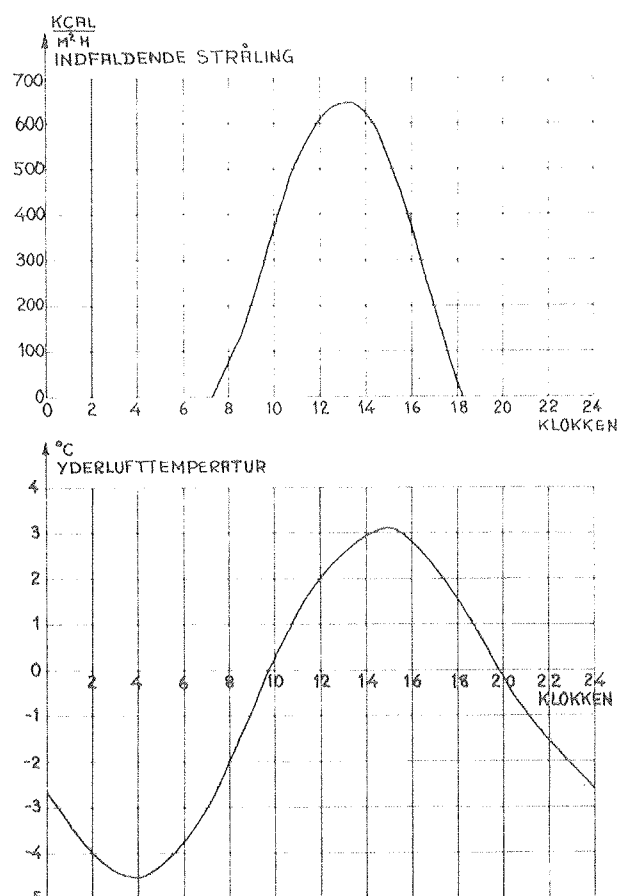


Fig. 10. Solindfald og yderlufttemperatur påtrykt el-analog model.

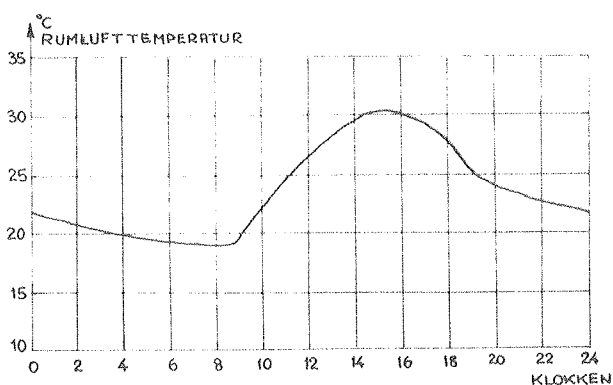


Fig. 11. Lufttemperaturforløbet målt på el-analogmodel.

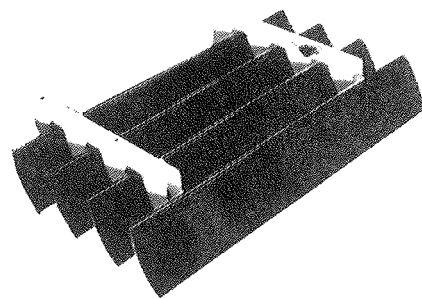
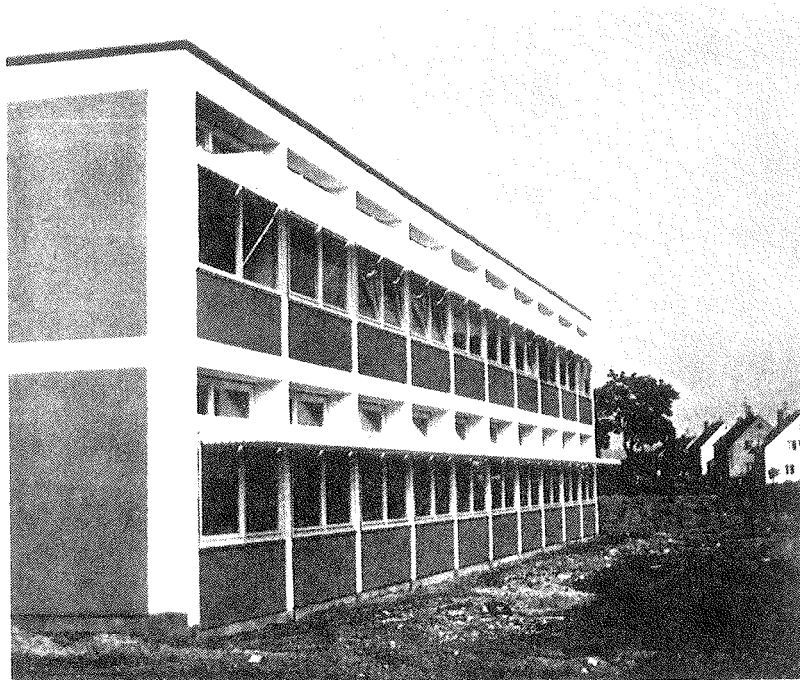


Fig. 12. Solafskærmning med baddakin af profilerede letmetallister.

at kunne kontrollere opvarmningstilstanden end at kunne spare lidt brændsel.

Ved en hensigtsmæssig planløsning for f. eks. en skole kan man opnå at få betydelige lysmængder ind igennem nordvendte vinduer ved at udnytte modstående facader, som reflektorer der tilbagekaster den del af det synlige solspektrum, man er interesseret i og absorberer den del, men eventuelt gerne vil udelukke samt alle de mørke varmestraler. En principløsning for en sådan skole er vist på fig. 8.

Mener man, at det bl. a. af rent psykologiske grunde er ønskeligt at kunne slippe lidt direkte solstråling ind i klasserummene, kan dette gøres ved mod syd at anbringe nogle lave højtsiddende vinduesbånd med en bevægelig udvendig solafskærmning, se snittegning på fig. 8.

I månederne maj—august vil solindfaldet i løbet af en klar dag igennem øst- eller vestvendte vinduer være lige så stort eller større end igennem mere sydvendte vinduer. Dette medfører, at solindfaldet i skoletiden fra kl. 8—14 vil være betydeligt større i klasserum med østvendte vinduer end med syd- og vestvendte vinduer, hvilket bør tages i betragtning, når skolers orientering fastlægges.

Eksempel på beregning af sandsynlige temperaturer i solbelyste rum.

Beregning af temperaturforløbet i solbeskinnede rum kan ikke med rimelig nøjagtighed foretages ved anvendelse af de almindelige stationære beregningsmetoder, der bruges til dimensionering af varmeanlæg. Da der er tale om udpræget instationære forhold, er det nødvendigt at tage hensyn til de forskellige bygningsdeles varmekapacitet. Herved bliver det ligningsystem, der udtrykker rummets temperaturforløb imidlertid af en sådan art, at beregningerne ikke kan udføres manuelt, men kun ved anvendelse af en analogregnemaskine eller elektronisk cifferregnemaskine.

For at få et indtryk af det temperaturforløb, man kan forvente at få i et to-fagsrum i en standardbygning, fig. 6, på den nye højskole i Lundtofte, såfremt

Tabel over solafskærmningsfaktorer for nogle typiske afskærmninger når solen står i en plan vinkelret på facaden.

Type	farve	F
Rullegardin	lys	0,41
Rullegardin	mørk	0,81
Persienne, 45°	lys	0,56
Persienne	aluminium	0,45
Varmeabsorberende glas, enkelt lag ...		0,53
do. yderste lag i dobbelt rude		0,38
Markise, åben i siderne	middel	0,25
Markise, lukket i siderne		0,35
Udvendig fast eller bevægelig afskærmning, der skygger helt for vinduet ...		0,15

de sydvendte glaspartier ikke kan afskærmes på en eller anden måde, har laboratoriet bygget en el-analog model af et sådant to-fagsrum, fig. 9.

Forløbet af lufttemperaturen i rummet er klar dag (den 22. marts) med de på fig. 10 viste solintensiteter og yderlufttemperaturer og et friskluftskifte på een gang i timen bliver som indtegnet på fig. 11. Det ses, at temperaturen når sin maksimalværdi ca. 30°C kl. 15.

Temperaturen må en væsentlig del af dagen betegnes som værende utilladelig høj, og da yderlufttemperaturen er så lav, at den vil bevirke træk ved åbning af vinduet, må en passende solafskærmning anses for nødvendig.

Litteratur.

- Pleijel, Gunnar: The computation of natural radiation in architecture and town planning. SNB, Stockholm 1954.
 Pleijel, Gunnar: Fönsterglasens transmission av strålning. V. V. S. marts 1961, Stockholm.
 ASHRAE Guide and data book, 1961.

Måling af solindfaldet gennem forskellige typer varmeabsorberende vinduesruder

Af civilingeniør Th. Lund Madsen,
Laboratoriet for Varmeisolering, D. t. H.

69.028.2

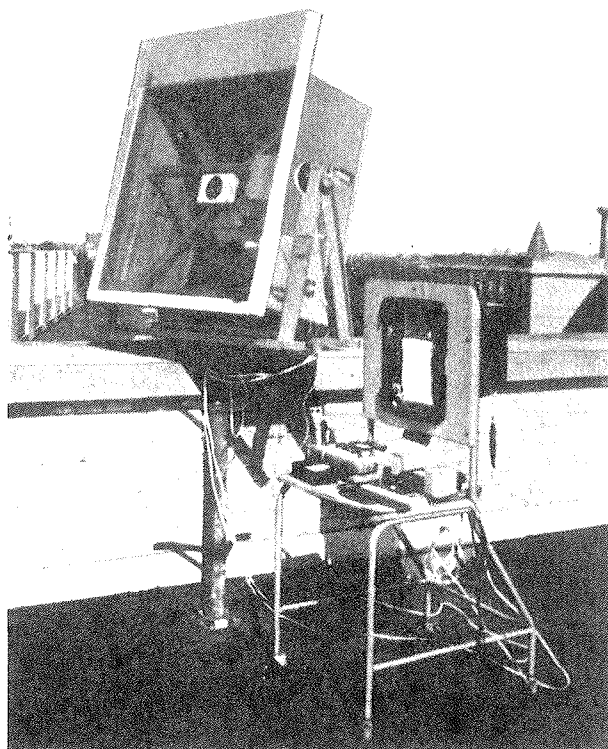


Fig. 1. Forsøgsopstillingen ved måling af varmestråling gennem glas med indstøbt mikropersienner af stål. Selve kalorimetret ses midt i kassen bag ruden.

På Laboratoriet for Varmeisolering er der gennemført målinger af den solafskærmende virkning, som opnås ved anvendelse af forskellige specielle rudetyper, sammenlignet med ruder af almindeligt glas.

Der er foreløbig målt på tre rudetyper.

- I varmeabsorberende glas
- II ruder med indstøbt »mikropersienne« af henholdsvis aluminium og stål
- III alm. vinduesglas påført en lys- og varmeabsorberende plastichinde.

Målemetode.

Formålet med disse målinger har været at få et sammenligningsgrundlag for den solvarme, som tilføres et rum gennem en kvadratmeter almindelig dobbelt vindue og en kvadratmeter af hver af ovennævnte typer.

Til dette formål er det tilstrækkeligt at måle den samlede indfaldende stråling uden hensyn til dennes spektrale fordeling. På fig. 1 er vist varmebalancen for en vinduesrude. Ved forsøgene er summen $A + B + C + E$ målt ved hjælp af et kalorimeter, medens D er beregnet ud fra målinger af glasrudens indvendige overfladetemperatur og den indvendige lufttemperatur.

Kalorimetret består ganske enkelt af en cirkulær aluminiumsskive 100×2 mm, hvis forside er sværtet sort med konrog udrørt i vandglas. På skivens bagside er klæbet en platintråd til registrering af temperaturen på en elektronisk skriver. Kalorimetrets bagside er klæbet ind imod en polystyrenplade for at reducere varmeudvekslingen bagud.

Kalorimetret anbringes bagved og parallelt med den rude, hvis transmissionsevne ønskes målt, og en måling foregår på følgende måde. Ved hjælp af en forskydelig kasse med isvand nedkøles kalorimetret til

under den omgivende lufts temperatur. Begge temperaturer optegnes på skriveren, og når kalorimetret udsættes for den indfaldende stråling, registreres opvarmingskurven på skriveren. Kurvens hældning i det punkt, hvor den skærer kurven for den omgivende lufts temperatur, er et direkte mål for strålingsintensiteten, når kalorimetrets fysiske data kendes.

Konvektionsvarmebidraget D kan beregnes, når rudens indvendige overfladetemperatur (ϑ_{glas}) og den indvendige lufttemperatur (ϑ_{luft}) kendes. ϑ_{glas} og ϑ_{luft} måles før og efter hver strålingsmåling, og heraf findes den tilførte konvektionsvarmemængde Q_k af formlen

$$Q_k = a_k \cdot (\vartheta_{\text{glas}} - \vartheta_{\text{luft}}) \text{ kcal/hm}^2$$

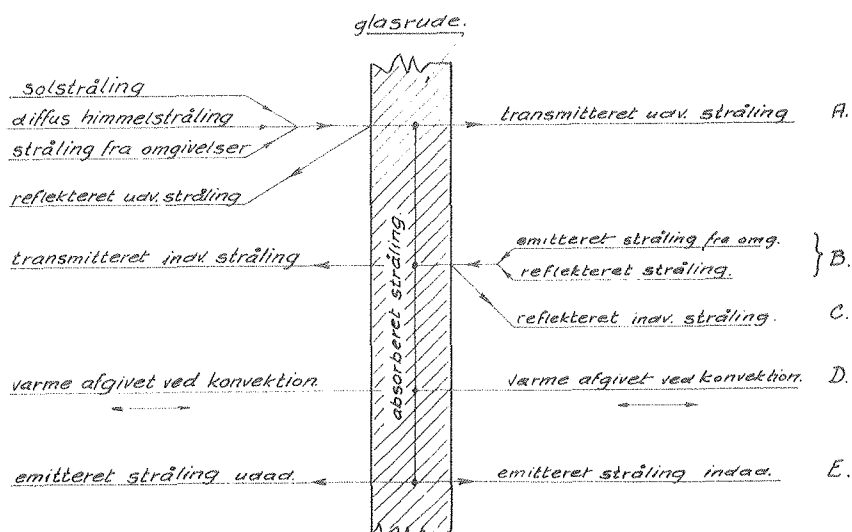


Fig. 1. Varmetransmissionsforholdene omkring en enkelt vinduesrude.

hvor konvektionsvarmeovergangstallet α_k bestemmes af

$\alpha_k = 1,25 (\vartheta_{\text{glas}} - \vartheta_{\text{luft}})^{0,25} \text{ kcal/hm}^2 \cdot \text{C}$
Denne formel gælder ifølge Mc. Adams for termisk konvektion langs en lodret flade med højde $\geq$ en meter.

Målinger.

I. Varmeabsorberende glas.

Disse første målinger blev udført efter anmodning i tiden 10. oktober—30. oktober 1958. Formålet var at finde ud af, hvor stor en nedsættelse af varmetilførslen gennem et vindue der kunne opnås, ved udenfor en almindelig hermetisk dobbeltrude at opsætte varmeabsorberende glas eventuelt med ventilation med frisk luft mellem dette glas og dobbeltruden for at nedsætte varmetilførslen ved konvektion. Da det blandt andet på grund af det sene tidspunkt på året gjaldt om hurtigt at nå frem til et brugeligt resultat, blev målingerne udført i et varmeteknisk forsøgshus beliggende på taget af D. T. H. Her kunne den varmeabsorberende rude indsættes i et eksisterende vinduesparti, side om side med en almindelig glastrude, og således udsat for de samme udvendige og indvendige klimatiske betingelser. Herved blev man imidlertid bundet af husets orientering, der er således, at en lodret plan vinkelret på ruderne skærer solen kl. ca. 13,30. Det var derfor ikke muligt at måle maximalværdier ej heller at variere solindfaldsvinklen på forskellige tider af dagen.

Vinduespartiet var udformet som vist på fig. 2. Der fremkom altså tre forskellige vindueskonstruktioner, som alle blev gjort til genstand for måling, idet der bag hver rude blev anbragt et kalorimeter, som beskrevet foran. Disse kalorimetre udsattes efter tur, så hurtigt efter hinanden som det var muligt, for strålingen, hvorved man hver gang fik tre sammenlignelige opvarmningskurver. Før og efter hver strålingsmåling målt de udvendige og indvendige glasoverfladetemperaturer samt rummets lufttemperatur. Målingernes resultat fremgår af fig. 3. Her er den samlede varmetilførsel (ved stråling og konvektion) gennem A (fig. 2) ved hvert forsøg sat til 100 % for at finde den relative varmereduktion gennem B og C. Det ses, at ved at anbringe en ekstra rude af almindeligt rudeglas udenfor en dobbeltrude, nedsættes varmegennemgangen med ca. 4 %, medens en varmeabsorberende rude anbragt på samme måde nedsætter varmegennemgangen med ca. 25 %.

II. Ruder med indsløbt mikropersienne af stål eller aluminium.

Disse ruder er undersøgt i sommeren 1959 ligeledes på taget af D. T. H. Til denne undersøgelse blev fremstillet en særlig prøvestand (fig. 4) bestående af en kasse, hvori ruden kan anbringes som den ene side. Kassen kan drejes om såvel en vandret som en lodret akse, hvorved alle ønskelige solindfaldsvinkler kan opnås. Kassen er forsynet med en regulerbar tvungen ventilationsanordning, således at lufttemperaturen i kassen kan holdes på et rimeligt niveau trods den store indstrålede varmemængde. Midt i kassen parallelt med glastruden og 9 cm bag ved denne er kalorimetret anbragt. Rudens indvendige overfladetempera-

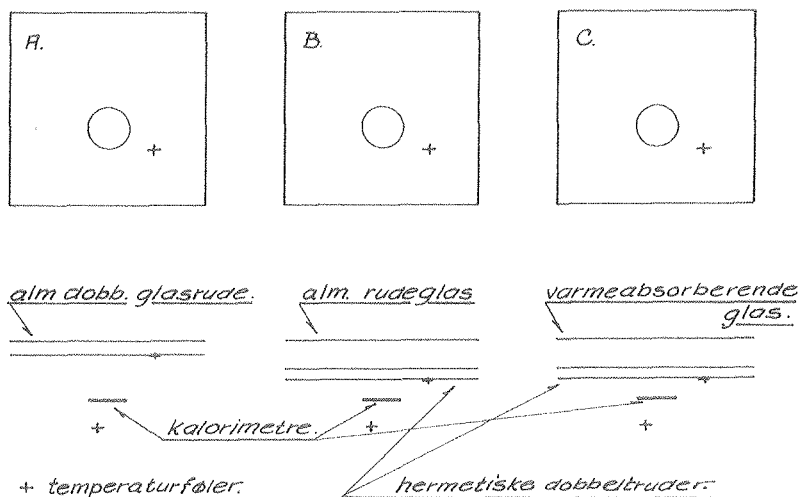


Fig. 2. Vinduesparti i forsøgshus på taget af D. T. H.

tur samt lufttemperaturen i kassen registreres på den elektroniske modstandsskriver.

Da hver måling tager en vis tid, vil solhøjden og dermed solens strålingsintensitet vinkelret på stråle-retningen ændre sig fra den ene måling til den næste. For at kunne sammenligne de enkelte målinger er disse alle henført til at være foretagne ved samme solintensitet.

Solens strålingsintensitet ved yderkanten af jordens atmosfære regnes sædvanligvis at være ca. 1200 kcal/hm². Ved passagen gennem jordens atmosfære svækkes denne stråling. (På fig. 5 fra Meddelelse XVI fra Laboratoriet for Opvarmning og Ventilation er vist forholdet $n = \frac{\text{øjeblikkeligt solindfald}}{\text{solkonstanten}}$ i afhængig-

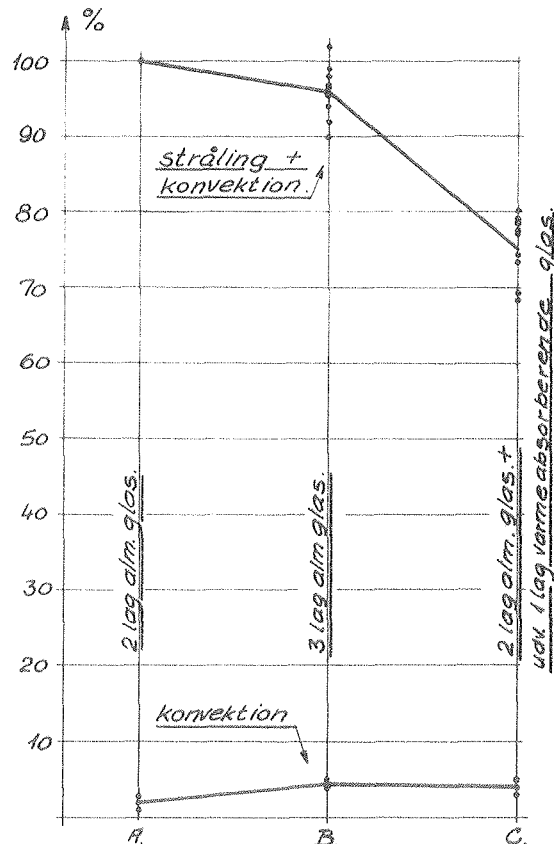


Fig. 3. Resultat af sammenlignede målinger af varmetransmissionen gennem to lag glas, tre lag glas og to lag glas med en tredje varmeabsorberende glastrude udvendig.

hed af solhøjden. Denne kurve forudsætter fuldstændig klar atmosfære).

For hver rudetype kommer målingerne til at bestå i at bestemme hvor megen varme, der passerer ruden ved forskellige vinkler mellem rudens normal og stråleretningen, idet målekassen hele tiden drejes således, at en lodret plan gennem solen og målekassen står vinkelret på glasruden.

Resultatet af målingerne fremgår af fig. 6 og 7. Det samlede varmeindfald i afhængighed af indfaldsvinklen er vist på fig. 6, medens den procentvise reduktion i forhold til en dobbelt rude af almindeligt glas i afhængighed af indfaldsvinklen ses på fig. 7.

III. Almindeligt vinduesglas påført en lys- og varmeabsorberende plastichinde.

Disse sidste målinger er udført i september 1961 ved Laboratoriets forsøgshus i Hjortekær. Der er foretaget sammenlignende målinger på tre ruder, nemlig en hermetisk lukket dobbelt rude, samme rude hvor den indvendige overflade af det udvendige glas er påført plastichinder, som udelukker henholdsvis 35 og 60 % af dagslyset.

Til målingerne anvendtes målekassen, som er beskrevet foran. Der blev dog kun målt med lodret glasrude, idet indfaldsvinklen i dette tilfælde må antages at have samme indflydelse på de afprøvede ruder.

Da det viste sig at være vanskeligt at opnå en længere periode med konstant klart vejr, er målingerne denne gang udført på den måde, at varmestralingen gennem de tre ruder hver gang er målt så hurtigt efter hinanden, som det har været muligt at udskifte vinduerne. — Et sæt målinger kan udføres på ca. 20

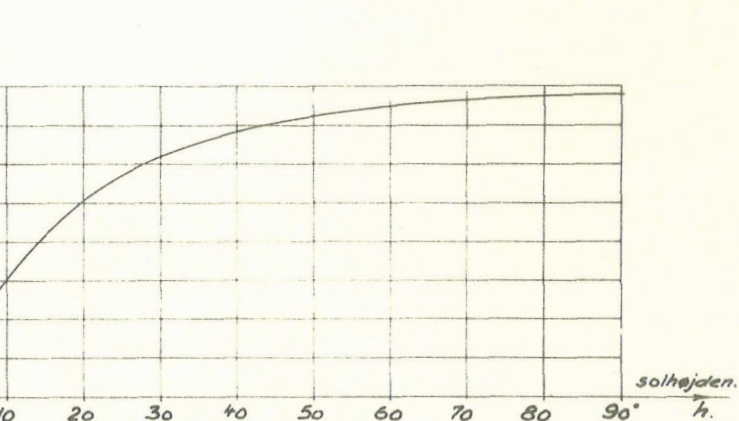


Fig. 5. Sammenhængen mellem solhøjden og den brøkdel af den totale strålingsintensitet som når jordoverfladen.

minutter. — Herved skulle betydningen af ændringer i strålingsintensiteten være elimineret.

Der er ved disse målinger ikke taget hensyn til forskelle i konvektionsvarmeafgivelse til rummet, idet overfladetemperaturmålinger på de forskellige ruder viste, at denne var af underordnet betydning, medens en måling af denne ville sinke forsøgene betydeligt og derved øge usikkerheden på strålingsmålingerne.

Resultatet af de endelige målinger fremgår af fig. 8. Her er vist seks målinger på hver rude udført i klart vejr den 18. september 1961 fra kl. 12,00 til kl. 15,50, svarende til at solindfaldsvinklen har varieret fra ca. 36° til ca. 16°, idet kassen hele tiden er drejet så-

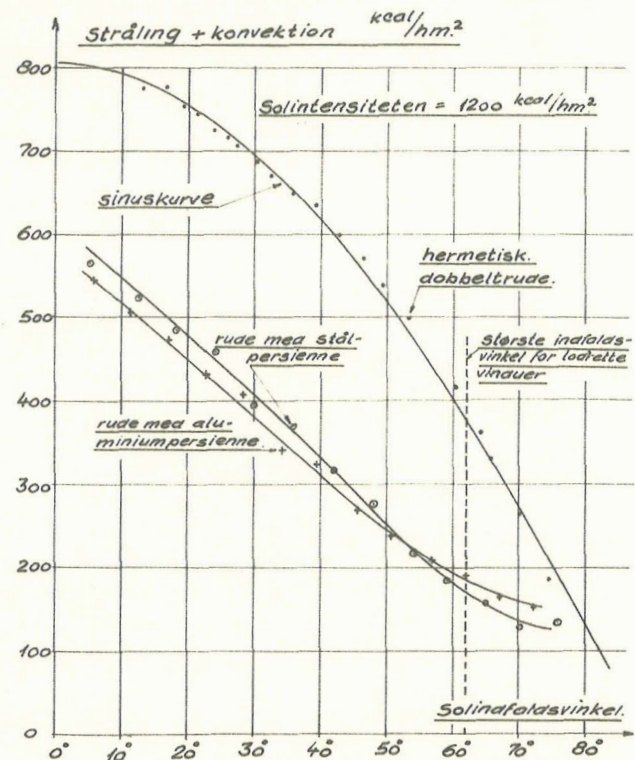


Fig. 6. Varmetransmission gennem hermetisk dobbelt rude og ruder med mikropersienner af henholdsvis stål og aluminium ved varierende solindfaldsvinkel.

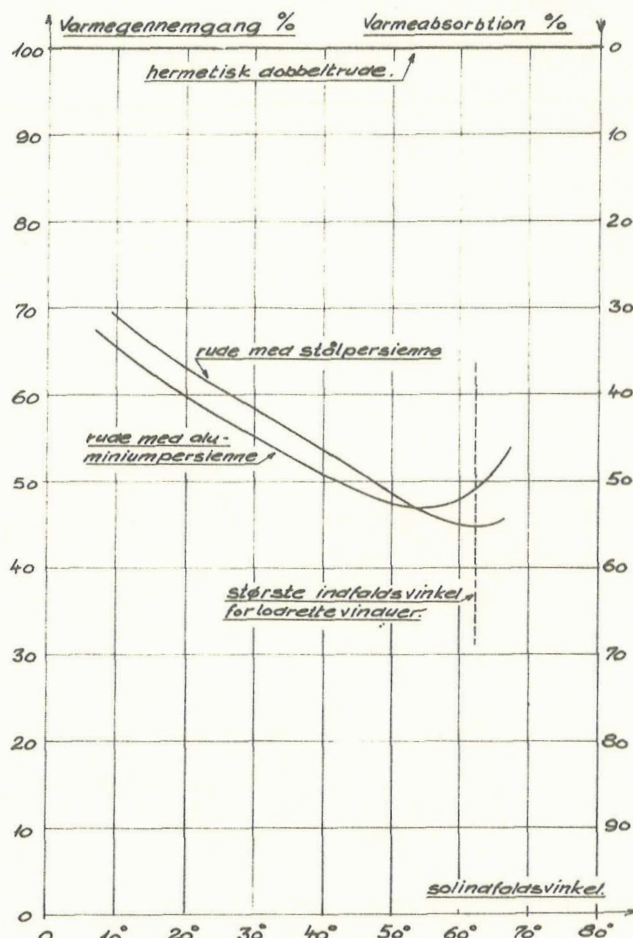


Fig. 7. Varmetransmissionen gennem ruder med mikropersienner af stål og aluminium i procent af varmetransmissionen gennem en hermetisk dobbelt rude ved varierende solindfaldsvinkel.

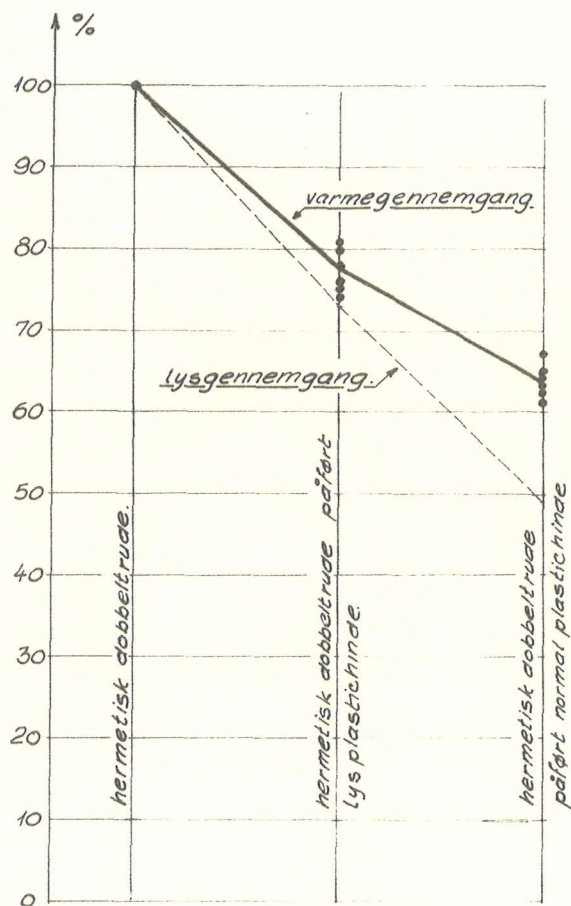


Fig. 8. Reduktion af varmestråling gennem almindelig glasrude ved påføring af lys- og varmeabsorberende plastichinder.

ledes, at en lodret plan vinkelret på glasset går gennem solen.

Målingernes hovedresultat bliver, at en påføring af plastichinde nr. 1 med en lysreduktion på 35 % medfører en reduktion af strålevarmen på 22 %, medens plastichinde nr. 2 med lysreduktion 60 % nedsætter varmegennemgangen med 36 %.

Det er vigtigt, at denne plastichinde påføres den yderste rude i en vindueskonstruktion, således at den absorberede varme kan afgives til det fri. Det vil således være uheldigt at anvende denne form for solafskærmning på den indvendige side af en eksisterende hermetisk dobbelt rude, idet denne vil afgive en væsentlig del af den absorberede varme til rummet ved konvektion, samtidig med at der kan opstå uheldige spændinger i ruden på grund af den store temperaturforskel mellem de to glas.