

må ikke fjernes

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

Meddelelse nr. 5.

Registrering af

sol- og himmelstråling gennem vinduer

af Vagn Korsgaard og Th. Lund Madsen

SÆRTRYK



INGENIØREN NR. 9



1. MAJ 1962

Registrering af sol- og himmelstråling gennem vinduer

af Vagn Korsgaard og Th. Lund Madsen

Laboratoriet for Varmeisolering

69.028.2

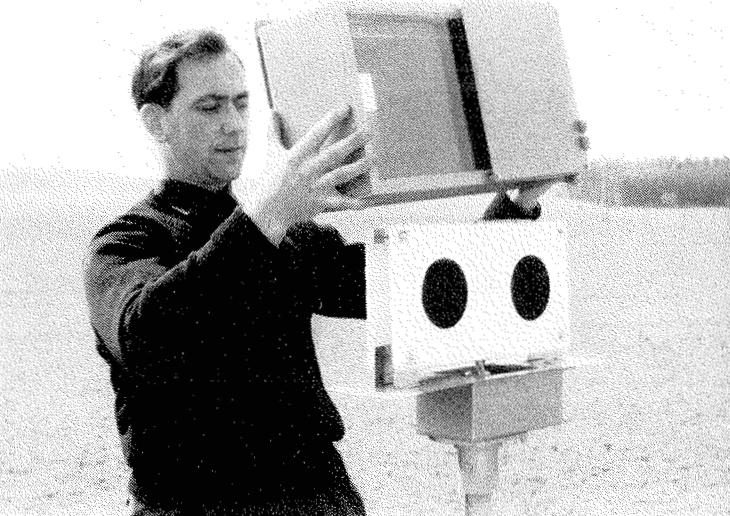


Fig. 1. Montering af strålingsmåleren.

I artiklen gennemgås opbygningen af et måleapparat til kontinuerlig måling og registrering af den varmestråling, som tilføres et værelse gennem et almindeligt dobbelt vindue. Hovedresultaterne af det første års målinger er angivet, og på grundlag heraf er opstillet en varmebalance for et almindeligt dobbelt vindue orienteret mod sydvest. Det viser sig, at den varmemængde, der i løbet af varmesæsonen 1960–61 er indstrålet igennem vinduet, er næsten lige så stor som transmissionstabten.

Moderne huse udstyres ofte med meget store vinduesarealer, hvilket medfører, at solvarmen får større indflydelse på rummene temperaturforhold, end det var tilfældet før i tiden.

Dette forhold, og de mange problemer det har medført af varmeteknisk art, har skabt et behov for at kende solintensitetens størrelse i afhængighed af klokkeslet og årstid.

Meteorologisk Institut mäter antallet af solskinstimer hver dag, men intensitetsmålinger foretages os bekendt ikke her i landet. Laboratoriet for Varmeisolering har derfor konstrueret og bygget en solintensitetsmåler, som til stadighed registrerer den totale indfaldende varmestråling bag en lodret, dobbelt glasrude vinkelret på den øjeblikkelige solretning samt den diffuse himmelstråling gennem en lodret, dobbelt rude drejet 180° i forhold til den første. Måleren medtager altså foruden den direkte solstråling også den diffuse stråling, som når ind gennem det dobbelte vindue fra den del af himlen, som vinduet er orienteret imod.

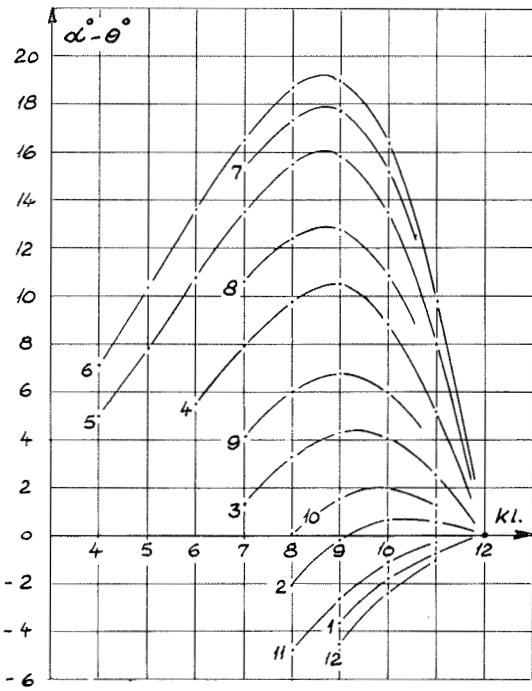


Fig. 2. Vinklen mellem normalen til strålingsmålerens glasrude og en lodret plan gennem solen og målerens akse i afhængighed af klokkeslet og årstid. Hver kurve repræsenterer vinkelforløbet den 15. i den pågældende måned.

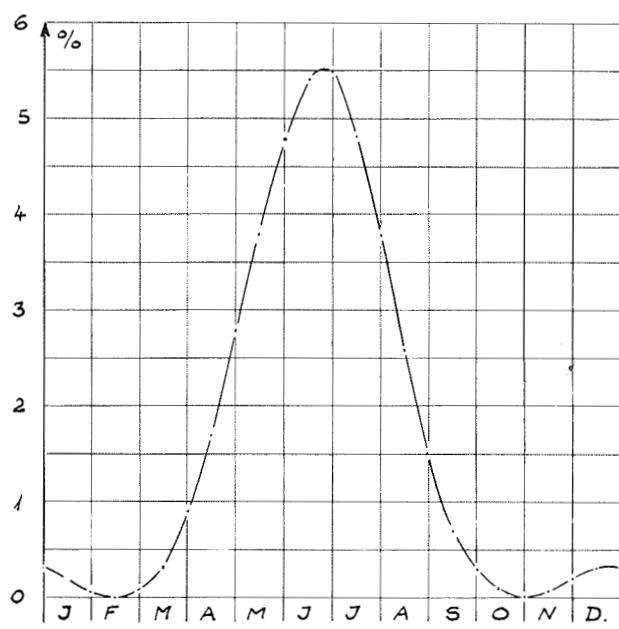


Fig. 3. Den største daglige målefejl forårsaget af vinkelafvigelsen på fig. 2.

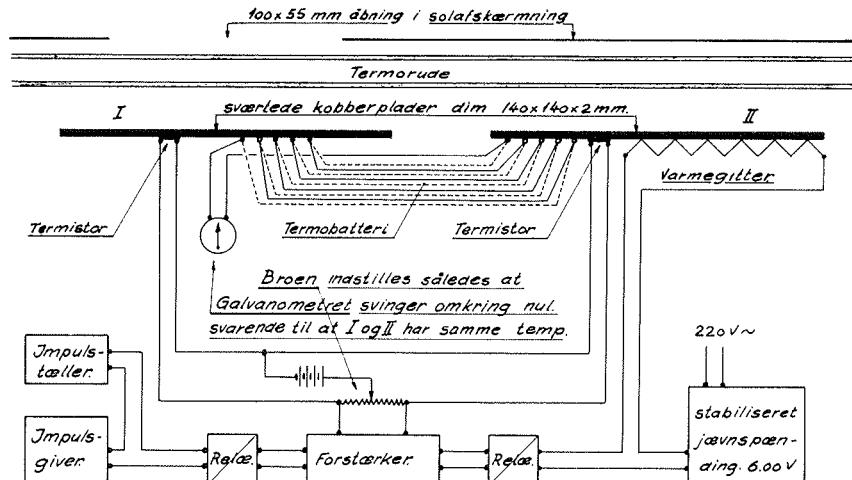


Fig. 4. Diagram over måleopstilling til totalstrålingsmåling. Den diffuse stråling måles helt på samme måde, kun har varmegitteret en mindre effekt.

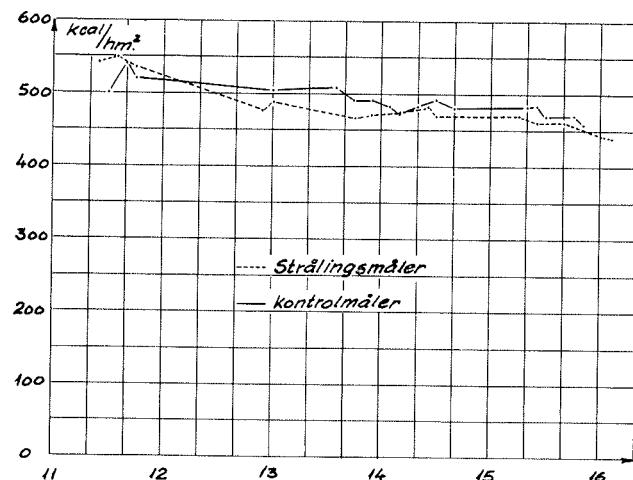


Fig. 5. Resultatet af en enkelt dags sammenlignende målinger med strålingsmåleren og med et kalorimeter anbragt under samme betingelser som strålingsmålerens føler.

For at gøre bearbejdningen af måleresultaterne overkomeligt, registreres kun tidsmedgennemsnit af solstrålingen. Når disse kendes, er det overkomeligt at omregne intensiteten til ruder med forskellig orientering. Målingerne for det første år er foreløbig omregnet til vinduer med orientering mod øst, sydøst, syd, sydvest og vest.

Selve måleapparatet er vist på fig. 1. Det består af en flad kasse, hvis to største lodrette sider udgøres af dobbelte glasruder, hvorigennem strålingen måles. Kassen er drejelig omkring en lodret akse, og den drejes rundt med solen med en jævn hastighed på en omdrejning pr. døgn. For at undgå glidekontakter med deraf følgende risiko for målefejl, er drejeværket konstrueret således, at målekassen hver nat kl. 12 drejer en omgang baglæns, før den begynder på næste døgn's målinger.

Den jævne bevægelse giver imidlertid anledning til flere mindre fejl. For det første har solbevægelsen en uregelmæssighed med en frekvens på et et år. Denne uregelmæssighed skyldes, at lige store stykker af solens bane i Ekliptika ikke projiceres i lige store stykker på Ækvator. Endvidere bevæger solen sig ikke ganske jævnt i Ekliptika. Denne forskel mellem klokkeslettet i sand soltid og klokkeslettet i middelsoltid (tidsjævning) kan andrage ca. et kvarter til hver side, svarende til $\pm 4^\circ$. For det andet vil lige store stykker af

solbanen ikke projiceres i lige stykker på den plan, hvori strålingsmåleren drejer. Størrelsen af denne vinkelafvigelse fremgår af fig. 2, hvor der er vist variationen af vinkelafvigelsen ($\alpha^\circ - \vartheta^\circ$) om formiddagen den 15. i hver måned. ϑ er vinklen mellem målevinduets normal og en lodret plan gennem solens kulminationspunkt, og α er solens Azimuth. α for 56° nordlig bredde er taget fra "Solar position at various hours, dates, and latitudes" af Gösta Brown og Tenvo Tuominen. Klokkesletten er sand soltid.

På fig. 3 er vist vinkelafvigelsens betydning for målingen, under for-

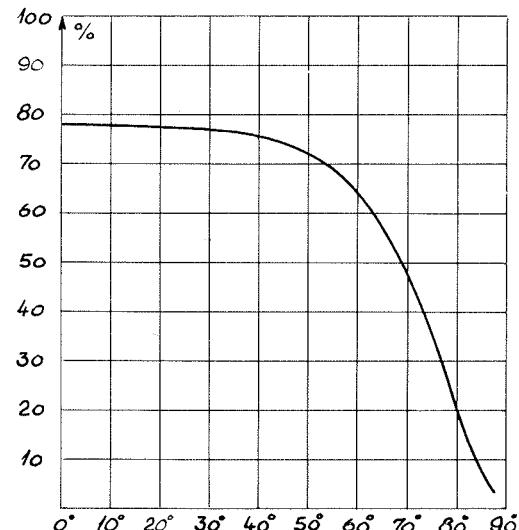


Fig. 6. Strålingsabsorbsjonen i to lag almindeligt vinduesglas i afhængighed af indfaldsvinklen. Efter Hottel og Woertz.

udsætningen af at cosinusloven gælder. Der er regnet med den største daglige afvigelse. Der vil ikke være tale om, at de forskelligt forårsagede afvigelser summeres, idet strålingsmåleren indstilles således, at den den 22. juni står vinkelret på solen ved dennes kulmination.

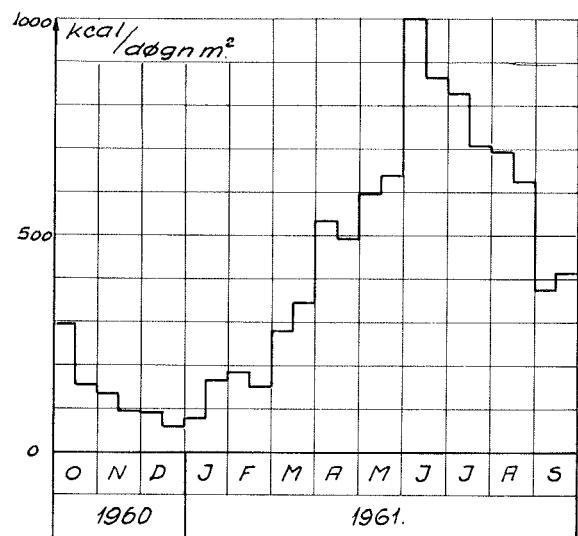


Fig. 8. Den indfaldende diffuse stråling gennem 1 m^2 dobbelt glasrude i året oktober 1960 til september 1961.

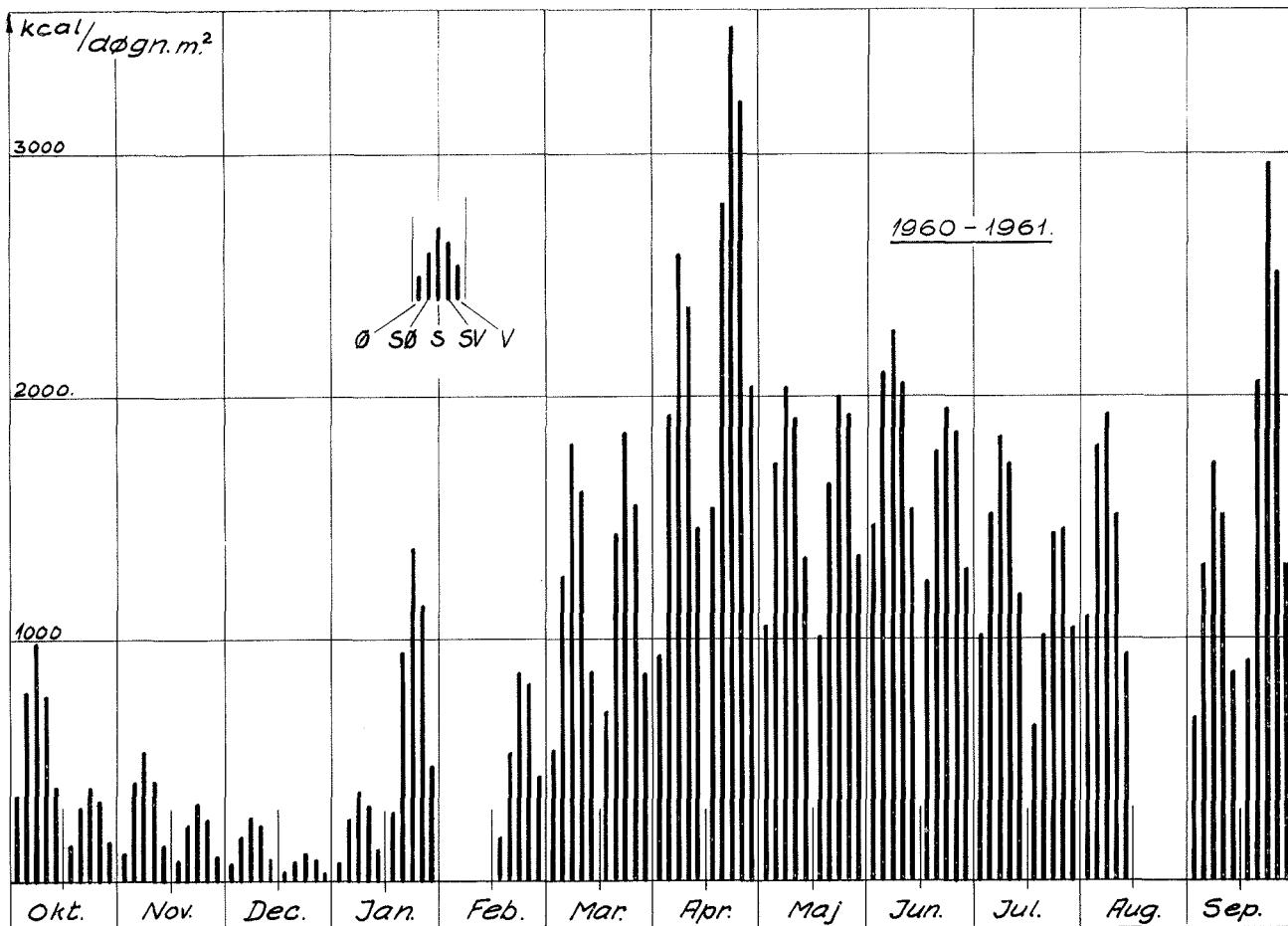


Fig. 7. Den indfaldende varmemængde gennem 1 m^2 almindelig dobbelt glasrude orienteret mod øst, sydøst, syd, sydvest eller vest, i året oktober 1960 til september 1961.

Selve målelementerne udgøres af to par ens sværtede kobberplader. Af hvert par sidder den ene plade i lys og den anden i skygge. Ved hjælp af en indbygget konstantan varmetråd og en konstant spændingskilde tilføres pladen i skyggen den effekt, som er nødvendig for at holde den på samme temperatur som den tilhørende plade, der er utsat for strålingen. Effekten kobles til og fra af en termistormålebro, som reagerer, når temperaturforskellen mellem de to plader når $0,1^\circ\text{C}$. Temperatordifferensen mellem de to plader kontrolleres ved hjælp af 5 stk. kobber-konstantan termoelementer anbragt i serie mellem de to plader.

Samtidig med effekten tilkobles en impulsstæller, som går et skridt frem hvert andet sekund. Denne tæller fotograferes hver time sammen med en dato- og timetæller af et 9,5 mm filmapparat.

Strålingsintensiteterne for hver time beregnes udfra differensen mellem tællervisningerne ved tilmens slutning og begyndelse, og målernes fysiske data.

Justering af strålingsmåleren.

For at få et begreb om målinger-

nes pålidelighed er strålingsintensiteten i en periode målt med en anden måler samtidig, men efter en helt anden metode. Denne metode går i korthed ud på, at man

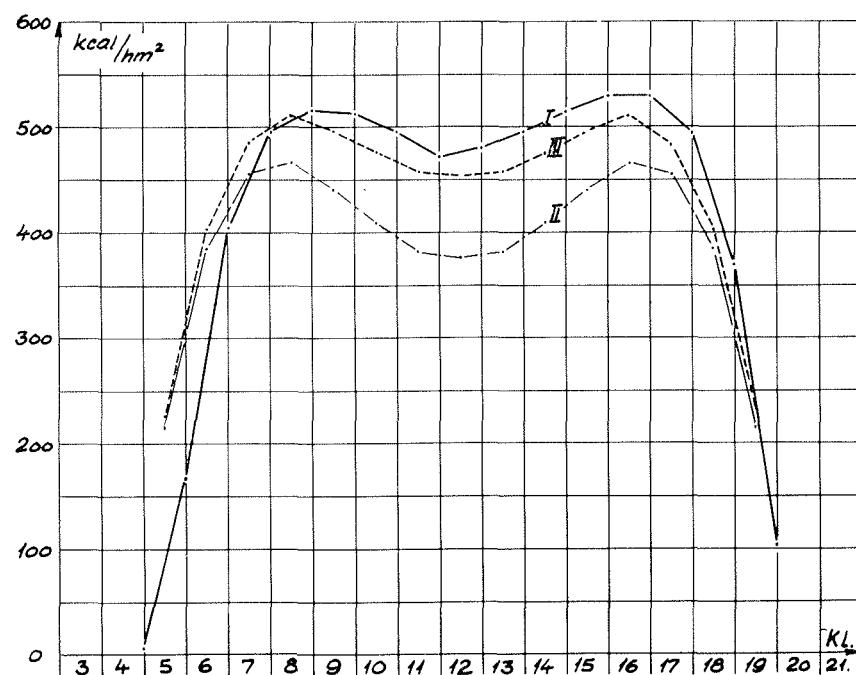


Fig. 9. Solintensitetens forløb på en klar dag. Som eksempel er valgt 29. april 1961, da der måltes årets højeste solindfald pr. døgn. Kurve I angiver målingerne i Hjortekær, medens kurve III angiver tilsvarende målinger foretaget på samme årstid af Lunelund i Helsingfors, d.v.s. på 60° nordlig bredde.

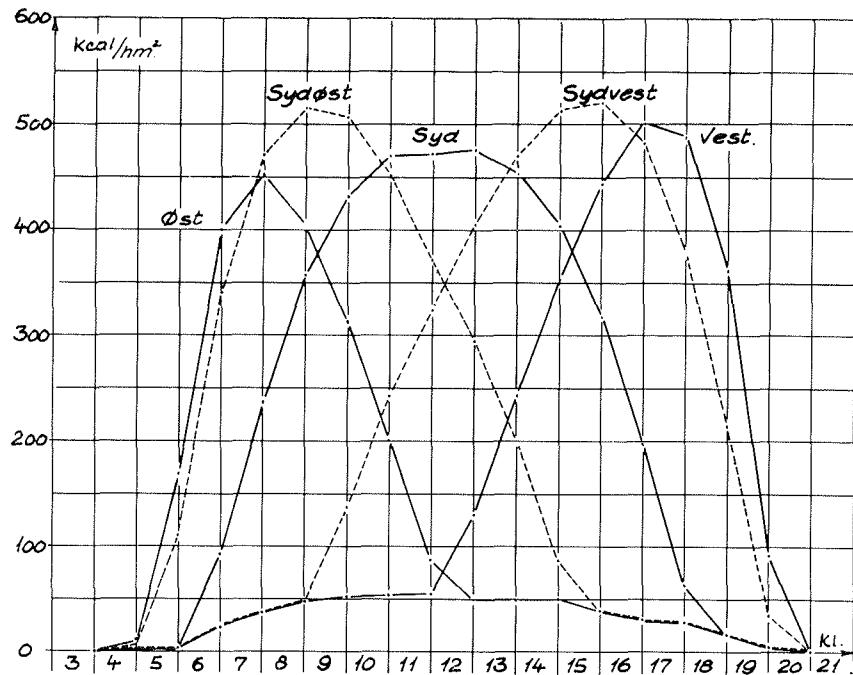


Fig. 10. Solintensiteten efter kurve I, fig. 9, omregnet til vinduer med forskellig orientering.

bestemmer opvarmningshastigheden for en sort plade med kendt vandværdi og anbragt bag en lodret, dobbelt glasrude og parallelt med denne. Opvarmningshastigheden, i det øjeblik lufttemperaturen omkring måleren passerer ($Q_{konvektion} = 0$), er et direkte mål for den øjeblikkelige strålingsintensitet. Da strålingsmåleren kun kan måle gennemsnit over en vis tid, meddens kontrolmåleren kun kan foretage øjeblikkelige målinger, har justeringen kun kunnet foretages på dage med helt klar himmel, hvor man kan regne med, at solintensiteten er konstant indenfor strålingsmålerens nødvendige måleperiode (ca. 5 min., hvilket svarer til 10 opvarmnings- og afkølingsperioder for pladen i skygge).

Kontrolen er foretaget på den måde, at man skiftevis har målt strålingsintensiteten med den ene eller

i forhold til det første.

Tidligere målinger, foretaget af bl. a. H. Lunelund i Finland, viser, at den diffuse stråling er temmelig ensartet fra hele himlen. Den er dog kraftigst fra den del af himlen, som er nærmest solen, og endvidere noget afhængig af skyfordelingen. Ved denne beregning af fjorten dages gennemsnit regner vi den diffuse stråling jævnt fordelt over himlen.

Den varmemængde, som i et givet øjeblik indstråles gennem et fastmonteret, lodret vindue, kan da beregnes af formlen:

$$Q_{trans} = (Q_{total} - Q_{diffus}) \cos \varphi \cdot f(\varphi) + Q_{diffus}$$

hvor φ er vinklen mellem rudens normal og en lodret plan gennem solens stråleretning, og $f(\varphi)$ er en funktion af vinduesglassets strålingsabsorbtion i afhængighed af indfaldsvinklen (φ). $f(\varphi)$ fremgår af fig. 6,

som er resultatet af amerikanske målinger, udført af Hottel og Woertz.

Q_{trans} er beregnet time for time for vinduer orienteret mod øst, sydøst, syd, sydvest og vest, og herudfra er middelstrålingsintensiteten ($kcal/m^2\text{døgn}$) beregnet for fjorten dages perioder. Resultatet fremgår af tabel 1 og fig. 7, medens fig. 8 viser fjortendages gennemsnittene for den målte diffuse stråling. De manglende data i tabellen skyldes funktioneringsfejl ved måleren.

Den største indstrålede varmemængde pr. døgn blev målt den 29. april. Intensitetsforløbet er vist på fig. 9. Til sammenligning er indtegnet de af Lunelund målte middelværdier for sol på skyfri himmel på 60° nordlig bredde. Lunelund har målt solintensiteten vinkelret på stråleretningen ved

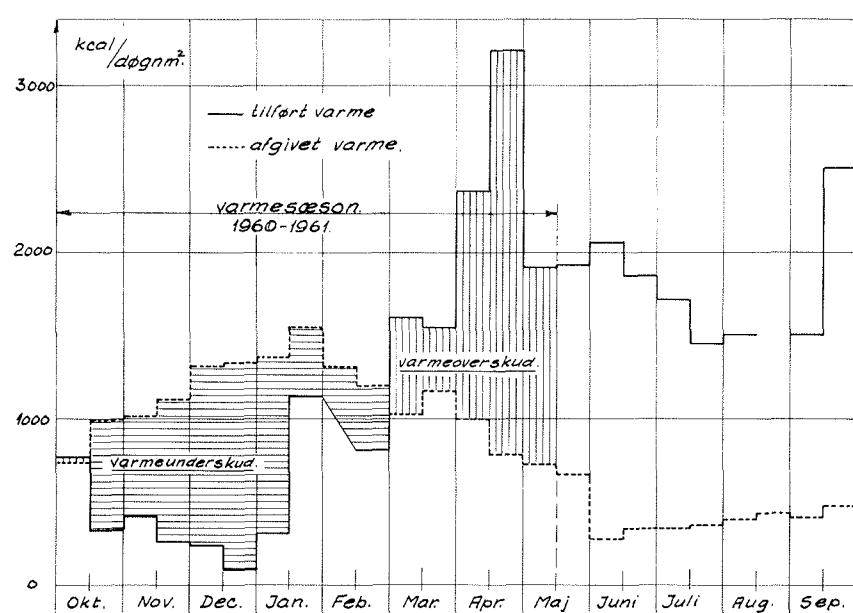


Fig. 11. Varmebalance gennem varmesæsonen 1960-61 for 1 m² dobbelt glasrude orienteret mod sydvest.

			Indstrålet varmemængde i kcal pr. døgn pr. m ²				
dato	måned	år	øst	sydost	syd	sydvest	vest
1—15	10	1960	361	788	983	772	393
16—31	10	1960	148	309	395	329	161
1—15	11	1960	118	418	538	416	149
16—30	11	1960	93	237	321	259	103
1—15	12	1960	70	190	268	239	100
16—31	12	1960	36	94	119	93	38
1—15	1	1961	78	257	379	314	129
16—31	1	1961	294	948	1381	1135	468
1—15	2	1961	—	—	—	—	—
16—28	2	1961	175	529	862	813	431
1—15	3	1961	531	1264	1802	1607	859
16—31	3	1961	698	1424	1856	1548	855
1—15	4	1961	927	1917	2589	2365	1448
16—30	4	1961	1556	2804	3518	3213	2033
1—15	5	1961	1054	1730	2035	1909	1339
16—31	5	1961	1015	1655	2004	1924	1334
1—15	6	1961	1471	2103	2285	2059	1536
16—30	6	1961	1239	1771	1959	1860	1293
1—15	7	1961	1018	1513	1833	1720	1183
16—31	7	1961	643	1077	1442	1455	1048
1—15	8	1961	1108	1804	1938	1513	936
16—31	8	1961	—	—	—	—	—
1—15	9	1961	670	1300	1724	1511	846
16—30	9	1961	912	2069	2962	2508	1312
års gennemsnit			646	1191	1463	1344	818

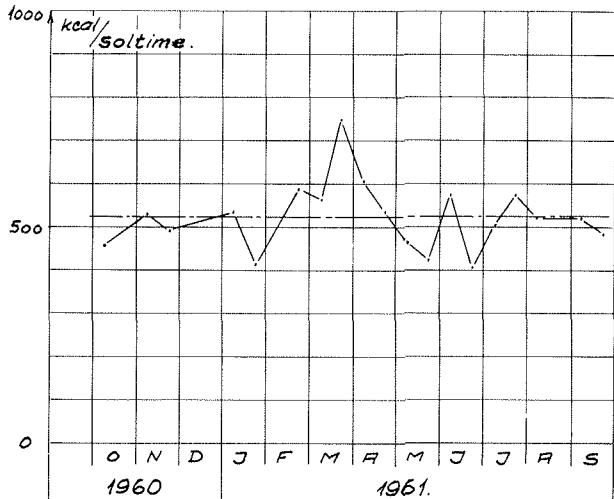


Fig. 12. Den målte indstrålede varmemængde pr. solskinstime i afhængighed af årstiden.

skyfri himmel. Denne intensitet er korrigeret for indfaldsvinklen på et lodret vindue, vinkelret på en lodret plan gennem stråleretningen, samt for absorbtionen i de to lag glas efter fig. 6. Herved fremkommer kurve II.

Den diffuse stråling har Lunelund målt på en vandret flade, d. v. s. at den samlede diffuse stråling fra himlen er målt. Fra et lodret vindue ses kun halvdelen af himlen. Følgelig kan man, idet der regnes med en jævn fordeling af strålingen over himmelrummet, addere halvdelen af intensiteterne til kurve II for at få kurven III for den samlede indfaldende stråling, idet reflektionen fra marken regnes ubetydelig.

Fig. 10 viser de målte intensiteter efter kurve I omregnet til forskelligt orienterede vinduer.

På fig. 11 er foretaget en sammenligning mellem den modtagne og afgivne varme fra 1 m² dobbelt vindue. Som eksempel er valgt en orientering mod sydvest. Den tilførte varmemængde fremgår af tabel 1, medens transmissionabet er beregnet efter Dansk Ingeniørforenings normer for beregning af varmetab fra bygninger, d. v. s. at der er regnet med en indvendig

temperatur på 20°C og en k-værdi på 3,1, svarende til to lag glas. Gennem hele varmesæsonen har vinduet afgivet 252 megacal, medens det har modtaget 239 megacal eller 95 % af den afgivne varmemængde. Dette er dog ikke ensbetydende med, at man i praksis kan udnytte al den indstrålede solvarme, idet effekten, når solen skinner, er større end varmebehovet, således at man for at undgå overophedning af rummene enten må bortventilere overskudsvarmen eller afskærme vinduerne. Den bedste udnyttelse af solvarmen får man, når de dele af gulv og indervægge, som kan solbeskinnes, har en stor varmeakkumuleringsevne, f. eks. beton og mursten. Herved opnås en betydelig udjævning af temperaturen i rummet, samt at en væsentlig del af overskudsvarmen først afgives til rummet, når solen er forsvundet.

Teknologisk Institut foretager en løbende beregning af graddage på grundlag af Meteorologisk Instituts observationer. Disse graddage korrigeres for sol udfra antallet af solskinstimer. Det kan derfor være af interesse at se, hvorledes den indstrålede varmemængde pr. solskinstime varierer året igennem. Denne variation er vist på fig. 12, idet antallet af soltimer er målt af Meteorologisk Institut ved Toldboden i København. Ses der bort fra den tilfældige spredning, har den tilførte varmemængde pr. solskinstime været nogenlunde konstant året igennem.

