11/66

Gösta Brown:

SOLVÄRME GENOM FÖNSTER OCH SOLSKYDD

Särtryck ur tidskriften VVS 6:1965 och 2:1966

Rapport från Byggforskningen, Stockholm

Rapport 11:1966
UDK 697.7.551.1
69.028.2
69.028.3

SOLVÄRME GENOM FÖNSTER OCH SOLSKYDD

Solar Heat Through Windows and Solar Shading Devices

Sonnenwärme durch Fenster und Sonnenschutz

av docent *Gösta Brown*, Institutionen för uppvärmning och ventilation, Tekniska Högskolan, Stockholm

Utgivare: Statens institut för byggnadsforskning

Denna rapport utges enligt byggforskningsrådets beslut med medel från fonden för byggnadsforskning; försäljningsintäkterna tillfaller fonden.

Föreliggande rapport består av två nyligen publicerade artiklar i tidskriften VVS. I den första av dem ges i ett diagram intensiteten vid markytan hos sol- och himmelsstrålningen som funktion av solhöjden. De kurvor som avser direkt solstrålning klara dagar och himmelsstrålning vid genomsnittlig molnighet grundar sig på resultat från mätningar av Lunelund i Helsingfors, medan kurvan för himmelsstrålning vid klart väder baseras på amerikanska mätvärden. Värdena för klart väder på direkt solstrålning och himmelsstrålning överensstämmer väl med resultaten från egna mätningar vid Tekniska Högskolan i Stockholm.

Solvärmet genom ett oskyddat tvåglasfönster beror inte bara av intensiteten av den strålning som träffar dess utsida utan också av hur fönstrets glasrutor absorberar och transmitterar strålningen vid olika infallsvinklar. För vertikala tvåglasfönster med rutor av "vanligt" fönsterglas (dvs. glas som vid 3 mm tjocklek och vinkelrätt infallande solstrålning direkt transmitterar ca 86 % av strålningen) presenteras diagram som ger total värmeinläckning klara dagar av resp. direkt solstrålning, av himmelsstrålning och av summan av direkt solstrålning, himmelsstrålning och markreflekterad strålning.

I rapporten bifogas ett transparent exemplar av det sistnämnda diagrammet, "solvärmediagrammet". Det kan läggas ovanpå det "sollägesdiagram" som ritats för Stockholms latitud, och man kan för godtycklig tidpunkt direkt avläsa instrålat värme från sol, himmel och mark genom ett fönster som vetter mot ett godtyckligt väderstreck. Vid andra latituder inför man solens läge i solvärmediagrammet t. ex. med hjälp av de sollägestabeller som publicerats i Byggforskningens rapport 75.

I avsnittet om solskydd visas hur man i allmänhet kan beräkna instrålat värme genom ett fönster med solskydd, med olika antal rutor eller med rutor av värmeabsorberande eller värmereflekterande glas, genom att multiplicera värmet genom det oskyddade tvåglasfönstret med en "avskärmningsfaktor", vars värde är mindre än 1. Metoden innebär en approximation framför allt därför att faktorns värde egentligen varierar med strålningens infallsvinkel. Värdet har valts så att resultatet av beräkningen av instrålat solvärme skall så väl som möjligt överensstämma med resultatet av mätningar och noggrannare beräkningar genomsnittligt, med hänsyn tagen till förekommande variationer i fråga om strålningsintensitet och infallsvinkel.

Rapportens omfattning är sådan att den endast kan ge svar på ett mycket begränsat antal principiella frågor rörande sol och solskydd och ge ett fåtal data i form av diagram och tabeller för bestämning av solvärme genom fönster. Avsikten är att en betydligt mera utförlig behandling av hithörande problem skall ges i en kommande rapport. Som exempel på vad som återstår att redogöra för kan påpekas att bara strålning vid klart väder och fri horisont berörts, fastän molnig himmel och mer eller mindre avskärmad horisontlinje är vanligare. Dessa förhållanden har betydelse speciellt då värmetillskottet genom sol- och himmelsstrålning under längre tidsperioder skall studeras, vid beräkningar av värmebalans och värmebehov. Anledningen till att det föreliggande materialet nu publiceras separat är det stora behovet av information på området.

Civilingenjör Engelbrekt Isfält, medförfattare till artikeln om solskydd, har även medverkat vid tillkomsten av underlaget för artikeln om solvärme genom fönster.

Stockholm i april 1966

Gösta Brown

I artikeln visas hur man med hjälp av ett "solvärmediagram" kan bestämma instrålat solvärme genom ett fönster. Diagrammet ger direkt värmeinläckningen på grund av strålning från sol och himmel, inkl. reflexion från marken, vid ett oskyddat tvåglasfönster med rutor av vanligt fönsterglas, vid klart väder och då man känner solens läge på himlen. För fönster av annat slag eller för fönster med solskydd kan man vanligen få det sökta värdet genom att multiplicera inläckningen genom det oskyddade tvåglasfönstret med en avskärmningsfaktor. Sådana faktorer anges i en artikel om solskydd i VVS nr 6, 1965. — Författaren har baserat framställningen på sitt föredrag vid VVS-Tekniska Föreningens årsmöte den 20 oktober 1965.

Solvärme genom fönster

Docent GÖSTA BROWN
Tekniska Högskolan, Stockholm

697.7.551.1
69.028.2

Strålningen från solen når ett föremål på jordytan som *direkt* och *reflekterad* strålning. Då solen inte är täckt av moln dominerar i allmänhet den direkta strålningen. Då ett solskydd skall anordnas med hänsyn till bländning och besvärande överskottsvärme är det direkt solstrålning man främst vill skärma av.

Den *reflekterade* strålningen kan uppdelas i *himmelsstrålning* och *markreflekterad strålning*, se fig. 1.

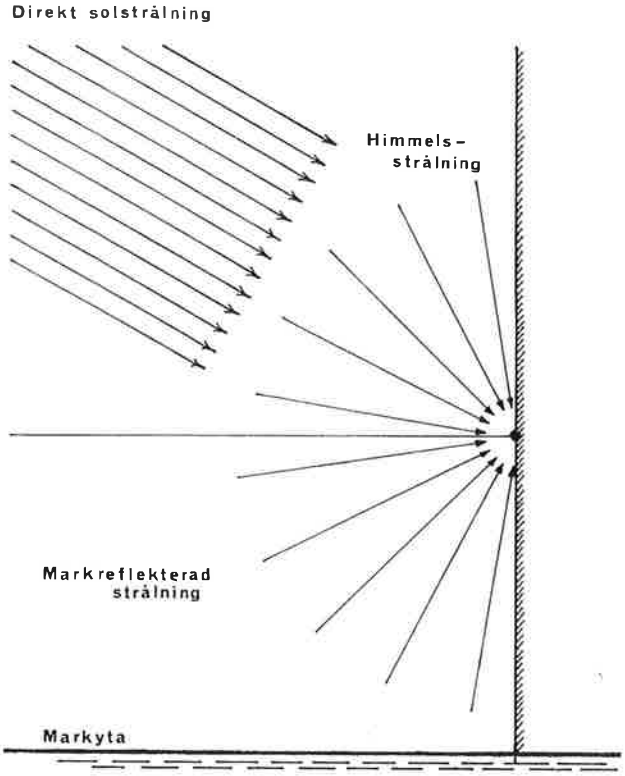


Fig. 1. Solstrålning mot en punkt på en vertikal yta.
Solar radiation at a point on a vertical surface.
Sonnenstrahlung auf einen Punkt einer vertikalen Wand.

Himmelsstrålningen uppstår därigenom att atmosfärens molekyler samt partiklar i atmosfären reflekterar (eller sprider) strålningen från solen. Till markreflekterad strålning hänförs här all strålning från solen — direkt eller reflekterad av himlen — som reflekteras av marken och av föremål (byggnader etc.) på denna.

Om solen inte är skymd har den reflekterade strålningen i normala fall mindre intensitet än den direkta. Trots detta är det motiverat att ta hänsyn till dess värmeverkan. Persienner och framför allt markiser ger dåligt eller inget skydd för denna reflekterade eller som den också kallas *diffusa* strålning. Den faller ju till stor del in mot ett fönster underifrån eller rätt in och kan därför inte avskärmas effektivt om man vill ha kvar möjligheten att se ut. Och för minskning av byggnaders värmebehov har den jämförelsevis stor betydelse. Den tid under vintern som solen står över horisonten och himlen avger strålning är ju långt större än den som solen belyser ett fönster.

Vissa förutsättningar måste gälla för att strålningen från himmel resp. mark skall fördela sig på det sätt som pilarna i fig. 1 anger. Deras lika längd antyder ju att lika mycket strålning kommer in från varje rymdvinkelenhet mot en punkt på en vertikal yta, oberoende av strålningens riktning, så länge det gäller strålning från ett parti över horisonten resp. under horisonten.

Vad himmelsstrålningen beträffar skulle horisonten vara fri och alla partier av himlen lysa lika starkt. I verkligheten är det endast vid s. k. genomsnittlig molnighet som man kan anta att strålningen är jämnt fördelad över himlen. Vid klar himmel strålar partiet kring solen starkast, därnäst partiet närmast horisonten. Vid helt mulen himmel är strålningen starkare

från området omkring zenit än från området närmast horisonten.

Reflexionen vid marken antas ske diffust. Intensiteten av den reflekterade strålningen i viss riktning följer då cosinus-lagen oberoende av riktningen hos den inkommande strålningen [1]. Vidare måste antas att markytan framför den vertikala ytan är plan, att den är jämnt belyst (oskuggad) och att den överallt reflekterar inkommande strålning lika mycket.

Solens läge

Vid beräkningar måste man kunna ange varifrån strålningen kommer. Vissa vinklar måste definieras. I fig. 2 är ett horisontalplan lagt genom punkten på den vertikala väggen. Väggens orientering i väderstrecken är bestämd genom väggnormalens riktning i förhållande till söder. Denna riktning anges genom väggazimuten v.

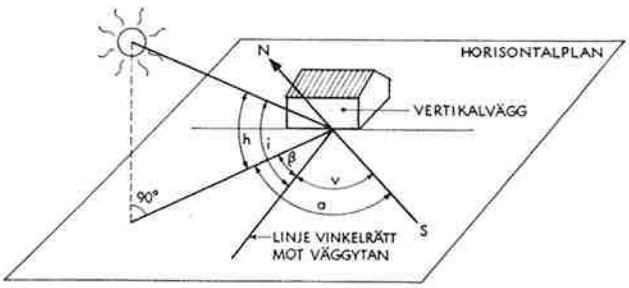


Fig. 2. Definition av vinklar vid solbelyst vägg. h = solhöjd, a = solazimut, v = väggazimut, β = horisontalvinkel, i = infallsvinkel.

Definitions of angles at a sunlit wall. h = solar altitude; a = solar azimuth; v = wall azimuth; β = wall-solar azimuth; i = incidence angle.

Definition der Winkel an einer besonnten Wand. h = Sonnenhöhe; a = Sonnenazimut; v = Wandazimut; β = Horizontalwinkel; i = Einfallswinkel.

Väderstrecken räknas positiva medsols från söder. Det betyder att sydlig riktning anges med vinkeln 0°, väster med +90° och öster med —90°. Norr kan anges antingen med —180° eller +180°.

Solens läge anges genom solhöjden h och solazimuten a (väderstrecket i vilket solen står). Horisontalvinkeln β är skillnaden mellan a och v och anger solens läge i horisontalplanet i förhållande till väggnormalens riktning. Infallsvinkeln i är vinkeln mellan strålningsriktningen och ytans normal.

Solhöjden h och solazimuten a kan man hämta ur tabeller [2] eller diagram. Solens position beror av tidpunkten, dvs. klockslag och dag på året, och av breddgraden, latituden. De klockformade kurvorna i "sollägesdiagrammet" fig. 3 ger h och a för den 15 i varje månad på Stockholms latitud. För den 15 juni kan man avläsa h = 54° kl. 12. Vid detta klockslag står solen i söder, och a är 0°. Den 15 dec. kl. 12 är solhöjden bara 7,5°. Endast vid vår- och höstdagjämningen, 21 mars och 23 september, går solen upp precis i öster och ned i väster. Då är klockan 6 resp. 18.

Klockslagen i fig. 3 avser sann soltid. Klockan är 12 sann soltid när solen står högst på himlen rakt i söder. Den sanna soltiden överensstämmer inte helt med den svenska borgerliga tiden. Avvikelsen är dels beroende av årstiden och dels av den meridian som orten är belägen på där man befinner sig. Tiden på året inverkar genom att jordens bana runt solen inte är en cirkel utan en ellips och genom att banan inte ligger i samma plan som ekvatorn. Betydelsen av ortens läge framgår av att ju längre österut man befinner sig desto tidigare på dagen går solen upp. Korrektionstabellen i fig. 4 anger skillnaden mellan den sanna soltiden och den tid klockan visar. Skillnaden ges för olika orter den 1 och 15 i varje månad. Tabellen ger också orternas latituder.

Man ser av tabellen att korrektionen kan vara ganska stor. Det största värdet, —53 minuter, gäller för Haparanda den 1 november. Solen står där i söder redan 7 minuter över 11.

Solstrålningens intensitet

Diagrammet i fig. 5 visar hur solstrålningens styrka, intensitet, varierar med solhöjden. Att intensiteten växer med solhöjden beror på att strålningen har allt tunnare skikt av atmosfären att tränga igenom. Om man en klar dag håller *en yta vinkelrätt mot solstrålarna* träffas ytan av en strålning från solen, I_{DN}, som under vintern har den intensitet som den översta kurvan anger. Intensiteten är något högre än under sommarmånaderna. Atmosfären under vintern absorberar något mindre av strålningen än under sommaren därför att halten vattenånga i luften är mindre, och dessutom är avståndet till solen något mindre under vintern. Kurvorna för den direkta solstrålningens styrka mot *en horisontell yta*, I_{DH}, har erhållits på så sätt att de värden som kurvorna för I_{DN} ger multiplicerats med sinus för solhöjden. De två återstående kurvorna ger strålningen från himlen mot en horisontell yta vid klart väder resp. vid genomsnittlig molnighet.

Alla kurvorna utom den understa är uppritade på grundval av värden som erhölls vid mätningar av Lunelund i Helsingfors åren 1927—1933 [3]. Då marken var snötäckt fick dock Lunelund högre värden än vad kurvan I_{dH} för genomsnittlig molnighet anger, ungefär 40 % högre under februari och mars. Det berodde på att molnen reflekterade inte bara strålning från solen utan också från snötäcket.

Den understa kurvan baseras på värden från amerikanska mätningar därför att de överensstämmer bättre med de värden som vi själva fått vid kontrollmätningar än vad Lunelunds värden gör. Lunelunds värden var lägre.

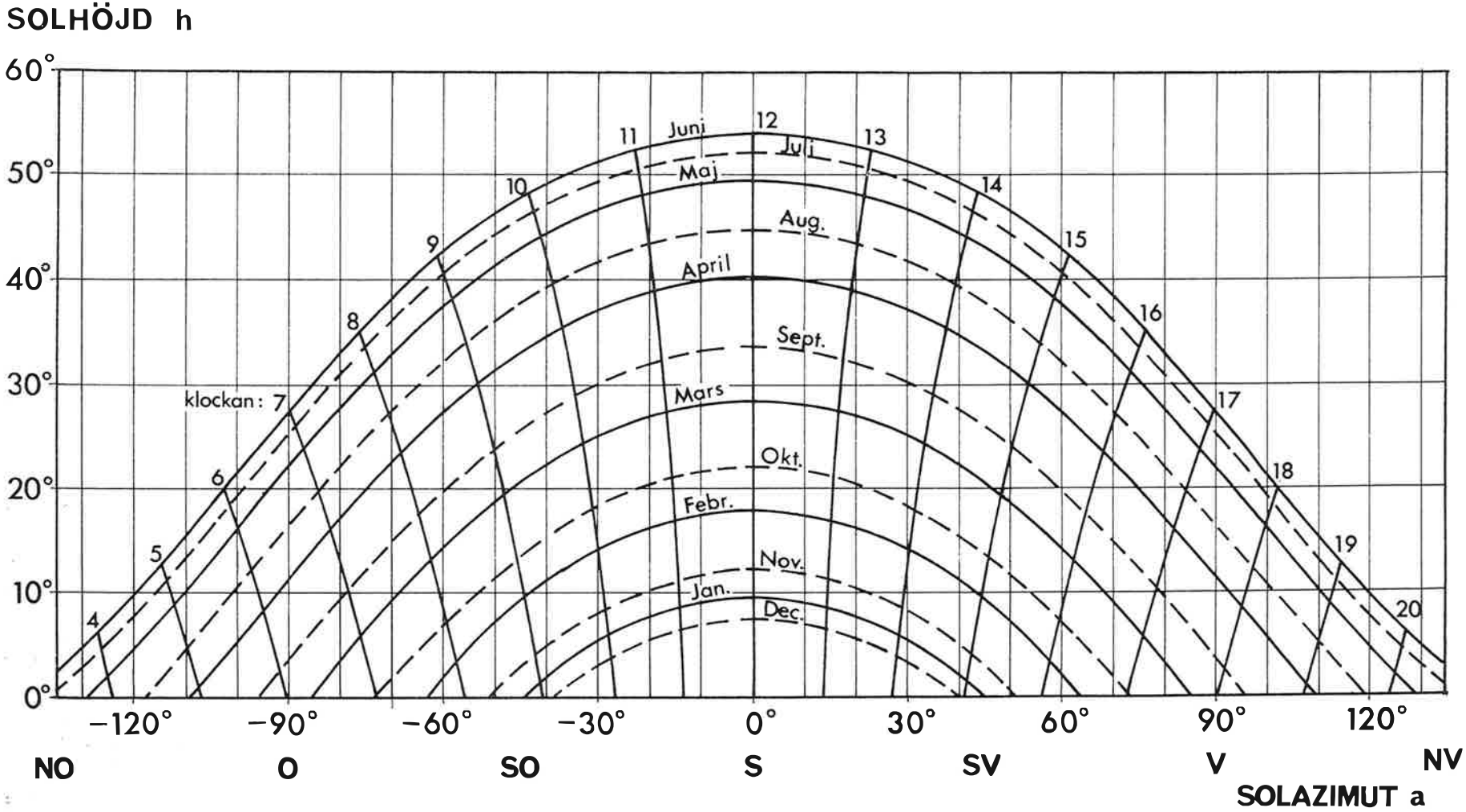


Fig. 3. Solens läge på Stockholms latitud, 59° 21′ N, den 15 i varje månad ("sollägesdiagram").

Solar position at the latitude of Stockholm, 59° 21′ N, on the 15th of each month ("solar position graph").

Stand der Sonne, bezogen auf Stockholms Latitud, 59° 21′ N, am 15. jeden Monats (Sonnenstandsdiagramm).

Ort	Latitud °N	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
Eskilstuna	59 22	- 3	+ 3	+ 8	+ 8	+ 6	+ 3	- 2	- 6	- 9	-10	- 8	- 6	- 2	0	0	- 2	- 6	-11	-16	-20	-22	-21	-17	-11
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
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
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
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
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
Haparanda	65 50	-34	-28	-23	-23	-25	-28	-33	-37	-40	-41	-39	-37	-33	-31	-31	-33	-37	-42	-47	-51	-53	-52	-48	-42
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
Umeå	63 49	-19	-12	- 7	- 7	- 9	-12	-17	-21	-24	-25	-23	-21	-17	-15	-15	-17	-21	-26	-31	-35	-37	-36	-32	-26
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
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
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
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
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
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
Växjö	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
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
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
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

Fig. 4. Korrektion i minuter för erhållande av svensk borgerlig tid 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.

Correction in minutes to obtain Swedish standard time (central European time) from true solar time at various dates (calculation based on the Swedish almanac) for certain towns in Sweden, with the latitudes of these towns.

Berichtigung in Minuten, um die schwedische Normalzeit für bestimmte Städte in Schweden, unter Angabe ihres Breitengrades, aus der wahren Sonnenzeit zu erhalten (die Werte sind mit Hilfe des Schwedischen Kalenders berechnet).

I fig. 5 är kurvorna för direkt solstrålning grundade på Lunelunds genomsnittliga värden under klara dagar. Vid extremt klart väder, dvs. vid särskilt liten halt av föroreningar och vattenånga i luften, kan man få högre värden. Fig. 6 är ritad med hjälp av de största värdena som Lunelund fick vid olika solhöjder. Enligt diagrammet blev t. ex. vid 30° solhöjd maximivärdet 13 % högre än medelvärdet.

Man kan naturligtvis betvivla att man skulle få samma värden vid mätningar nu på olika håll i Sverige som man fick i Helsingfors för omkring 35 år sedan. Mätningar vid klart väder som vi gjort vid Tekniska Högskolan i Stockholm, fig. 7, tyder emellertid på god överensstämmelse med Lunelunds mätningar, som var noggranna och systematiskt bedrivna. Det vore naturligtvis önskvärt om kontinuerliga mätningar kunde göras på olika håll i landet, eftersom man kan vänta sig att det förekommer en viss variation i atmosfärens halt av stoft och vattenånga. Men man kan nog anse att noggrannheten i allmänhet blir tillräcklig om man använder de finska värdena, då man t. ex. skall beräkna kylbehovet för en byggnad. Det finns andra mera osäkra faktorer som inverkar på beräkningsresultatet.

I fig. 5 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, som förut nämnts, 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. 8. När solen står bakom fasaden blir kvoten mindre än 0,5. Dess värde stiger emellertid snabbt när solen börjat lysa på fasaden ($i \leqq 90°$). Maximivärdet inträffar när infallsvinkeln är 0, dvs. när strålningen från partiet kring solen har väggnormalens riktning.

Tabellen i fig. 9 visar reflexionsfaktorer för olika slag av ytor i byggnaders omgivning. De kan användas då man skall bestämma intensiteten hos den markreflekterade strålningen mot en vertikal yta, t. ex. ett fönster.

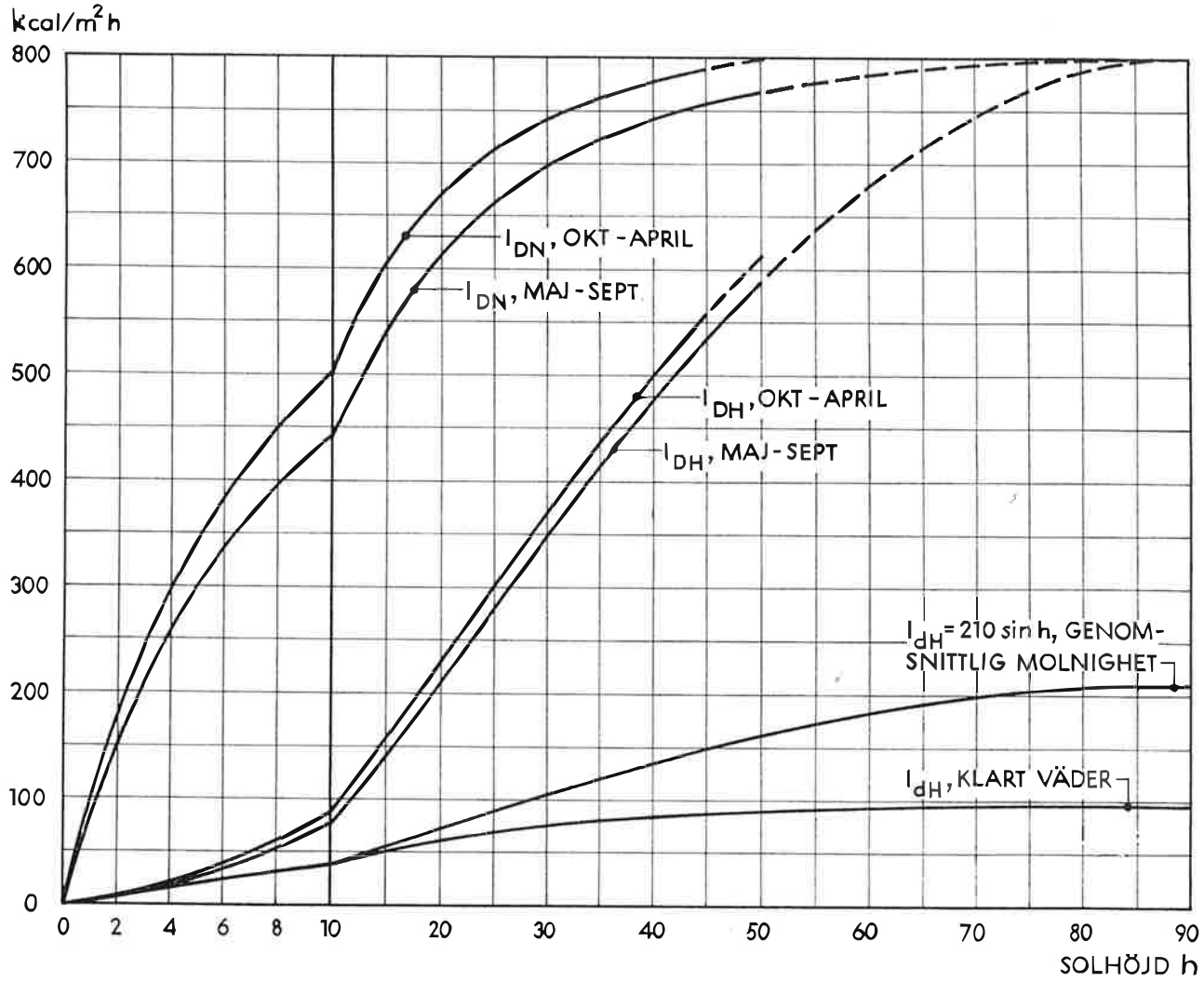


Fig. 5. Sol- och himmelsstrålningens intensitet. I_{DN}, I_{DH} = direkt solstrålning klara dagar, vinkelrätt mot strålningsriktningen resp. mot horisontell yta. I_{dH} = himmelsstrålning mot horisontell yta.

Intensity of solar and diffuse sky radiation. I_{DN}, I_{DH} = direct solar radiation on clear days, normal to the sun's rays and incident upon a horizontal surface, respectively. I_{dH} = diffuse sky radiation incident upon a horizontal surface.

Intensität der Sonnen- und Himmelsstrahlung. I_{DN}, I_{DH} = direkte Sonnenstrahlung an klaren Tagen, senkrecht zur Strahlungsrichtung, bzw auf eine horizontale Fläche. I_{dH} = Himmelsstrahlung auf eine horizontale Fläche.

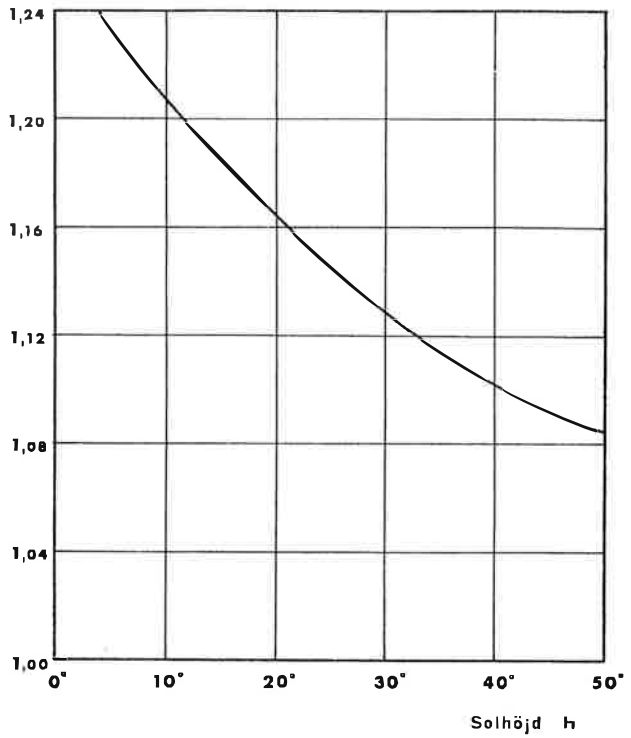


Fig. 6. Förhållandet mellan det maximalt uppmätta och det genomsnittliga värdet på intensiteten hos direkt solstrålning vinkelrätt mot strålningsriktningen vid klart väder som funktion av solhöjden vid mätningar i Helsingfors 1927—1933.

Relationship between maximum measured and mean values of direct solar radiation normal to the sun's rays in clear weather as a function of solar altitude; measurements made in Helsinki 1927—1933.

Verhältnis des max. gemessenen Wertes zu dem Durchschnittswert der Intensität bei direkter Sonnenstrahlung senkrecht zur Strahlungsrichtung bei klarem Wetter als Funktion der Sonnenhöhe. Die Messungen wurden in den Jahren 1927—1933 in Helsingfors durchgeführt.

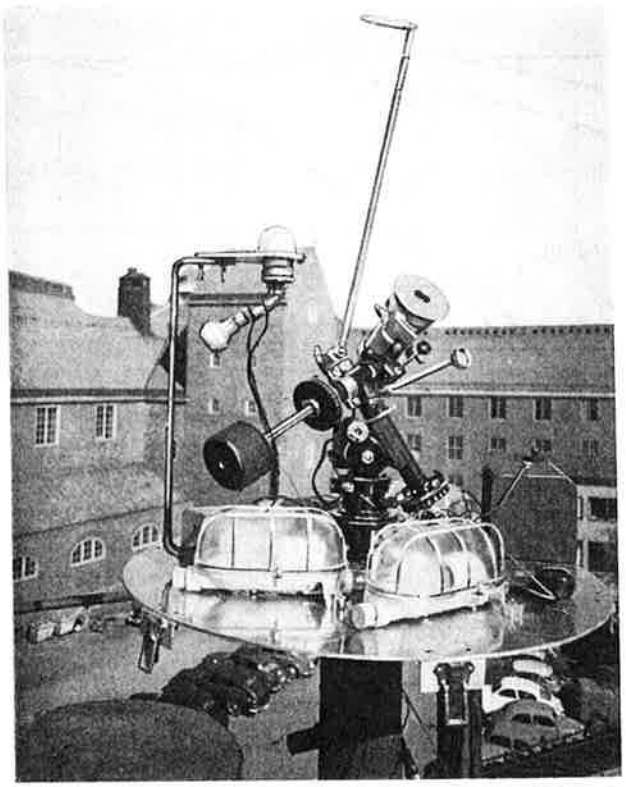


Fig. 7. Mätning av direkt solstrålning och av himmelsstrålning på taket av byggnaden för Institutionen för Uppvärmnings- och ventilationsteknik vid Tekniska högskolan i Stockholm.

Measurement of direct solar radiation and of sky radiation on the roof of the Heating and Ventilation Division of the Royal Institute of Technology, Stockholm.

Messung der direkten Sonnenstrahlung und der Himmelsstrahlung auf dem Dach des Institutsgebäudes für Heizungs- und Lüftungstechnik der KTH Stockholm.

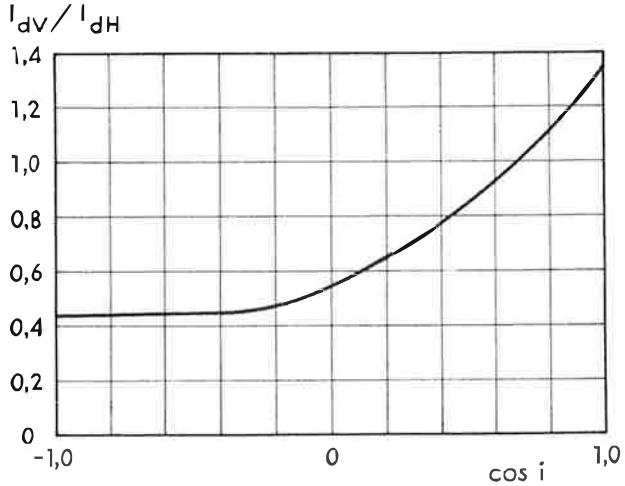


Fig. 8. Förhållandet mellan himmelsstrålningen mot vertikal yta, I_{dV} och mot horisontell yta, I_{dH}, vid klart väder som funktion av cos i.

Ratio of diffuse sky radiation upon a vertical surface, I_{dV}, to that incident upon a horizontal surface, I_{dH}, in clear weather as a function of cos i.

Verhältnis der Himmelsstrahlung auf eine vertikale Fläche, I_{dV}, zu der auf eine horizontale Fläche, I_{dH}, bei klarem Wetter als Funktion von cos i.

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

Fig. 9. Reflexionsfaktorer för solstrålning, hos ytor i byggnaders omgivning.

Solar radiation reflectivity of surfaces near buildings.

Reflexionszahlen für Sonnenstrahlung, bei Flächen in der Umgebung von Gebäuden.

Ett enkelt resonemang ger att om hela markytan har reflexionsfaktorn r och träffas av direkt solstrålning med intensiteten I_{DH} och av himmelsstrålning med intensiteten I_{dH}, så blir intensiteten av den strålning som träffar den vertikala ytan

$$I_{mV} = \frac{1}{2}\, r\, (I_{DH} + I_{dH}) \qquad (1)$$

Man bortser då ifrån att vissa markpartier kan vara skuggade, t. ex. av byggnaden själv. Är exempelvis $r = 0{,}2$ och solhöjden 30° blir $I_{DH} + I_{dH}$ ca 450 kcal/h per m² markyta, och den markreflekterade strålningen blir $0{,}1 \cdot 450 = 45$ kcal/h per m² av den vertikala ytan.

Strålningens transmission genom tvåglasfönster

Av strålningen mot en vertikal yta tränger endast en del in genom ett fönster. Träffas ett tvåglasfönster av solstrålning som faller in vinkelrätt genom glaset

Fig. 10 ▶

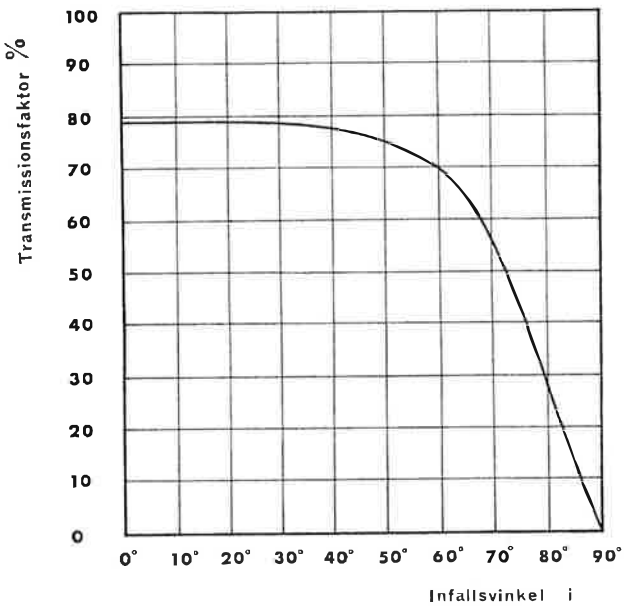
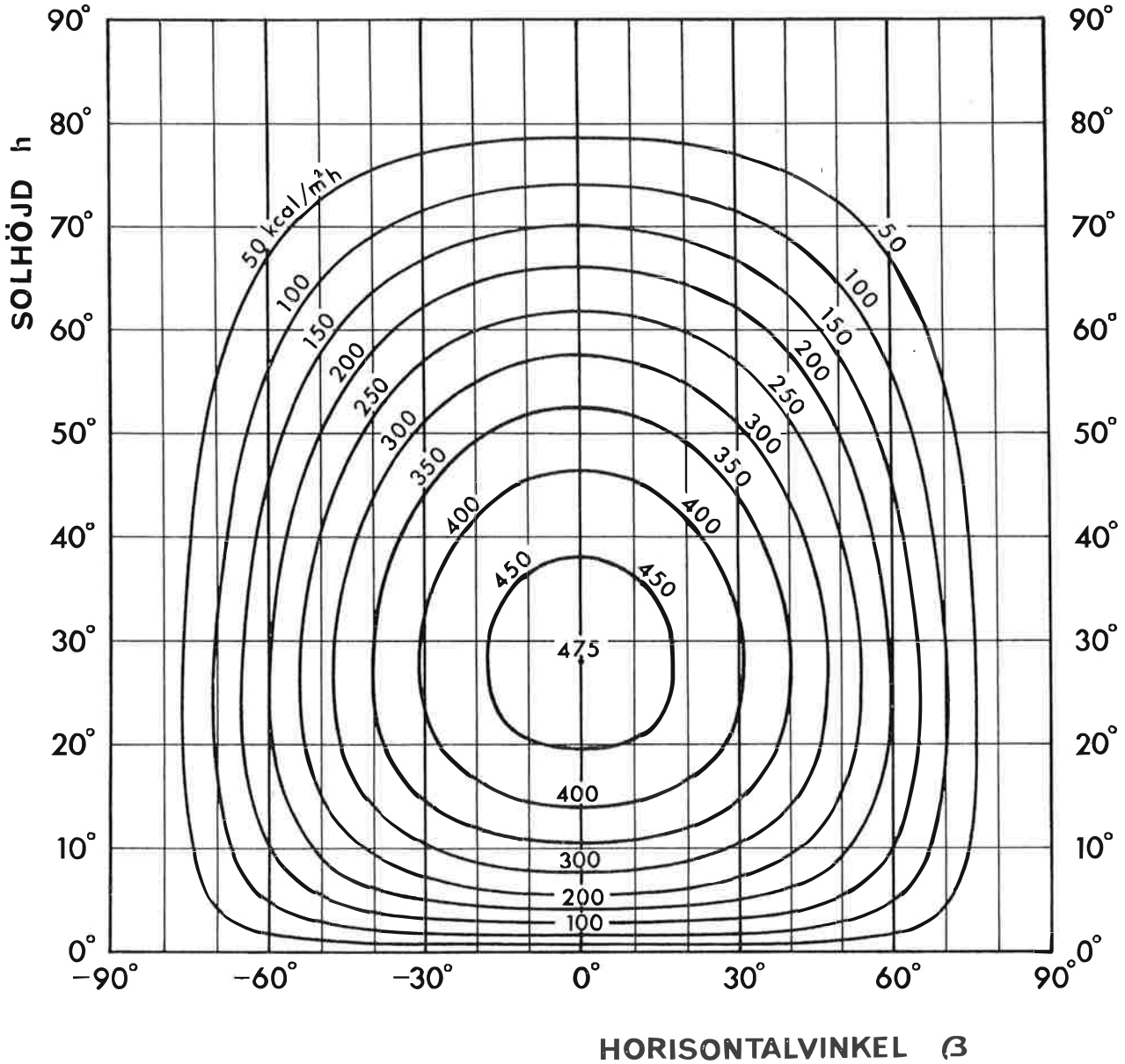


Fig. 10. Solstrålningens totala transmission genom två rutor av vanligt 3 mm tjockt fönsterglas.

Total transmission of solar radiation through two panes of ordinary 3 mm thick window glass.

Totaltransmission der Sonnenstrahlung durch 2 Glasscheiben aus gewöhnlichem 3 mm starken Fensterglas.



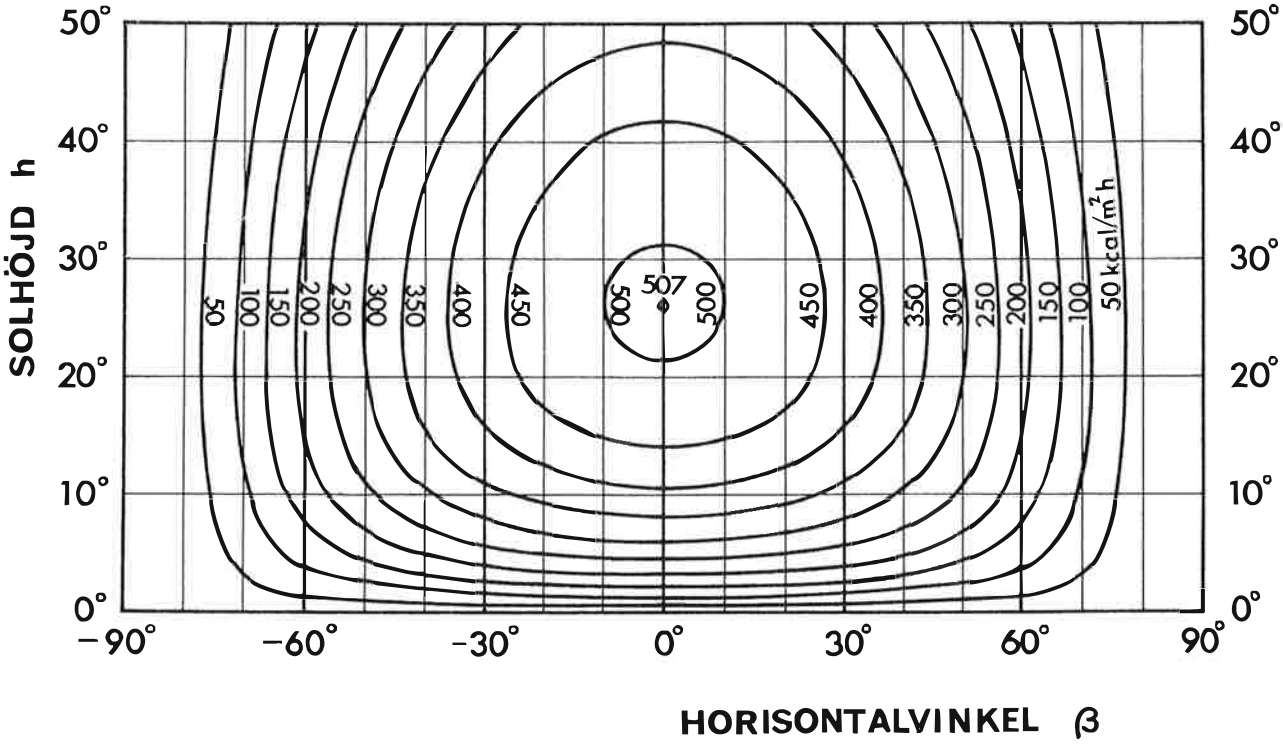
▲ Fig. 11 a

Fig. 11 a. Total värmeinläckning av direkt solstrålning klara dagar sommartid (maj—sept.) samt klara dagar vintertid (okt.—april) (fig. 11 b), genom ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas.

Total heat gain due to direct solar radiation on clear days in summertime (May—September) and on clear days in wintertime (October—April) (fig. 11 b) through a double-glazed window of ordinary window glass.

Totale Wärmeeindringung von direkter Sonnenstrahlung an klaren Tagen im Sommer (Mai—Sept.) und klaren Wintertagen (Okt.—April) (Abb. 11 b) durch ein Fenster mit 2 Scheiben aus gewöhnlichem Fensterglas.

▼ Fig. 11 b



transmitteras 79 % av strålningsenergin till rummet, där den förvandlas till värme. 79 % är ett approximativt värde, eftersom transmissionen är beroende av hur glaset absorberar och reflekterar strålningsenergin vid olika våglängder och av hur absorberad energi avges från fönstrets insida och utsida. Den totala transmissionen är nämligen summan av genom glaset direkt transmitterad strålningsenergi och värme som kommer in i rummet på så sätt att det avges till rummet från den inre glasrutan, som fått en högre temperatur därför att glaset absorberat en del av strålningen. Vid ökad infallsvinkel ökar reflexionen av strålningen, och transmissionen sjunker, se fig. 10.

Infallsvinkeln för den direkta solstrålningen kan bestämmas på ett relativt enkelt sätt. Den genomsnittliga infallsvinkeln för strålningen från himmel och mark är beroende av hur strålningen är fördelad över himlen och över markytan. Vid jämnt strålande himmel resp. jämnt reflekterande markyta (fig. 1) transmitteras 70 % av strålningen. Det svarar enligt diagrammet i fig. 10 mot en genomsnittlig infallsvinkel av knappt 60°.

Diagram för bestämning av instrålat solvärme genom tvåglasfönster

En bestämning av solvärmet genom ett vertikalt fönster med två rutor av vanligt glas under en klar dag kan göras mycket enkel genom användning av diagram. Intensiteten hos strålningen från sol och himmel, infallsvinkeln och transmissionsfaktorn för fönstret behöver man inte känna. Det enda man behöver ta reda på i förväg är solhöjden h och horisontalvinkeln β.

Fig. 11 a och 11 b ger värmeinläckningen p.g. a. direkt solstrålning sommar- resp. vintertid, fig. 12 värmeinläckningen p.g. a. himmelsstrålning (vid fri horisont). Vid diagrammens konstruktion har fig. 5, 8 och 10 använts (för himmelsstrålningen antogs konstant transmission, 70 %). Observera att diagrammen gäller för ett vertikalt fönster i godtyckligt väderstreck. Då β är större än 90° eller mindre än —90° får man ingen värmeinläckning av direkt solstrålning eftersom solen då står bakom fasaden, men väl av himmelsstrålning.

I stället för att använda två diagram som ger instrålat värme från sol resp. himmel kan man naturligtvis begagna ett enda diagram som ger hela instrålningen. Fig. 13 visar ett sådant "solvärmediagram". Det inkluderar också markreflekterad strålning. Vid uppritningen användes fig. 11 a och 12 samt ekv. (1) med $r = 0{,}25$.

Man kan lägga märke till att för en och samma solhöjd, t. ex. 20°, värmeinläckningen ökar starkt då

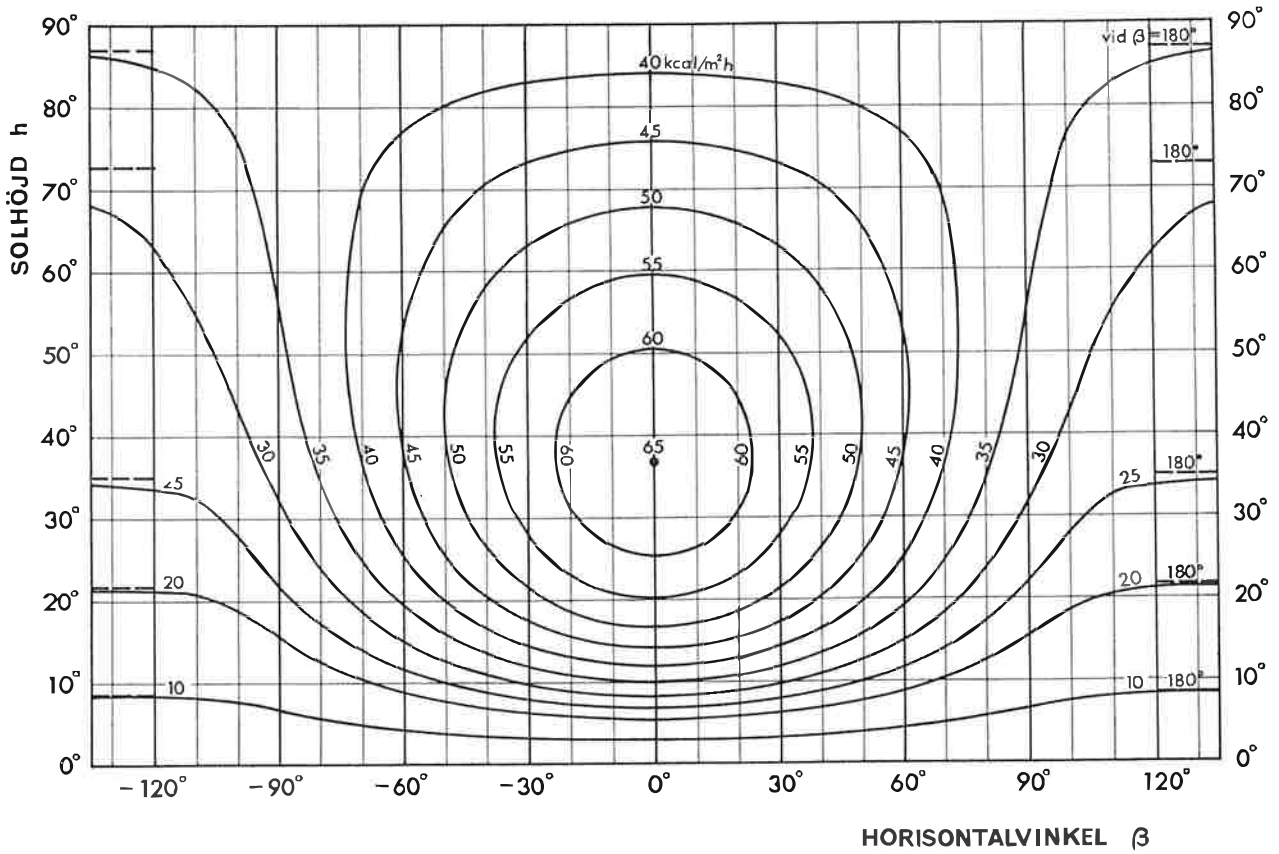


Fig. 12. Total värmeinläckning av himmelsstrålning klara dagar genom ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas.

Total heat gain due to diffuse sky radiation on clear days through a double-glazed window of ordinary window glass.

Totale Wärmeeindringung von Himmelsstrahlung an klaren Tagen durch ein Fenster mit 2 Scheiben aus gewöhnlichem Fensterglas.

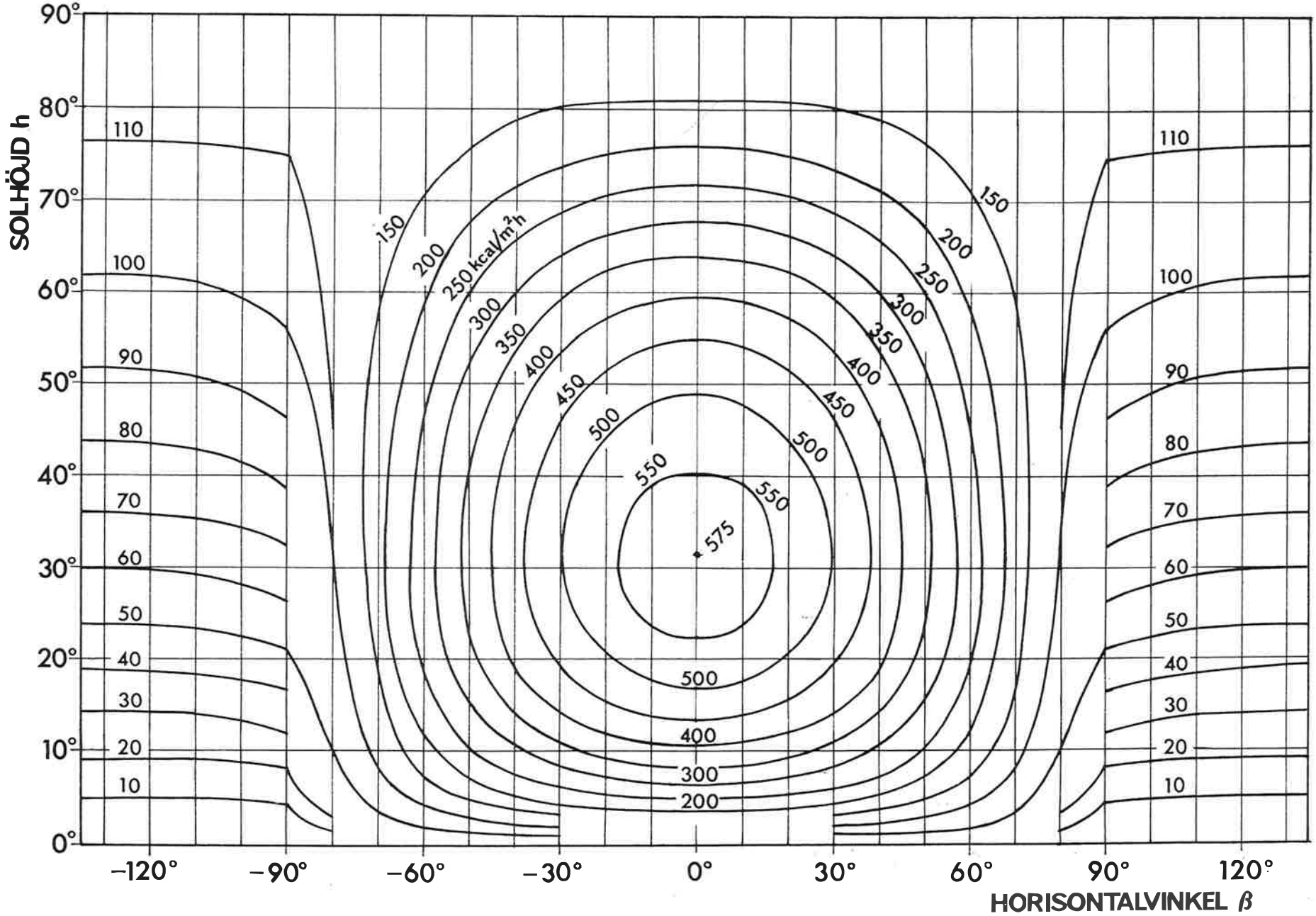


Fig. 13. Instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar som martid (maj—sept.) genom ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas ("Solvärmediagram").

Irradiated heat from sun, sky and ground on clear days in summertime (May—September) through a double-glazed window of ordinary window glass ("solar heat graph").

Von der Sonne, dem Himmel und der Erde eingestrahlte Wärme an klaren Sommertagen (Mai—Sept.) durch ein Fenster mit 2 Scheiben aus gewöhnlichem Fensterglas ("Sonnenwärmediagramm").

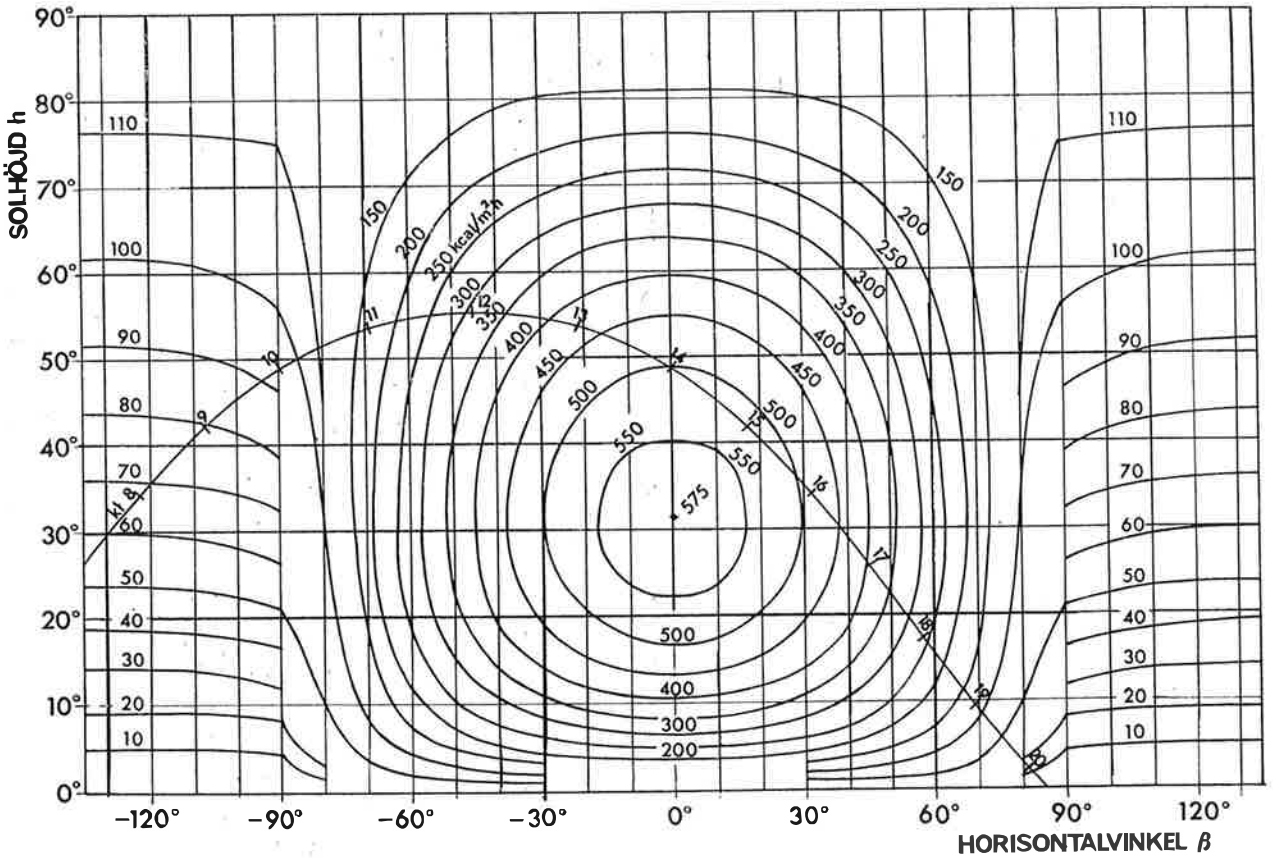


Fig. 13 a. Solvärmediagrammet med kurva visande solens läge den 15 juli för fönster mot SV på latituden 56° N.

Solar heat graph with curve showing position of sun on 15 July for window with south-west aspect at latitude 56° N.

Sonnenwärmediagramm mit Kurve des Sonnenstandes am 15. Juli, bezogen auf ein nach SW belegenes Fenster auf der Latitud 56° N.

läget av solen närmar sig diagrammets symmetriaxel, som ju representerar det vertikalplan som är vinkelrätt mot fönstret. Per ytenhet solbelyst fönster blir instrålningen jämförelsevis obetydlig då solen lyser snett från sidan. Intressant är också att det vid $\beta = 0$ finns ett maximum för instrålat värme, som inträffar vid en solhöjd av ca 32°. Värmet avtar vid lägre och högre solhöjder, vid lägre därför att intensiteten hos I_{DN} och I_{dH} minskar, se fig. 5, och vid högre därför att strålningens infallsvinkel blir stor.

LATITUDE 56°

Date	Time a. m.	Azimuth	Altitude h	Tan h
JULY 15				
	12	0.0	55.5	1.457
	11	24.0	53.8	1.365
	10	45.2	49.0	1.150
	9	62.7	42.2	0.908
	8	77.4	34.4	0.684
	7	90.4	26.0	0.488
	6	102.4	17.7	0.319
	5	114.3	9.8	0.172
	4	126.3	2.5	0.044

Fig. 14. Utdrag ur "Solar position etc." [2].

Extract from "Solar Position, etc." [2].

Auszug aus "Solar position etc." [2].

Exempel

I fig. 13 a är ett exempel inritat, avseende bestämning av instrålningen genom ett oskyddat tvåglasfönster mot SV i Kristianstad den 15 juli vid klart väder och fri horisont.

Av tabellen i fig. 4 framgår att Kristianstad ligger på latituden 56° N (approximativt). För denna latitud kan man avläsa solens höjd och azimut i fig. 14. För en SV-vägg är väggazimuten $v = 45°$, varför $\beta = a - 45°$. Kl. 12 är $a = 0$ och alltså $\beta = -45°$ vid detta klockslag. I fig. 15 är resultatet av bestämningen angivet.

Abskissvärdet i fig. 15 avser sann soltid. Vill man avläsa instrålat värme vid klockslag enligt svensk borgerlig tid begagnar man tabellen i fig. 4; för Kris-

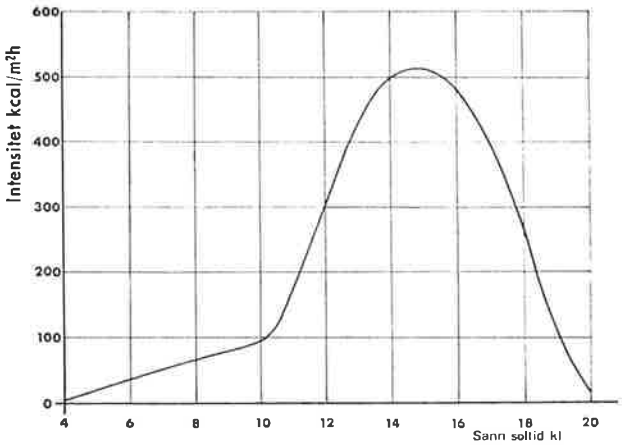


Fig. 15. Instrålat värme den 15 juli från sol, himmel och mark genom ett oskyddat tvåglasfönster mot SV vid klart väder och fri horisont i Kristianstad.

Irradiated heat on 15 July from sun, sky and ground through an unshaded double-glazed window with south-west aspect in clear weather and with a free horizon at Kristianstad (latitude 56° N).

Von der Sonne, dem Himmel und der Erde am 15. Juli in Kristianstad eingestrahlte Wärme durch ein ungeschütztes Doppelfenster in SW-Lage bei klarem Wetter und freiem Horizont.

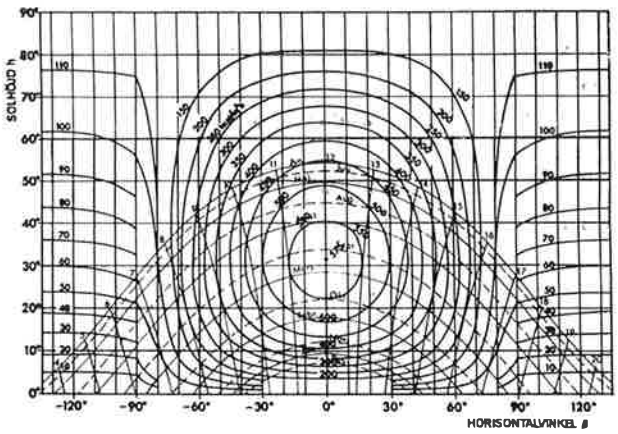


Fig. 16. Solvärmediagram på transparent papper lagt över sollägesdiagram för latitud 59° 21′ N, för avläsning av instrålat värme genom ett söderfönster (v = 0°).

Solar heat graph on transparent paper superimposed on solar position graph for latitude 59° 21′ N, to obtain irradiated heat through an southern window (v = 0°).

Sonnenwärmediagramm auf durchsichtigem Papier, das über ein Sonnenstandsdiagramm für die Latitud 59° 21′ N gelegt ist, um die eingestrahlte Wärme durch ein Fenster in S-Lage (v = 0°) ablessen zu können.

tianstad den 15 juli ger den korrektionen + 9 minuter. Exempelvis kl. 12 är sann soltid 11.51. Enligt fig. 15 är instrålat värme då 265 kcal/m²h. Skulle man förbise korrektionen och göra avläsningen för kl. 12 sann soltid skulle man få 300 kcal/m²h.

Solvärmediagram på transparent papper

Gör man en transparent kopia av solvärmediagrammet kan man lägga den ovanpå sollägesdiagrammet (fig. 3) och på så sätt få en snabb överblick över hur mycket värme som tränger in genom ett fönster vid en godtycklig tidpunkt i Stockholm (vid klart väder).

Fig. 16 visar detta för ett söderfönster och fig. 17 för ett österfönster. Man ser t. ex. att instrålningen vid söderfönstret blir störst vid vår- och höstdagjämningarna; under sommaren är den maximala instrålningen under dagen (kl. 12) lägre. För ett fönster mot öster blir instrålningen störst vid midsommar, då solen strax efter kl. 7 just har passerat österläget.

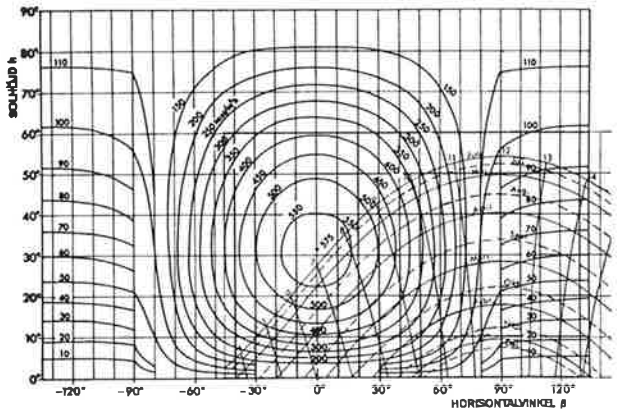


Fig. 17. Solvärmediagram på transparent papper lagt över sollägesdiagram för latitud 59° 21′ N, för avläsning av instrålat värme genom ett österfönster (v = —90°).

Solar heat graph on transparent paper superimposed on solar position graph for latitude 59° 21′ N, to obtain irradiated heat through an eastern window (v=—90°).

Sonnenwärmediagramm auf durchsichtigem Papier, das über ein Sonnenstandsdiagramm für die Latitud 59° 21′ N gelegt ist, um die einstrahlte Wärme durch ein Fenster in O-Lage (v = —90°) ablesen zu können.

Metodens tillämpning

Solvärmediagrammet ger instrålat värme vid klart väder genom ett oskyddat vertikalt fönster med två rutor av vanligt glas, då horisonten är fri och markytan är plan, oskuggad, jämnt reflekterande och har reflexionsfaktorn 25 %.

Vid andra slag av fönster (en- eller treglasfönster, värmeabsorberande eller värmereflekterande glas) eller vid fönster med solskydd kan solvärmeinläckningen vanligen (inte vid markiser) beräknas genom att det värde diagrammet ger multipliceras med en avskärmningsfaktor. Sådana faktorer angavs i en artikel om solskydd i VVS nr 6, 1965 [4].

Är horisonten inte fri men man känner dess höjd uttryckt i grader i olika väderstreck kan man naturligtvis rita in den i solvärmediagrammet fig. 13. Av läsning göres då endast för de tidsintervall då solen inte är skymd. Om avsevärda delar av himlen är avskärmade kan emellertid en sådan avläsning ge alltför approximativa värden. Strålning från himmel och mark förekommer ju också då solen är skymd, och då solen inte är skymd är denna strålning mindre än vid fri horisont. Värmeinläckningen på grund av direkt solstrålning kan man i sådana fall avläsa i fig. 11.

Under vintrarna är den markreflekterade strål-

ningen inte densamma vid snötäckt mark som vid barmark. Endast för sommarfallet har därför ett solvärmediagram ritats. För oktober—april kan diagrammen i fig. 11 b och 12 användas tillsammans med ekv. (1) och fig. 5 och 9.

Inverkan av olika avskärmningar kommer att studeras i en blivande publikation, som också kommer att innehålla sollägesdiagram för Göteborg och Malmö. Avsikten är att där även skall behandlas strålningen mot lutande ytor och fönster och reflekterad strålning från mark med partier som har olika reflexionsfaktorer (ett solvärmediagram för vinterfallet bör vara kompletterat på sådant sätt att man kan se hur reflexionen vid snötäckt markyta inverkar).

Litteratur

1. *Brown, G.:* Grundläggande strålningsegenskaper hos fasta och flytande kroppar. VVS 1962, nr 1.
2. *Brown, G. & Tuominen, T.:* Solar position at various hours, dates and latitudes — Tables. Byggforskningen, rapport 75. Stockholm 1962.
3. *Lunelund, H.:* Värmestrålning och ljusstrålning i Finland. Svenska Tekniska Vetenskapsakademien i Finland, Acta 12. Helsingfors 1936.
4. *Brown, G. & Isfält, E.:* Solskydd. VVS 1965, nr 6.

SUMMARY

UDC 697.7.551.1 69.028.2

BROWN, G.: Solar heat through windows. VVS 37 (1966) No. 2. P. 57—67.

This article shows how, with the help of a "solar heat graph", the amount of radiant solar heat coming in through a window can be determined. The graph directly gives the heat gain due to radiation from sun and sky, including reflection from the ground, through an unshaded double-glazed window with panes of ordinary window glass in clear weather when the position of the sun is known. For windows of other kinds or for windows with sunshades, it is usually possible to find the desired value by multiplying the heat gain through the unshaded double-glazed window by a shading coefficient. Such coefficents are given in an article on solar shading devices which appeared in VVS No. 6 1965. The presentation is based on a paper read by the author at the annual meeting of the Swedish Association of Heating, and Ventilating Engineers on October 20, 1965.

AUSZÜG IN KURZFASSUNG

DK 697.7.551.1 69.028.2

BROWN, G.: Sonnenwärme durch Fenster. VVS 37 (1966). Nr. 2. S. 57—67.

In dem Aufsatz wird dargelegt, wie man mit Hilfe eines "Sonnenwärmediagramms" die durch ein Fenster eingestrahlte Sonnenwärme bestimmen kann. Aus dem Diagramm ist direkt die Sonnenwärmeeindringung durch ein ungeschütztes Doppelfenster mit Scheiben aus gewöhnlichem Fensterglas bei klarem Wetter erhältlich, wenn der Stand der Sonne am Himmel bekannt ist. Die Strahlung vom Himmel und auch die bodenreflektierte Strahlung sind berücksichtigt. Für Fenster anderer Art oder Fenster mit Sonnenblenden kann man gewöhnlich den gesuchten Wert durch Multiplikation des Wärmestroms durch das ungeschützte Doppelfenster mit einem Durchlässigkeitsbeiwert erhalten. Derartige Beiwerte sind in einem Aufsatz über Sonnenschutz in VVS Nr. 6, 1965, angegeben. — Der Darstellung liegt ein Vortrag des Verfassers vor der Schwedischen Heizungs-, Lüftungs- und Sanitätstechnischen Ingenieurverband am 20. Oktober 1965 zugrunde.

Olika möjligheter att reducera besvärande solvärmeinläckning genom fönster anges. Data ges beträffande skyddens effektivitet. Dessutom beskrivs skyddens funktion, till hjälp vid val av lämplig fönsterkombination. Även värmeabsorberande glas och isolerrutor med reflekterande beläggning behandlas. Artikeln är författad av docent Gösta Brown och civilingenjör Engelbrekt Isfält, KTH, Stockholm.

Solskydd

69.028.3

Även i vårt klimat har det blivit alltmer aktuellt att installera solskydd vid fönstren. Man vill ha ljusa lokaler och god visuell kontakt med omgivningen och gör därför fönstren större än förr. Med det följer emellertid att den solenergi som läcker in i en byggnad ger en besvärande temperaturhöjning vid klart väder, om man inte vidtar motåtgärder.

Ofta är denna uppvärmning inte det enda problemet. Då direkt solljus faller på ljusa ytor i rummet blir dessa bländande särskilt om belysningen i övriga delar av rummet är mycket sämre. Paradoxalt nog måste den allmänna belysningsnivån i rummet höjas vid starkt solsken om obehag skall undvikas. Om detta måste åstadkommas genom artificiella ljuskällor blir resultatet ökade kostnader, dels för elströmmen men framför allt för bortskaffandet av belysningsvärmet. Ett bra solskydd vid fönstren gör att man utan olägenhet kan sänka belysningsnivån, eftersom ögat lätt anpassar sig efter ljuset, förutsatt att kontrasterna inom synfältet inte är för stora.

Då man planerar solavskärmningar vid fönstren måste man därför tänka på att dessa skall

- minska värmeinläckningen,
- förhindra att solstrålningen faller direkt på ljusa ytor som i normala fall är inom synfältet för personer som vistas i rummet,
- sprida solljuset så jämnt som möjligt över hela rummet,
- så litet som möjligt störa utsynen genom fönstren.

I speciella fall måste solskydd anordnas särskilt med tanke på att förhindra solstrålningen att bleka eller på annat sätt förstöra vissa material, såsom tyger och möbellacker.

Värmeproblemet

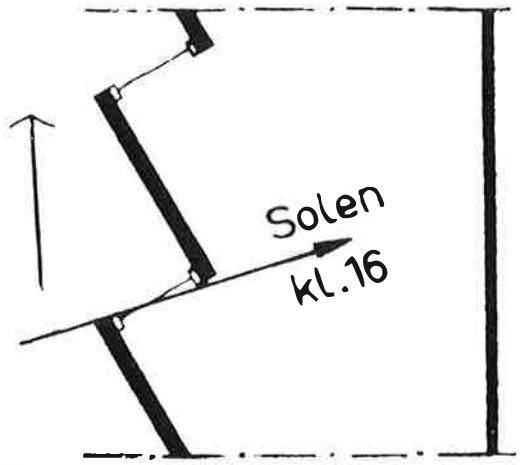
Den maximala värmeinläckningen vid ett vanligt tvåglasfönster pga strålning från sol och himmel är ca 600 kcal/h per m² glasyta. Detta kan jämföras med toppeffekten hos ett vanligt värmeelement, ca 350 kcal/h per m², eller med det värme, 50 kcal/h, som transmitteras ut per m² glasyta genom ett tvåglasfönster som inte är solbelyst, när temperaturen inne är 21° och ute 0°.

Vid ett fönster rakt i söder får man maximalvärdet 600 kcal/m²h redan i mars, vid fönster mot andra väderstreck först längre fram på året, då solen nått tillräckligt långt upp på himlen. För att maximalvärdet skall uppnås måste solen stå i fönsterfasadens normalplan och solhöjden vara ca 28° — vid mindre solhöjd absorberar atmosfären ännu för mycket av strålningen och vid större solhöjd faller strålningen in alltför snett uppifrån. Vid ett fönster mot öster eller väster är det först i juni man får toppvärdet på Stockholms breddgrad, 59° 21'N. Klockan är då 7 på morgonen resp. 17 på kvällen.

Väderstrecksorientering

Inte minst med hänsyn till besvärande solstrålning bör man tänka på att förlägga rummen i lämpliga väderstreck i samband med planeringen av en byggnad. Sedan gammalt har man ansett att vardags- och kontorsrum, undervisningslokaler etc. skall ha fönster mot öster — söder — väster. Rum mot norr har haft dåligt rykte. När det gäller bostadsrum, där det inte spelar så stor roll om temperaturen temporärt blir för hög eller om fönstret blir mer eller mindre bländande när solen ligger på, bör man kanske inte opponera mot åsikten om norrvända rums underlägsenhet. Vid egentliga arbetsrum på kontor och i skolor torde det dock oftast vara behagligast med fönster mot ett skuggigt väderstreck, eftersom man där inte kan flytta sig från fönstren när solinstrålningen börjar bli be-

svärande. Även patienterna på sjukhus är ju tvungna att uppehålla sig vid fönstren även när fönsterfasaden är solbelyst. Fasader mot öster eller väster kan utföras veckade och med fönster endast på de sidor av vecken som vetter mot norr, se fig. 1.



*
Fig. 1. Exempel på fasadutformning avsedd att utestänga direkt solljus före kl. 16.

Om man vill att ett arbetsrum skall vara soligt men inte för varmt klara dagar kan ett läge mot väster vara lämpligare än mot öster. Lika mycket sol kommer in, men när solen skiner rätt in genom fönstret har arbetet för dagen slutat i västerrummet under det att det ännu inte har börjat i österrummet. Där blir solvärmen kvar under dagen. Västerrummet blir varmt på kvällen, när ingen är där, och hinner avsvalna under natten.

Avskärmningsmetoder

Värmeabsorberande och belagda fönsterglas

En del av den besvärande solstrålningen kan man utestänga utan att använda något slag av skärmar. Man kan i stället ge glaset eller glasytorna lämpliga strålningsegenskaper. För att förstå de föreliggande möjligheterna är det nödvändigt att känna till något om hur strålning av olika våglängd transmitteras genom en glasruta.

När strålning träffar ytan av en kropp som inte släpper igenom strålarna reflekteras en del av energin vid ytan. En annan del omvandlas till värme, absorberas, då strålningen tränger in i ytskiktet [14]. Storleken av den reflekterade delen anges av reflexionsfaktorn R, storleken av den absorberade delen av absorptionsfaktorn A. Tydligen är

$$R + A = 1$$

Vid en glasruta absorberas endast en del av den strålning som tränger in i glasmassan. Resten transmitteras och reflekteras. Det som transmitteras, T, är sammansatt av strålning som passerat direkt genom rutan och av strålning som inne i glaset reflekterats en eller flera gånger mot ytorna före passagen genom den yta som är vänd *från* strålningskällan. På liknande sätt innefattar reflekterad strålning, R, ej endast den del av strålningen som reflekteras utan att tränga in i glaset, utan också strålning som trängt in i glaset och reflekterats en eller flera gånger mot ytorna innan strålningen lämnar rutan genom den yta som är vänd *mot* strålningskällan. Summan av reflekterad, absorberad och transmitterad strålning är lika med infallande strålning. Betecknas dessa delar av strålningen med R, A och T är alltså

$$R + A + T = 1$$

Storleken av R, A och T beror av glassorten, strålningens intensitet vid olika våglängder och strålningens infallsvinkel, dvs. vinkeln mellan strålningsriktningen och glasytans normal.

Fig. 2 visar hur solenergin är fördelad på olika våglängder när solhöjden är 30°. Fördelningen är beroende av hur högt solen står på himlen, eftersom absorptionen av strålningen i atmosfären har en viss inverkan. Våglängdsområdet för den strålning som når jordytan är i huvudsak begränsat till 0,3—2,5 μm (1 μm = 10^{-6} meter). Mindre än hälften av energin är synligt ljus (0,38—0,76 μm), det mesta är infraröd strålning.

För att föra in så litet solenergi som möjligt i ett rum borde man ha tillgång till fönsterglas som transmitterar endast synlig strålning. Resten av strålningen borde helst reflekteras. Om man har ett glas som visserligen transmitterar föga av strålningen men absorberar det mesta av återstoden kan man endast delvis hindra värme från det uppvärmda glaset att tränga in i rummet.

Kurvan för vanligt fönsterglas i fig. 2 visar hur stor procent av energin som vid vinkelrätt infallande strålning av olika våglängd transmitteras genom en vanlig ca 3 mm tjock glasruta direkt, dvs. exkl. den värmeenergi som överföres till rummet genom glasets uppvärmning. Man ser att glaset har god förmåga att släppa igenom både den synliga och den osynliga delen av solstrålningen. Endast den mest kortvågiga delen av den ultravioletta strålningen — den som gör människans hud brun, "solbränd" — absorberas nästan helt av glaset.

För att få veta hur mycket av strålningen som transmitteras måste man beräkna produkten av solintensiteten och transmissionen hos glasrutan för varje våglängd och sedan bestämma medelvärdet för hela våglängdsområdet. Man får värdet 86 %. Tydligen återstår 14 % och med kännedom om reflexionsfaktorn vid glasytorna kan man också beräkna att 8 % reflekteras och 6 % absorberas.

* De svenska figur- och tabelltexterna i denna artikel finns översatta till engelska och tyska på sida 29.
English and German translations of the Swedish figure and table captions in this article will be found on p. 29.
Die schwedischen Texte der Abbildungen und Tabellen in diesen Aufsatz sind auf Seite 29 ins Deutsche und Englische übersetzt.

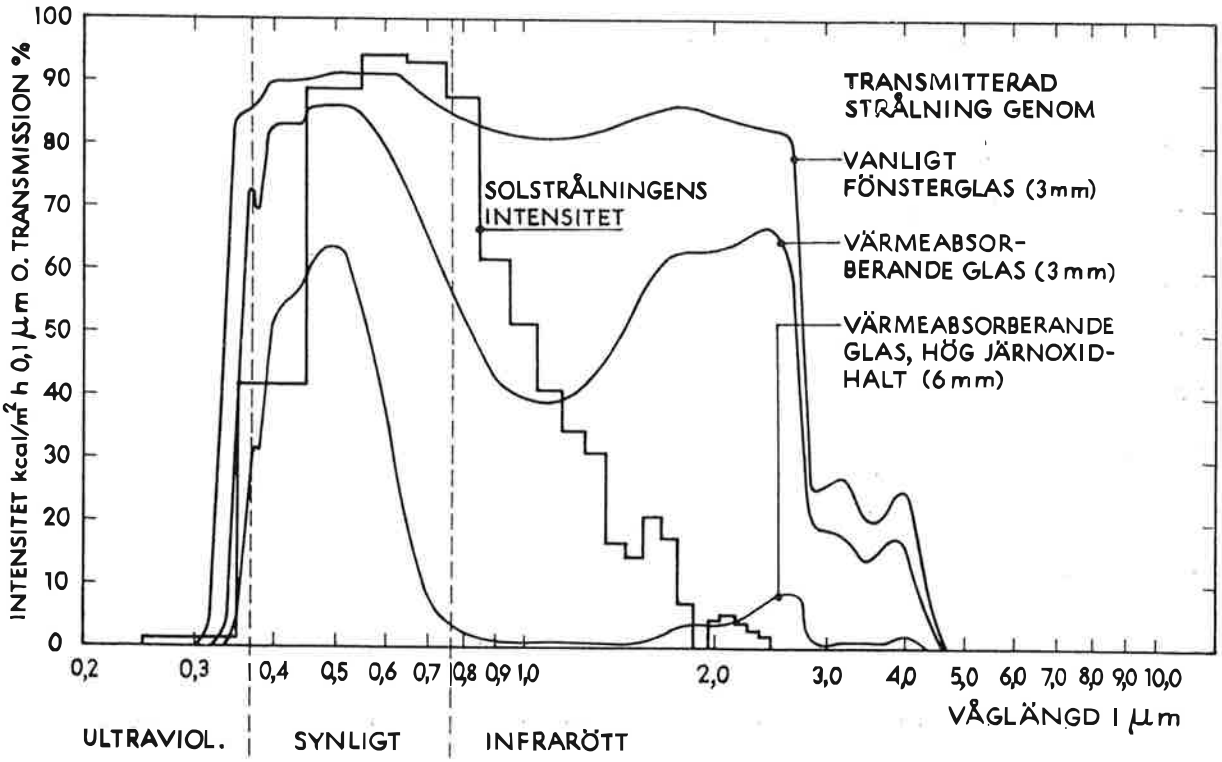


Fig. 2. Solstrålningens intensitet vid olika våglängder (intensiteten räknad per 0,1 µm) samt transmissionen av vinkelrätt infallande strålning (i %) genom tre glasrutor med olika halt av järnoxid.

Det absorberade värmet avges från glasets båda ytor. Hur mycket som avges inåt rummet och som man måste addera till den direkt transmitterade energin för att få det totalt inläckande värmet (all energin tänkes bli omvandlad till värme) kan man beräkna, om man känner värmeövergångsmotstånden vid glasets båda ytor. Antar man att motståndet på insidan är dubbelt så stort som på utsidan ökar det transmitterade värmet till $86 + \frac{1}{3} \cdot 6 = 88$ %. Den energi som avges utåt ökar till $8 + \frac{2}{3} \cdot 6 = 12$ %.

I fig. 2 är också en kurva inritad som visar den direkta transmissionen vid ett 3 mm tjockt "värmeabsorberande" glas. Halten järnoxid (Fe_2O_3) är här betydligt större än hos det vanliga fönsterglaset. Glaset släpper igenom något mindre ljus, dess färg är svagt blågrön, men framför allt absorberas strålningen mera i det infraröda området. Glaset blir varmare, absorptionen är 33 %. Den direkta transmissionen är 61 %, reflexionen 6 %. Är också här övergångsmotståndet på insidan dubbelt så stort som på utsidan blir det totalt transmitterade värmet $61 + 11 = 72$ %, medan den energi som avges utåt blir $6 + 22 = 28$ %.

Man kan alltså minska den totalt transmitterade delen av vinkelrätt infallande solstrålning från 88 till 72 % genom att använda ett värmeabsorberande i stället för ett vanligt fönsterglas. Ökas glasets järnhalt mera kan ännu större förbättring uppnås. Se t. ex. den nedersta kurvan i fig. 2, som gäller för ett starkt värmeabsorberande glas som dessutom har en matt yta för att minska bländningen. Det glas som används i flygledartorn vid flygfält är starkt blågrönt. Där har man kraftigt värmeabsorberande rutor, så att även ljusgenomsläppligheten är låg, men samtidigt är fönsterarean så stor att dagsljusbelysningen inomhus är tillräcklig under dagen.

Om man i ett *tvåglasfönster,* där rutorna är utförda av vanligt 3 mm tjockt glas, ersätter den yttre rutan med en värmeabsorberande ruta av den sort som har en transmission enligt den övre av de båda för värmeabsorberande glas gällande kurvorna i fig. 2 sjunker den totalt transmitterade delen av vinkelrätt infallande solstrålning från 79 till 62 %. Byter glasen plats med varandra, så att den värmeabsorberande rutan sitter innerst, ökar värdet till 74 %. Värmet från den uppvärmda, absorberande rutan överförs här direkt till rumsluften (genom konvektion) och till rummets ytor (genom långvågig strålning). Vid den utvändiga placeringen avges det mesta absorberade värmet till uteluften.

Som allmän regel vid placering av fönsterskydd gäller, att ett skydd som uppfångar solvärme bör monteras på sådant sätt att detta värme i största möjliga utsträckning avges till omgivningen och icke till rummet.

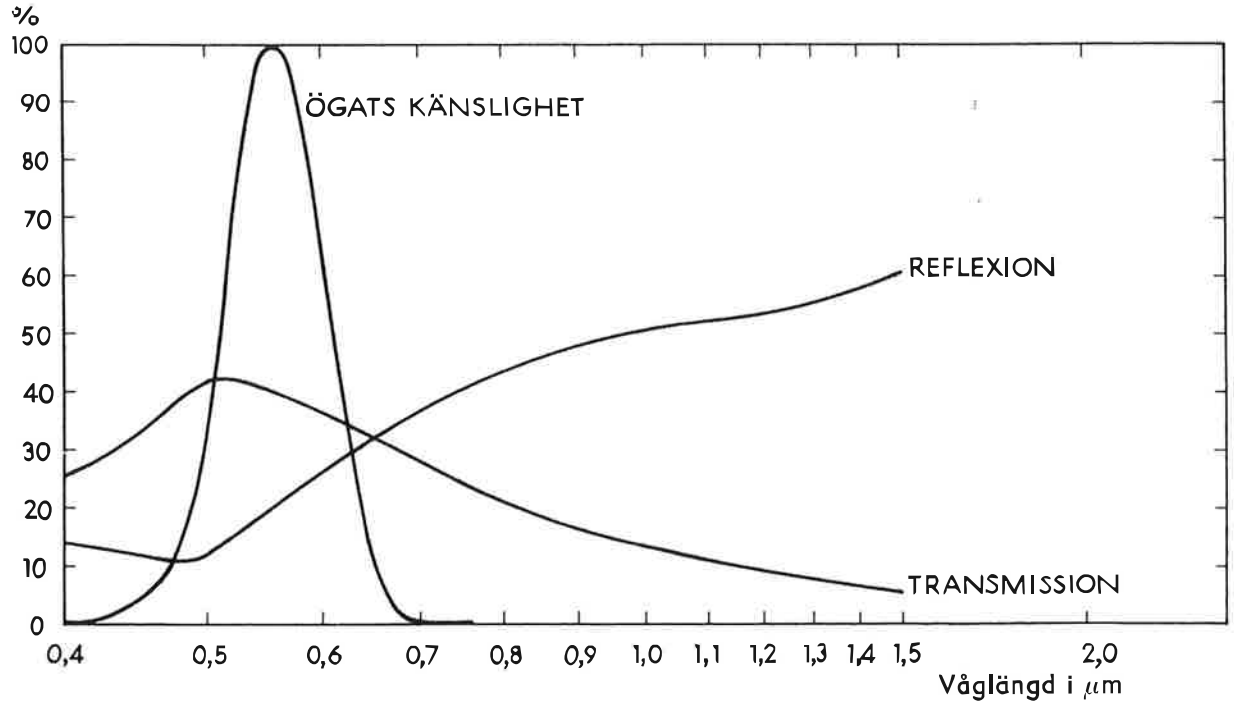


Fig. 3. Ögats känslighet vid olika våglängder samt transmission och reflexion hos en tvåglas, guldbelagd isolerruta.

Framför allt i USA har man utexperimenterat *beläggningar* som skall åstadkomma minskad solvärmeinläckning. Vid glastillverkningen kan en keramisk beläggning sammansmältas med glaset. Beläggningen har den egenskapen att den är transmittent för solstrålningen men reflekterar mera långvågig strålning. Då emitterar (utstrålar) den också långvågig strålning obetydligt. En sådan beläggning på insidan av en värmeabsorberande glasruta reducerar strålningen från det uppvärmda glaset mot rummet. Även vintertid har man nytta av beläggningen på så sätt att absorptionen av strålning från rummet mot den kalla fönsterrutan reduceras, dvs. fönstrets k-värde blir lägre. — En annan beläggning har framställts i USA som reflekterar en stor del av solstrålningen men som emitterar långvågig strålning ungefär lika mycket som en vanlig glasyta. Applicerad på fönstrets utsida reflekterar beläggningen solvärme från fönstret utan att avkylningen av glaset genom strålning från den uppvärmda rutan mot omgivningen förhindras [10].

Dessa båda beläggningstyper har ännu inte använts i större utsträckning. En svårighet är att beläggningen ofta gör glasytan ojämn. Så behöver inte vara fallet med de tunna metallskikt som man lagt på insidan av det yttre glaset i s. k. isolerrutor, dvs. rutor där luftmellanrummet mellan glasen är hermetiskt slutet. En viss färgning av rutan uppstår emellertid. Metallskiktet reflekterar en stor del av solstrålningen framför allt i det infraröda området samtidigt som man vintertid har nytta av att fönstret blir mera värmeisolerande genom att värmetransporten pga långvågig strålning mellan det inre och det yttre glaset minskas. Isolerrutor med metallbeläggning finns numera att köpa också i Sverige.

Beläggningarna nedsätter glasets ljusgenomsläpplighet: I vårt klimat är detta en allvarlig nackdel, utom i sådana fall där dagsljuset ändå är tillräckligt även då vädret är mulet.

Fig. 3 visar ett exempel på hur mycket strålning av olika våglängd som transmitteras genom en tvåglas isolerruta med guldbeläggning. Transmissionen är lägre i det infraröda än i det synliga området, dvs. värmeinläckningen reduceras mer än ljusgenomsläppligheten. Samtidigt är reflexionen där starkare. Figuren visar också hur ögats känslighet varierar i det synliga området. Känsligheten är störst vid ungefär samma våglängd som den strålning har som lättast tränger in genom rutan. Detta är naturligtvis en stor fördel hos rutan av ifrågavarande fabrikat.

Man har även framställt ett plastmaterial som kan ges olika färger och sprutas på insidan av en fönsterruta. Sedan det hårdnat fordrar det inte någon speciell behandling utan tål att rengöras som en vanlig glasyta. Eftersom materialet absorberar mera av strålningen i det synliga än i det infraröda våglängdsområdet är beläggningens användning huvudsakligen begränsad till speciella fall, t. ex. då man besväras av bländning eller då man särskilt omsorgsfullt önskar skydda möbler och andra inventarier för solens ultravioletta strålning, t. ex. i butiker och varuhus [1].

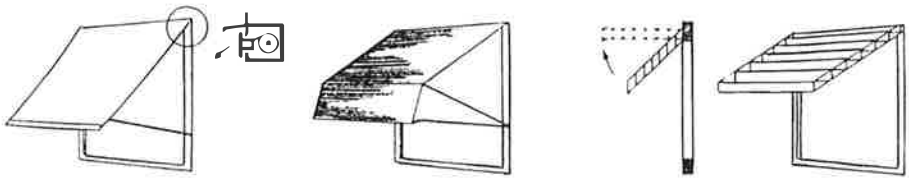


Fig. 4. Markiser av tyg eller av lameller i plast och lättmetall.

I USA har man framställt ett glas vars absorptionsförmåga ökar då det utsätts för solstrålning. I glaset finns ett fotokänsligt ämne som gör att glaset mörknar när det belyses av solen men åter klarnar när solen försvinner. Ännu har inte detta glas använts i fönster.

Utvändiga skydd

I varmare länder är utvändiga skydd vanligare än här. *Fasta skydd* vid sydvända fasader kan där lättare utföras effektiva utan att verka störande när man ser ut genom fönstren. Solen står så högt på himlen att man får tillräcklig skugga även av horisontella skärmar av måttlig storlek, såsom balkonger, skärmtak av spjälor eller lätta, korrugerade plastplattor o. dyl.

Ett fast skydd som bör kunna användas även hos oss är en vertikal skärm av värmeabsorberande glas, anbringad parallellt med fönstret och en bit utanför detta så att absorberat solvärme bortföres 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 solvärmen är föga besvärande.

Utvändiga *rörliga skydd* är principiellt de mest effektiva av alla solskydd. I vårt land med dess kalla och fuktiga klimat kan emellertid kostnaderna för sådana bli ganska höga. Ett gediget utförande är nödvändigt med tanke på drift och underhåll. I sydligare länder med mildare klimat har man friare händer vid konstruktionsarbetet. Man finner där en rik flora av skydd, alltifrån de vanliga enkla fönsterluckorna upphängda på gångjärn till olika slag av jalusier. Dessa kan t. ex. bestå av vertikala lameller som automatiskt vrides efter solens läge på himlen. Vanliga är också spjälverk som skjutes för vid behov, från sidan eller i vertikal riktning, manuellt eller automatiskt.

Markiser bör skugga fönstren utan att luftcirkulationen utanför fönstren hindras. Därför kan sidostycken göra mera skada än nytta ifråga om värmeinläckningen, även om de kan vara bra för att eliminera risken för bländning. Den värmestrålning som tränger in då solen står snett är obetydlig.

Luftväxlingen kan ökas genom att man utför markisen så att det finns en springa mellan dess överkant och väggen. Markisfärgen har betydelse särskilt vid sämre ventilerade markiser. Där blir luften mellan markis och fönster uppvärmd om färgen är mörk.

Fig. 4 visar några olika typer av markiser. I *a* visas den enkla tygmarkisen, som ofta kan manövreras inifrån och rullas upp i en inbyggd kassett. Markisen i *b* kan också utföras av lameller av lättmetall eller plast. I *c* ser man en typ med vertikalställda lameller av plast, hissbar och med invändig manövrering.

Persienner finns också för utvändig montering. Utförandet måste vara sådant att de tål klimatet. Vid

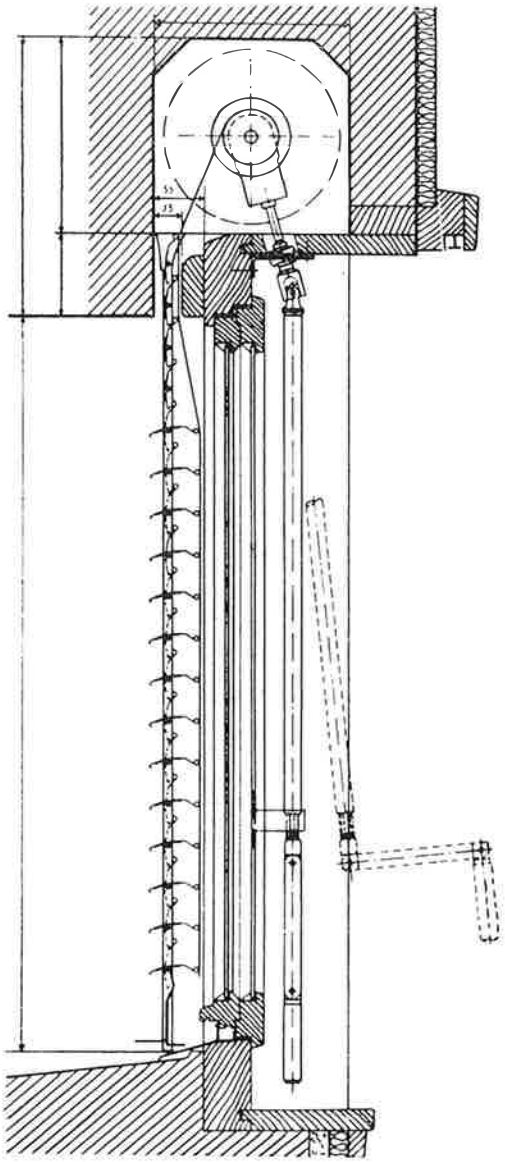


Fig. 5. Sektion genom fönster med utvändig fasadpersienn.

blåst får de inte skramla eller ge upphov till annat oljud, varför lamellerna måste styras av någon gejdanordning, styrlina el. dyl. I fig. 5 visas ett tvärsnitt av en från insidan av fönstret manövrerbar rullpersienn, dvs. en persienn vars lameller rullas upp på en stång på samma sätt som tyget vid en tygmarkis.

Invändiga skydd och skydd mellan två glas

Ett invändigt skydd kan göras enklare och billigare än ett utvändigt. Ofta blir det dock mindre effektivt, eftersom man låter solstrålarna passera genom fönstret innan de träffar skyddet. En viss mängd av strålningen tränger igenom skyddet och in i rummet. En annan del absorberas, dvs. övergår i värme, varav det mesta tillförs rummet. En viss del av solstrålningen reflekteras emellertid av skyddet och passerar ut igen genom fönstret.

Tydligen bör ett invändigt solskydd vara så tätt att det släpper igenom så litet som möjligt av strålningen, det bör vara så reflekterande som möjligt (observera att det är lättare att hålla ett invändigt skydd rent och ljust än ett utvändigt), och fönsterglaset bör absorbera strålningen så *litet* som möjligt. Det är alltså inte riktigt att använda värmeabsorberande glas i ett fönster där man har ett solskydd innanför som skall minska värmeinläckningen genom sin förmåga att reflektera den infallande solstrålningen.

Skyddets verkan ökar om det anbringas mellan fönsterglasen vid fönster med två eller tre glas. Särskilt persienner absorberar en stor del av strålningen. Det absorberade värmet bortförs till fönstrets båda sidor. Den del av det absorberade värmet som tillförs rummet förhåller sig till den del som tillförs omgivningen som värmemotståndet mellan skydd och omgivning förhåller sig till värmemotståndet mellan skydd och rum. Man bör alltså sträva efter att minska värmemotståndet utåt och öka värmemotståndet inåt. Vid treglasfönster bör skyddet ur denna synpunkt anbringas mellan det yttre och det mellersta glaset. Då absorberar också fönsterrutorna så litet som möjligt av den av skyddet reflekterade solstrålningen. Ljustransmissionen påverkas inte nämnvärt av placeringen.

Det av skyddet absorberade värmet kan delvis bortföras genom ventilation av det luftskikt där skyddet anbringas. Man kan t. ex. sätta mellanrummet mellan glasen i förbindelse med rummet genom en springa vid fönstrets underkant och ansluta fönstrets överkant till evakueringssystemet. Härigenom bortföres det av skyddet absorberade värmet med evakueringsluften. Vid en anläggning utförd på detta sätt och med persienner mellan rutorna har det visat sig att man inte fått besvärande dammbeläggningar på glasytorna eller på persiennlamellerna. Även kylning av skyddet med hjälp av uteluft är naturligtvis tänkbar (enklast om också inte så effektivt genom självcirkulation genom öppningar mellan utsidan och luftskiktet vid under- och överkanten. Öppningarna bör naturligtvis i detta fall kunna stängas, så att fönstrets värmeisoleringsförmåga inte försämras när fasaden inte är solbelyst).

De vanligaste skydden är gardiner och persienner. Även veckade pappersjalusier används (mellan glas). Alla har de en begränsad livslängd pga den höga temperaturen och den starka solbestrålningen, som bryter ned framför allt de organiska ämnen som skydden delvis är gjorda av. Vid persienner och jalusier är snörena utsatta för stark nötning, vid persienner också stegbanden.

Persiennerna har den stora fördelen att det är mycket lätt att reglera det inkommande solljuset genom vridning av lamellerna. En stor del av ljuset reflekteras uppåt mot taket, varigenom det fördelas jämnt över rummet. Fönstret blir därför inte så bländande ljust vid solbelysning som då man använder gardiner. Även om man drar för dessa helt får man ofta en besvärande bländverkan — ljuset kommer ju från en yta i ögonhöjd och inte uppifrån, om fönstret är placerat på den vanliga höjden över golvet. En annan fördel med persienner framför gardiner är den bättre kontakten med omgivningen. Om inte lamellerna är ställda i stark lutning kan man se föremål utanför.

Utför man gardiner så glesa att man kan se ut minskar man deras reflekterande förmåga så mycket att en alltför stor del av strålningen passerar genom väven direkt in i rummet. Vid en i marknaden förekommande solskyddsrullgardin har man kommit till en kompromisslösning. Den nedre delen av gardinen är så glest vävd att man kan skymta föremål utanför. Vid mitten av gardinen tätnar materialet så att den övre delen inte är genomsynlig. Man minskar på så sätt både bländningen och strålningstransmissionen. Gardinen i fråga är utförd för montering mellan fönsterrutorna.

Data för solskydd

I tab. 1 ges data för hur stor instrålningen är genom olika fönster i förhållande till instrålningen genom ett tvåglasfönster av samma storlek (endast transmissionen genom fönstrets glasdel avses, inte värmegenomgången genom karm och båge).

Om man vet hur mycket värme som tränger in genom ett tvåglasfönster pga sol- och himmelsstrålning, mätt i kcal/m²h, får man den totala solvärmeinläckningen genom den aktuella fönsterkombinationen genom att multiplicera med den *avskärmningsfaktor* F_1 som gäller för kombinationen i fråga.

En del av värmeinläckningen sker genom direkt transmission av strålningen, medan en annan del tillföres rummet på det sättet att strålningsenergin först absorberas i fönstret och sedan avges till rummet genom

Tabell 1. Avskärmningsfaktorer F_1 och F_2 och värmegenomgångstal k för olika fönsterkombinationer. F_1 är totalt och F_2 direkt inläckt solvärme för den angivna fönsterkombinationen i förhållande till totalt inläckt solvärme genom ett fönster med två rutor av vanligt fönsterglas.

Fönsterkombination	F_1 %	F_2 %	k[1]) $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h°C}}$
Fönster utan skydd med en ruta av vanligt glas	112	109	5,0
„ två rutor „ „ „	100	93	2,5
„ „ „ , den yttre värmeabsorberande	76	65	2,5
„ „ „ , „ „ inv. guldbelagd (isolerruta)	31	22	2,0[2])
„ tre „ av vanligt glas	91	80	1,7
„ „ „ , den yttersta värmeabsorberande	68	56	1,7
„ „ „ , „ „ inv. guldbelagd (isolerruta)	28	20	1,5[3])
Tvåglasfönster med utvändig persienn	9	4	2,3
„ persienn mellan glasen	35	8	2,1
„ invändig persienn	56	8	2,8
Treglasfönster med utvändig persienn	8	3	1,6
„ persienn mellan de två yttre glasen	27	6	1,5
„ „ „ „ „ inre „	43	7	1,5
„ invändig persienn	55	7	1,8
Tvåglasfönster med solskyddsrullgardin mellan glasen	43	30	2,0
„ ljus, veckad gardin innanför glasen	60	34	2,2
„ mörk, „ „ „ „	63	12	2,2
„ helt ogenomskinlig, ljus rullgardin innanför glasen	28	0	2,2
„ „ „ mörk „ „ „	67	0	2,2

[1]) *Gäller enbart glasdelen och vid solbelyst fönster.* [2]) *Vid glasavståndet 12,5 mm.* [3]) *Om det innersta glaset sitter i en separat båge, så att avståndet till detta glas från det mellersta glaset ökar från 12,5 till ca 30 mm, minskar k till 1,4 kcal/m²h°C.*

konvektion till rumsluften och långvågig strålning till rumsytorna. Den direkt transmitterade strålningsenergin, som man behöver känna då man skall beräkna värmeöverföringen genom strålning mellan fönstret och övriga rumsytor, får man genom multiplikation med *avskärmningsfaktorn F_2.*

Värmegenomgångstalen för fönsterkombinationerna har medtagits i tabellens sista kolumn därför att man oftast till det genom fönstret transmitterade strålningsvärmet vill addera det värme, som transmitteras pga skillnaden mellan lufttemperaturerna inne och ute (även här beaktas endast värmetransporten genom fönstrets glasdel).

Med vanligt och värmeabsorberande glas avses i tabellen glassorter som i 3 mm tjocka rutor ger transmissionskurvor för vinkelrätt infallande strålning enligt fig. 2. Vidare har antagits att värmemotståndet för ett luftskikt mellan glasrutor, mätt i m²h°C/kcal, är 0,20 (vid isolerrutor endast 0,15 därför att luftskiktet vid dessa är tunnare) och att övergångsmotstånden vid oskyddade glasytor mot rummet är 0,13 och mot omgivningen 0,07 m²h°C/kcal. Värdet 0,20 är ett ganska lågt värde på värmemotståndet hos ett luftskikt mellan fönsterglas på normalt avstånd. Skiktet är emellertid uppvärmt under de förhållanden för vilka beräkningarna i allmänhet utförs och har då ett något reducerat värmemotstånd.

Avskärmningsfaktorn beror av solstrålningens infallsvinkel, dvs. vinkeln mellan fönstrets normal och strålningsriktningen. Den approximation man gör om man inte tar hänsyn till detta utan använder konstanta värden på avskärmningsfaktorn belyses av exemplet i fig. 6.

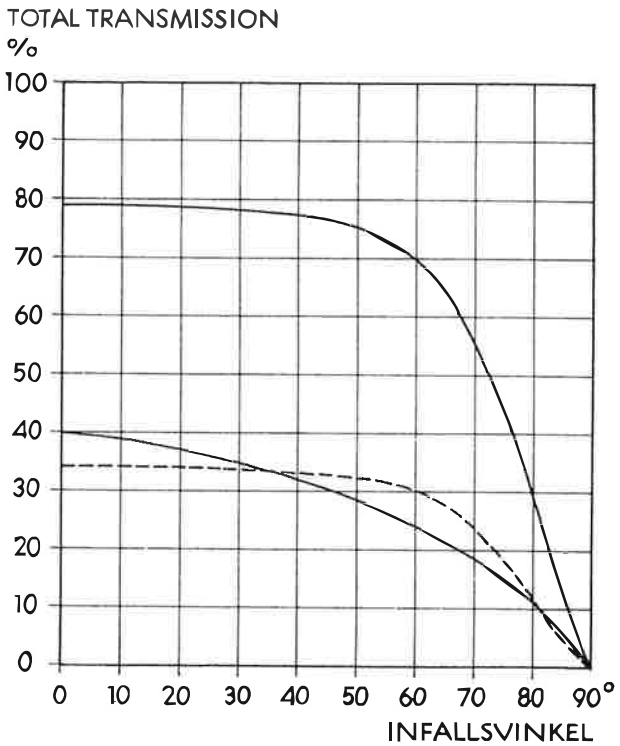


Fig. 6. Solvärmeinläckningens beroende av solstrålningens infallsvinkel vid ett vanligt tvåglasfönster utan solskydd (övre kurvan) och med solskyddsrullgardin mellan glasen (de båda nedre kurvorna). Den heldragna nedre kurvan gäller enligt mätningar vid KTH, den streckade anger produkten av den övre kurvans värde och avskärmningsfaktorn F_1=43 % (se tab. 1).

Den översta kurvan i figuren visar totaltransmissionen vid ett vanligt tvåglasfönster, dvs. hur stor del av solstrålningen utanför fasaden, räknad i kcal/h och m² av fönsterytan, som totalt tränger in i rummet genom ett sådant fönster. Den totala transmissionen genom ett tvåglasfönster med solskyddsrullgardin mellan glasen anges av den streckade kurvan, då det konstanta värdet $F_1 = 43$ % använts på avskärmningsfaktorn, i enlighet med tab. 1. Enligt den heldragna, på mätningar baserade, undre kurvan borde avskärmningsfaktorn ha högre värde vid små infallsvinklar och lägre värde vid stora infallsvinklar.

Fig. 6 har använts för bestämning av F_1 på det sättet, att den beräknade årsinstrålningen genom gardinförsedda fönster vid begagnande av den mot F_1-värdet svarande streckade kurvan så nära som möjligt överensstämmer med den årsinstrålning som man får om man i stället begagnar den heldragna kurvan. Det vägda medelvärdet på infallsvinkeln med solstrålningsintensiteten som vikt ligger mellan 30° och 40°, oberoende av väderstrecket. Inom detta intervall ger den heldragna och den streckade kurvan nästan överensstämmande värden.

Vid bestämning av F_2 för solskyddsrullgardinen och av F_1 och F_2 för andra gardiner och för persienner har motsvarande diagram använts. Dessa har grundats dels på amerikanska mätningar [2, 3, 4, 5] och uppgifter [6] som sedan bearbetats, dels på egna mätningar.

Värdena för fönster utan skydd har beräknats teoretiskt. Vid isolerrutor med guldbeläggning har begagnats fabrikantens uppgifter om transmissionen och reflexionen för olika våglängder vid vinkelrätt infallande strålning.

Solskydden används ju mest med tanke på avskärmning av den strålning som kommer direkt från solen. Man har emellertid också himmelsstrålning och från marken och omgivningen reflekterad strålning, som kommer in mot ett fönster från alla håll. Om man vid beräkningen av solvärmeinläckningen först inkluderar även denna strålning i det transmitterade värmet genom ett oskyddat tvåglasfönster och sedan multiplicerar detta värme med den avskärmningsfaktor, som enligt tab. 1 gäller för den aktuella fönsterkombinationen, gör man ett fel, eftersom denna faktor är bestämd så att den gäller noggrant vid en infallsvinkel av 30—40°, medan himmels- och markstrålningen är diffus och därför inte har någon definierad infallsvinkel. Har man diffus strålning endast från en jämnt lysande himmel och horisonten är fri visar teoretiska beräkningar att transmissionen genom ett tvåglasfönster blir densamma som om strålningens infallsvinkel vore ca 59°. Både vid gardiner och persienner gäller, i överensstämmelse med fig. 6, att vid denna infallsvinkel transmissionen i verkligheten är lägre än den man förutsätter, då man begagnar ett konstant värde på avskärmningsfaktorn oberoende av infallsvinkeln (den heldragna kurvan i diagrammet ger lägre värde än den streckade). Man kommer alltså i allmänhet på den säkra sidan vid beräkningen av transmitterad diffus strålning. Eftersom dessutom den diffusa strålningen oftast har ett ganska lågt värde jämfört med den strålning som kommer direkt från solen i de fall då solskydd används kan man anse att det fel som uppstår genom den approximation man här gör i allmänhet är fullt acceptabelt.

Så är dock inte fallet om den från marken reflekterade strålningen är förhållandevis stor, t. ex. när marken är snötäckt. Noggrannare beräkningsmetoder kan då behöva tillämpas, särskilt vid persienner. För dessa håller man för närvarande på med att utarbeta metoder som skall ge noggrannare resultat när strålningen kommer från ytor under horisontalplanet.

De värden för persienner som är angivna i tab. 1 gäller för lackerade lameller i 45° lutning vid det vanliga förhållandet mellan lamellbredd och steghöjd, dvs. 1,2, och vid normalt avstånd mellan glasen.

För persienn mellan glas och invändig persienn antas lamellytorna ha den vanliga, ljust krämfärgade kulören och absorbera 40 % av den solstrålning som träffar ytan vid 0° infallsvinkel. Absorptionsfaktorn är alltså $a = 0{,}4$. För utvändig persienn, där nedsmutsning gör lamellytorna mörkare, har antagits $a = 0{,}6$. Vid mörkare färger kommer mera värme in i rummet, eftersom persiennen absorberar mera värme och den inre glasrutan därmed får en högre temperatur (utom vid utvändiga persienner). Den direkta transmissionen blir däremot lägre, man får det mörkare i rummet. Vid ett tvåglasfönster med persienner mellan glasen blir $F_1 = 40$ % och $F_2 = 4$ % om $a = 0{,}6$ i stället för 0,4. Vid $a = 0{,}8$ blir $F_1 = 44$ % och $F_2 = 2$ %. Lamellernas färg har således mycket stor betydelse för belysningen i rummet.

Värdena gäller för persienner vid vilka lamellutningen är 45°. Fig. 7 ger totalt transmitterad solvärme vid andra lutningar, då $a = 0{,}4$. Vid helt stängd persienn blir den 18 %.

En persienn mellan två fönsterrutor ger i allmänhet en ökning av värmemotståndet hos luftskiktet mellan rutorna. Vid 45° lamellutning är denna ökning ca 0,07 m²h°C/kcal, vid 30° och 90° är den ca 0,03 och 0,12 m²h°C/kcal. Vid horisontella lameller (lutningen 0°) får man i stället en minskning av värmemotståndet, om bredden hos lamellerna inte är mycket mindre än hos luftspalten. Persiennen ger alltså en ökning av k-värdet hos fönstret i detta fall, då den fälls ned. Detta beror på att lamellerna tjänstgör som "köldbryggor" i luftspalten, eftersom värmet överförs

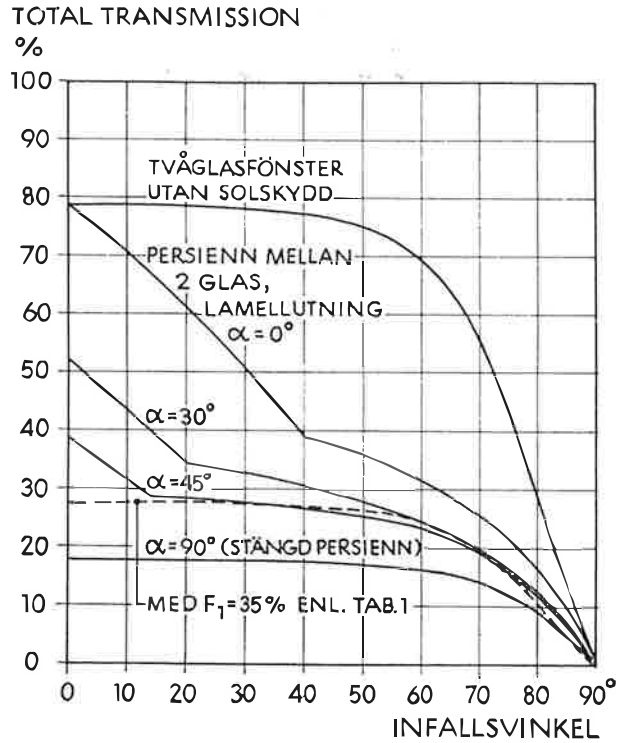


Fig. 7. Solvärmeinläckningens beroende av solstrålningens infallsvinkel vid ett vanligt tvåglasfönster med persienn mellan glasen vid persienner med olika lamellutningar.

lättare mellan rutorna genom metallen än genom luften. Vid ökande lamellutning får man förhållanden som alltmer liknar dem som en uppdelning av spalten i två hälfter ger.

I tab. 1 har värden för tvåglasfönster med veckad gardin innanför fönstret angivits, vilka erhållits vid amerikanska undersökningar [2, 3]. Gardinerna veckades vid dessa undersökningar på sådant sätt att det gick åt 100 % mera tyg än om de varit utan veck. Den ljusa gardinväven reflekterade 39 % och absorberade 26 % solstrålning vid infallsvinkeln 0° och den mörka 35 % och 51 %.

Diskussion av värdena i tab. 1

Av värdena i kolumnen för F_1 ser man att av de fönsterkombinationer som är medtagna i tabellen är utvändiga persienner vid två- och treglasfönster effektivast. Endast 9 resp. 8 % av solvärmeinläckningen vid ett oskyddat tvåglasfönster kommer in i rummet, varav knappt hälften som direkt strålning.

Monterar man persiennerna i stället mellan glasen, vid treglasfönster mellan de yttre, blir värmeinläckningen 3—4 gånger större än vid utvändiga persienner. Om samtidigt färgen kan göras ljusare, släpper de emellertid in mera ljus. Om man vid treglasfönster anbringar persiennerna mellan de inre glasen blir värmetillförseln ytterligare 60 % större. En invändig persienn minskar värmeinläckningen med 44 % vid ett tvåglasfönster och 100—55/0,91 = 40 % vid ett treglasfönster.

Av gardinerna är den ljusa helt ogenomskinliga rullgardinen effektivast, trots att den sitter innanför fönstret. Detta beror på att den ljusa färgen reflekterar en så stor del av solstrålningen och att den direkta transmissionen genom gardinen är 0. Den mörka rullgardinen absorberar så mycket av strålningen att dess verkan som solskydd är dålig, medan den veckade, mörka gardinen är något bättre, fastän den släpper igenom en del ljus.

Den ljusa, veckade gardinen liksom solskyddsrullgardinen är överlägsen persiennerna i fråga om ljusgenomsläpplighet, de kan t. o. m. verka alltför bländande. En persienn mellan glasen är emellertid effektivare som skydd för solvärmen.

De guldbelagda isolerrutorna ger effektiv avskärmning, samtidigt som de emellertid transmitterar ljuset dåligt med hänsyn till att beläggningen minskar dagsljuset också när rutorna inte är solbelysta. Med hjälp av transmissionskurvan och ögats ljuskänslighetskurva i fig. 3, med kännedom om den spektrala fördelningen av dagsljuset och om man också tar hänsyn till att infallsvinkeln för detta ljus är ca 59° kan man beräkna att en guldbelagd isolerruta med två glas släpper igenom 46 % av det ljus som ett vanligt tvåglasfönster transmitterar, både vid klar och mulen himmel. En guldbelagd isoleryta med tre glas beräknas släppa igenom 45 % av det ljus som ett vanligt treglasfönster transmitterar.

Om man trots beläggningen vill få in lika mycket dagsljus i rummet måste större fönster användas. Då släpper man emellertid dels in mera solvärme, dels blir rummets värmeförluster under vintern större. Vad de senare beträffar minskas olägenheten av att de belagda isolerrutornas k-värden är lägre.

Markiser

Fig. 8 visar inläckt solvärme vid ett fönster med en markis som förhindrar direkt solstrålning att träffa fönsterytan. Endast från markytan reflekterad strålning når därför fönstret, som antas vara utfört med två rutor av vanligt glas. Markisen har en springa vid överkanten som gör att luften under markisen inte stannar kvar trots att markisen är försedd med sidstycken.

Vid uppritning av diagrammet har mätresultat från en amerikansk undersökning av markiser använts [7]. Dock har sådana värden på sol- och himmelsstrålning antagits som förekommer i Norden sommartid. Under vintern är värdena ungefär 10 % högre vid samma solhöjd.

Vid bruk av diagrammet kan de i tabell 2 angivna värdena på olika ytors reflexionsfaktorer användas. Solhöjden kan erhållas ur [15].

De data som här angivits beträffande solskydd avses senare bli kompletterade med resultat från pågå-

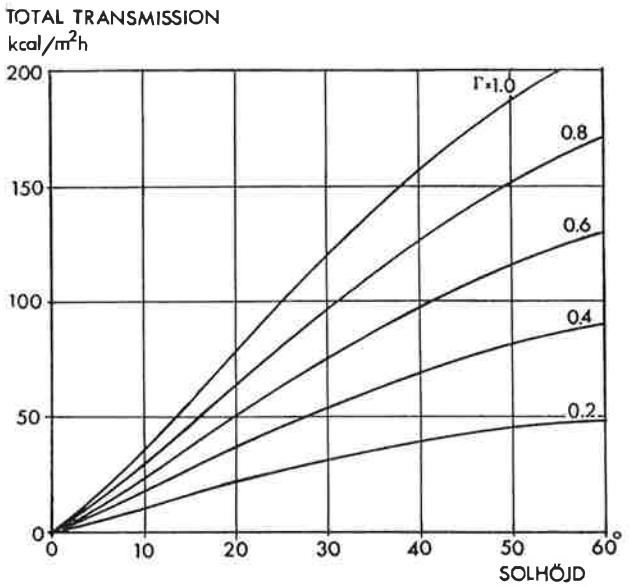


Fig. 8. Totalt transmitterat solvärme (härrörande från vid marken reflekterad sol- och himmelsstrålning) genom tvåglasfönster med ljustät markis som funktion av solhöjden och vid olika reflexionsfaktorer hos markytan, under en klar sommardag (maj—sept.), då fasaden är solbelyst.

Tabell 2. Reflexionsfaktorer för solstrålning, hos ytor i byggnaders omgivning.

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

ende undersökningar vid KTH rörande bl. a. värme- och ljustransmission genom fönster med persienner utförda av lameller i olika färger. Publiceringen av det föreliggande materialet innan dessa undersökningar är färdiga motiveras av att det för närvarande föreligger ett stort behov av utgångsvärden för beräkning av solvärmeinläckning. Även diagram som ger värmeinläckningen genom ett tvåglasfönster med rutor av vanligt glas publiceras inom kort.

Exempel

Värmeflödet skall beräknas genom ett tvåglasfönster mot söder, kl. 12 på dagen den 1 april. Byggnaden antas vara belägen på lat. 60° N. Sydfasaden vetter mot en park bevuxen av gräs och buskar, och vädret förutsättes vara klart. Temperaturen inne är 23°, ute +5°. Som skydd för fönstret antas alternativt en persienn, placerad utanför eller innanför fönstret eller mellan glasen, och en markis.

Persiennlamellerna är ställda i 45° vinkel; vid utvändig persienn antas lamellytornas absorptionsfaktor vara $a = 0{,}6$, vid invändig persienn och vid persienn mellan glasen $a = 0{,}4$. Markisen är ljustät och har en springa vid överkanten.

Det totala värmeflödet genom en fönsterkombination fås som summan av värmeinläckningen från sol- och himmelsstrålning och markreflekterad strålning samt det värmeflöde som orsakas av skillnaden mellan lufttemperaturerna inne och ute:

$$Q = F_1 I + k (\vartheta_l - \vartheta_r)$$

där

Q = totalt värmeflöde, kcal/m²h
F_1 = avskärmningsfaktor enl. tab. 1
I = total solvärmeinläckning genom ett oskyddat tvåglasfönster, kcal/m²h
k = värmegenomgångstal enl. tab. 1, kcal/m²h°C
ϑ_l = uteluftens temperatur, ° C
ϑ_r = rumsluftens temperatur, ° C

Vid beräkning av Q för ett fönster med persienn utgår man från den totala solvärmeinläckningen genom ett oskyddat tvåglasfönster, I. Vid ett fönster med markis erhålles däremot den totala solvärmeinläckningen direkt ur fig. 8.

Persienn: I = 585 kcal/m²h, varav 480 härrör från direkt solstrålning, 60 från himmelsstrålning och 45 från markreflekterad strålning (värdena antas hämtade ur tabeller eller diagram över sol- och himmelsstrålning).

För *utvändig* persienn ger tab. 1 $F_1 = 0{,}09$, $k = 2{,}3$, och man får

$$Q = 0{,}09 \cdot 585 + 2{,}3\ (5 - 23)$$
$$Q = 53 - 41 = 12 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

För persienn *mellan glasen* erhålles

$$Q = 0{,}35 \cdot 585 + 2{,}1\ (5 - 23)$$
$$Q = 205 - 38 = 167 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

För *invändig* persienn får man

$$Q = 0{,}56 \cdot 585 + 2{,}8\ (5 - 23)$$
$$Q = 328 - 50 = 278 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

Genom ett oskyddat tvåglasfönster är

$$Q = 1 \cdot 585 + 2{,}5\ (5 - 23) = 540 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

Markis: Reflexionsfaktorn hos markytan är $r = 0{,}25$, enligt tab. 2. Solhöjden är 34,5°, enligt [15]. Fig. 8 ger solvärmeinläckningen 45 kcal/m²h.

Fönstrets värmegenomgångstal är ungefär detsamma som för ett oskyddat fönster, dvs. $k = 2{,}5$ kcal/²h° C. Man får då

$$Q = 45 + 2{,}5\ (5 - 23) = 0 \text{ kcal/m}^2\text{h}.$$

SUMMARY

UDC 69.028.3
BROWN, G.—ISFÄLT, E.: Solar Shading Devices. VVS 36 (1965) No. 6. P. 315—324.

The purpose of a solar shading device on a window is to reduce the heat gain caused by radiation from sun and sky. It should at the same time diffuse the sunlight as evenly as possible throughout the room and prevent glare by screening off the radiation that would otherwise fall direct on light-coloured surfaces within the field of vision of the occupants of the room. The view from the window should be obstructed as little as possible. In some cases the chief purpose of the shading device is to combat the deleterious effect of sunlight on fabrics, paintwork etc.

The maximum heat gain through a double-glazed window with plain plate-glass panes from solar and sky radiation is about 600 kcal/hr per sq.m of glass. At the latitude of Stockholm, the maximum heat gain is reached as early as March in a window facing due south, but not until June in eastern and western windows.

To avoid discomfort due to solar radiation, windows in workplaces sohuld preferably be on a shaded side. A westerly aspect is better than an easterly one, as a westward-facing room does not heat up until the evening, after working hours, and cools down again overnight.

Of the radiation falling upon a single pane of glass, part is reflected, a further part is absorbed by the glass, and the remainder is transmitted direct, i.e. it passes through the surface of the glass on the inside of the room. The absorbed energy is converted into heat and is given off partly to the room and partly to the exterior environment in inverse proportion to the surface thermal resistances. The total heat again due to radiation is made up of the directly transmitted component and that part of the absorbed energy which is re-emitted to the room.

It is possible by adding iron oxide to the glass to increase the absorption of the invisible, infrared part of solar radiation more than that of the visible spectrum (heat-absorbing glass). This reduces the direct transmission. Another way of obtaining the same result which is still being studied is to vary the reflection of radiation in different wavelength ranges by coating the surfaces of the glass (selective-reflection glass). Up to now metallic coatings have mainly been used on insulating glass, the coating being applied to the inside of the outer pane. Since insulating windows are hermetically sealed, the coating is well protected against both mechanical and chemical damage.

If one of the panes in a double-glazed window is of the heat-absorbing type, this pane should be placed outermost, in accordance with the rule that the trapped heat shall as far as possible be given off to the exterior and not to the room. This rule should be followed for the location of all types of solar shading devices.

A venetian blind, for example, is most effective if it is placed outside the window, so that the heat absorbed by the slats is given up to the outside air. If the blind is placed between the panes of a duoble-glazed window, heat is given off both to the room and to the exterior. With the blind on the inside, nearly all the absorbed heat is re-emitted to the room.

A solar shading device inside a window should have a highly reflective surface. The glass should absorb as little heat as possible, so that reflected radiation can easily pass out through it again. In this case it is entirely wrong to use heat-absorbing glass.

The effectiveness of a shading device placed between two panes can be increased by ventilation of the layer of air in which the device is located. This ventilation is particularly effective with appliances which absorb a great deal of solar heat, such as venetian blinds.

It is of course desirable to make the lower part of a shading curtain transparent enough to permit objects outside the window to be distinguished. If the upper part of the curtain is more closely woven, to reduce the transmission through it as far as possible, this increases the shading effect without causing inconvenience.

Table 1 shows the amount of radiation passing through various window combinations as compared to the radiation through a double-glazed window with panes of ordinary plate glass. The shading coefficients F_1, F_2 give this relationship with reference to total heat gain and direct-transmitted radiation respectively. The last column of the table contains the heat transmission coefficients for the different combinations to permit calculation of the heat transmitted through the window due to the difference between outside and inside air temperature in addition to the transmission of radiant heat.

The figures in the table refer to single, double and triple-glazed windows, without shading devices, or with curtains, or with venetian blinds; in some cases one pane is heat-absorbing or metal-coated.

To calculate the heat gain from solar and sky radiation through a window combination listed in the table, one multiplies the heat gain (per sq.m of glass area) through an unshaded double-glazed window with ordinary plate-glass panes by the shading coefficient given in the table. The heat gain for a window with an awning in a sunlit facade can be read off direct from fig. 8 if the altitude of the sun and the albedo of the ground outside the window are known. Figures for albedo are given in table 2.

It is hoped to publish later some further results from a series of measurements now being made at the Royal Institute of Technology in Stockholm of the shading coefficients of various types of solar shading devices, together with graphs showing the solar heat gain through double-glazed windows with plate-glass panes.

Litteratur

1. *Alderson, J. H.:* Sun control — a new development. Journal of the IHVE, dec. 1960.
2. *Farber, E. A., Smith, W. A., Pennington, C. W.* och *Reed, J. C.:* Theoretical analysis of solar heat gain through insulating glass with inside shading. ASHRAE Journal, aug. 1963.
3. *Pennington, C. W., Smith, W. A., Farber, E. A.* och *Reed, J. C.:* Experimental analysis of solar heat gain through insulating glass with inside shading. ASHRAE Journal, febr. 1964.
4. *Parmalee, G. V.* och *Aubele, W. W.:* The shading of sunlit glass. An analysis of the effect of uniformly spaced flat opaque slats. ASHRAE Trans. 1952, p. 377.
5. *Ozisik, N.* och *Schutrum, L. F.:* Solar heat gains through slat-type between-glass shading devices. ASHRAE Trans. 1960, p. 359.
6. *ASHRAE Guide and Data Book 1963.* Fundamentals & Equipment (Chapter 26: Air Conditioning Cooling Load).
7. *Ozisik, N.* och *Schutrum, L. F.:* Heat gain through windows shaded by canvas awnings. ASRAE Trans. 1958, p. 463.
8. *Ozisik, N.* och *Schutrum, L. F.:* Heat gain through windows shaded by metal awnings. ASHRAE Trans. 1959, p. 311.

AUSZUG IN KURZFASSUNG

Dk 69.028.3

BROWN, G.—ISFÄLT, E.: Sonnenschutz. VVS 36 (1965) Nr. 6. S. 315—324.

Ein Sonnenschutz am Fenster soll den Wärmezuschuss verringern, der durch Strahlung von Sonne und Himmel entsteht. Er soll gleichzeitig das Sonnenlicht so gleichmässig als möglich über den Raum verteilen und Blendung verhindern, indem er die auf helle Flächen im Sehfeld der Benutzer des Raumes fallende Strahlung abschirmt. Die Aussicht aus dem Fenster soll so wenig als möglich gestört werden. In gewissen Fällen dient der Schutz in erster Linie dazu, die zerstörende Wirkung des Sonnenlichtes auf Stoffe. Möbellacke u.dgl. zu verhindern.

Der Wärmezuschuss auf Grund der Sonnen- und Himmelsstrahlung beträgt bei einem Doppelfenster aus gewöhnlichem Glas bis zu 600 kcal/h pro m² Glasfläche. Auf Stockholms Breite wird der Höchstwert bei einem nach Süden belegenen Fenster bereits im März und bei einem nach Osten oder Westen belegenen erst im Juni erreicht.

Mit Rücksicht auf die lästige Sonnenstrahlung sollten die Fenster eines Arbeitsraumes am liebsten auf der Schattenseite belegen sein. Westfassaden sind besser als Ostfassaden, da ein nach Westen belegenes Zimmer erst gegen Abend warm wird, also nach Beendigung der Arbeitszeit, und während der Nacht sich wieder abkühlt.

Von der Strahlung auf ein Einfachfenster wird ein Teil reflektiert, ein Teil in der Scheibe absorbiert und der Rest direkt transmittiert, d.h. er geht über die nach dem Raum gerichtete Scheibenfläche hinaus. Die absorbierte Energie verwandelt sich in Wärme, die teils an den Raum selbst, teils an die Umgebung in umgekehrtem Verhältnis zu den Wärmeübergangswiderständen an den Flächen abgegeben wird. Der von der Strahlung verursachte gesamte Wärmezuschuss besteht aus dem direkt transmittierten und dem an den Raum abgegebenen Teil der absorbierten Energie.

Durch Zusatz von Eisenoxyd in das Glas kann man die Absorption der infraroten unsichtbaren Sonnenstrahlung mehr als die der sichtbaren Strahlung erhöhen — wärmeabsorbierendes Glas. Die direkte Transmission nimmt dann ab. Eine andere Möglichkeit, diese zu verringern, wird z.Zt. noch untersucht. Sie besteht darin, die Reflexion der Strahlung innerhalb verschiedener Wellenlängen durch Beschichtung der Glasflächen zu ändern — selektiv reflektierendes Glas. Bisher wurden hierfür meistens dünne metallische Aufträge auf Isolierscheiben verwendet, und zwar auf der Innenseite der Aussenscheibe. Da ein Isolier-Verbundglas luftdicht geschlossen ist, ist der Auftrag vor chemischen und mechanischen Angriffen gut geschützt.

Wenn eine Scheibe des Fensters wärmeabsorbierend ist, soll sie an der Aussenseite liegen. Man befolgt die Regel, dass die aufgefangene Wärme in grösstmöglichem Umfang an die Umgebung abgegeben werden und nicht in den Raum gelangen soll. Diese Regel ist bei der Anbringung sämtlicher Arten von Sonnenschutz zu befolgen.

Eine Jalousie ist somit am wirksamsten, wenn sie an der Aussenseite angebracht wird, so dass die von ihr absorbierte Wärme an die Aussenluft abgeleitet wird. Bei Jalousien, die zwischen den Fenstern angebracht sind, wird die Wärme sowohl nach dem Raum wie nach aussen weggeführt. Bei hinter den Fenstern angebrachten Jalousien wird fast die gesamte Wärme an den Raum abgegeben.

Ein Sonnenschutz hinter dem Fenster sollte eine stark reflektierende Fläche haben. Die Scheiben sollen so wenig absorbierend als möglich sein, damit die reflektierte Strahlung leicht durch das Glas wieder austreten kann. In einem solchen Falle wäre es grundfalsch, wärmeabsorbierende Scheiben zu verwenden.

Bei einem zwischen den Scheiben angebrachten Schutz kann dessen Wirkung durch Ventilation der Luftschicht erhöht werden, die den Schutz umgibt. Besonders wirksam ist diese Ventilation bei einem Schutz, der viel Sonnenwärme absorbiert, wie bei Jalousien der Fall ist.

Bei einer Sonnenschutzgardine will man gern ihren unteren Teil so durchsichtig als möglich machen, um ausserhalb des Fensters befindliche Gegenstände wahrnehmen zu können. Um die Wirkung der Gardine als Sonnenschutz zu erhöhen, kann man ohne Nachteil ihren oberen Teil dichter weben, damit die Transmission durch diesen so gering als möglich wird.

Tabelle 1 gibt die Einstrahlung durch verschiedene Fensterkombinationen im Verhältnis zu der Einstrahlung durch ein Doppelfenster mit Scheiben aus gewöhnlichem Fensterglas an. Die Abschirmungsfaktoren F_1 geben dieses Verhältnis im Hinblick auf den Gesamtwärmezuschuss, F_2 im Hinblick auf die direkt transmittierte Strahlung an. In der letzten Spalte der Tabelle erhält man die Wärmedurchgangszahlen für die Fensterkombinationen, so dass man ausser der transmittierten Strahlungswärme auch die Wärme berechnen kann, die durch das Fenster auf Grund des Unterschiedes zwischen der Innen- und Aussentemperatur transmittiert wird. Die Tabellen gelten für Fenster mit einer, zwei oder drei Scheiben ohne Schutz oder mit Gardinen oder Jalousien; in gewissen Fällen ist eine Scheibe wärmeabsorbierend oder metallbeschichtet.

Bei der Berechnung des Wärmezuschusses auf Grund von Strahlung von Sonne und Himmel durch eine in der Tabelle enthaltene Fensterkombination multipliziert man den Wärmezuschuss (pro m² Glasfläche) durch ein ungeschütztes Doppelfenster mit Scheiben aus gewöhnlichem Glas mit dem in der Tabelle angegebenen Abschirmungsfaktor. Für ein Fenster mit Markise an einer sonnenbeschienenen Fassade liest man den Wärmezuschuss direkt aus Abb. 8 ab, da die Sonnenhöhe und der Reflexionsfaktor am Erdboden ausserhalb des Fensters bekannt sind. Die Werte des Reflexionsfaktors sind in Tabelle 2 angegeben. Weitere Messergebnisse von Abschirmungsfaktoren verschiedener Arten von Sonnenschutz, die z.Zt. an der Technischen Hochschule Stockholm ermittelt werden, werden später veröffentlicht, ebenso Kurven über den Sonnenwärmezuschuss durch Doppelfenster mit Scheiben aus gewöhnlichem Glas.

9. *Ozisik, N.* och *Schutrum, L. F.:* Heat flow through glass with roller-shades. ASHRAE Trans. 1959, p. 697.
10. *Yellott, J. I.:* A new approach to solar heat control. ASHRAE Trans. 1963, p. 418.
11. *Vild, D. J.:* Solar heat gain factors and shading coefficients. ASHRAE Journal, okt. 1964, p. 47.
12. *Stephenson, D. G.:* Principles of solar shading. Canadian Building Digest 59, nov. 1964.
13. *Pleijel, G.:* Fönstrets strålningstransmission. Statens Råd för Byggnadsforskning. Intern rapport 1958.
14. *Brown, G.:* Grundläggande strålningsegenskaper hos fasta och flytande kroppar. VVS 1962, nr 1.
15. *Brown, G.* och *Tuominen, T.:* Solar position at various hours, dates and latitudes. Byggforskningen, rapport 75. Stockholm 1962.

Figure- and table-texts in English

Fig. 1. Example of building facade designed to exclude direct sunlight before 4 p.m.

Fig. 2. Intensity of solar radiation at different wavelengths (intensity reckoned per 0.1 μm) and transmission of perpendicular radiation (in %) through three panes of glass with different iron-oxide contents.

Fig. 3. Sensitivity of the eye at different wavelengths, and transmission and reflection of a double-glazed, gold-coated, insulating window.

Fig. 4. Awnings made of cloth or of plastic and light metal strips.

Fig. 5. Section through a window with exterior venetian roller blind.

Fig. 6. Dependence of solar heat gain on angle of incidence of solar radiation at an ordinary double-glazed window without a sunshade (upper curve) and with a shading roller blind between the panes (two lower curves). The continuous lower curve refers to measurements made at the Royal Institute of Technology, Stockholm, while the dashed line shows the product of the upper-curve value and the shading coefficient $F_1 = 43$ % (see Table 1).

Fig. 7. Dependence of solar heat gain on angle of incidence of solar radiation at an ordinary double-glazed window with a venetian blind between the panes; curves shown for blinds with slats set at different angles.

Fig. 8. Total transmitted solar heat (derived from solar and diffuse sky radiation reflected from the ground) through a double-glazed window with an opaque awning, as a function of solar altitude and for different reflectivities of the ground surface, on a clear summer day (May—Sept.) when the facade is sunlit.

Table 1. Shading coefficients F_1 and F_2 and overall coefficient of heat transfer k for different fenestrations. F_1 is the total solar heat gain and F_2 the direct solar heat gain for the stated fenestration in relation to the total solar heat gain through a window with double panes of ordinary window glass.

Table 2. Reflectivity of solar radiation of surfaces in the neighbourhood of buildings.

Bild- und Tabellentexte auf Deutsch

Bild 1. Beispiel der Fassadengestaltung, um direktes Sonnenlicht vor 16.00 Uhr auszuschliessen.

Bild 2. Intensität der Sonnenstrahlung bei verschiedenen Wellenlängen (die Intensität ist per 0,1 μm gerechnet) sowie die Transmission winkelrecht einfallender Sonnenstrahlen (in %) durch drei Glasscheiben mit verschiedenem Gehalt an Eisenoxyd.

Bild 3. Empfindlichkeit des Auges bei verschiedenen Wellenlängen sowie Transmission und Reflexion eines goldbeschichteten Isolierfensters mit zwei Scheiben.

Bild 4. Stoffmarkisen oder Sonnenblenden aus Plastik und Leichtmetall.

Bild 5. Seitenriss eines Fensters mit aussenseitiger Rolljalousie.

Bild 6. Abhängigkeit der Sonnenwärmetransmission von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen bei einem gewöhnlichem Doppelfenster ohne Sonnenblenden (obere Kurve) und mit Sonnenrollo zwischen den Scheiben (die beiden unteren Kurven). Die untere, ausgezogene Kurve beruht auf Messungen an der Kgl. TH, die gestrichelte Kurve stellt das Produkt der Werte der oberen Kurve und des Durchlässigkeitsbeiwertes $F_1 = 43$ % (siehe Tab. 1) dar.

Bild 7. Abhängigkeit der Sonnenwärmetransmission von dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen bei einem gewöhnlichen Doppelfenster mit verschieden gestellten Jalousien zwischen den Scheiben.

Bild 8. Insgesamt transmittierte Sonnenwärme (von bodenreflektierter Sonnen- und Himmelsstrahlung herrührend) durch ein Doppelfenster mit lichtungdurchlässiger Markise als Funktion der Sonnenhöhe und bei verschiedener Reflexionsfaktoren am Boden, während eines klaren Sommertages (Mai—Sept.), wenn die Fassade sonnenbeschienen ist.

Tab. 1. Durchlässigkeitsbeiwerte F_1 und F_2 und Wärmedurchgangszahl k für verschiedene Fensterkombinationen. F_1 stellt die gesamte und F_2 die direkt transmittierte Sonnenwärme für die angegebene Fensterkombination im Verhältnis zu der insgesamt durch ein Doppelfenster aus gewöhnlichem Fensterglas transmittierten Sonnenwärme dar.

Tab. 2. Reflexionsfaktoren für Sonnenstrahlen an Flächen in der Umgebung des Gebäudes.

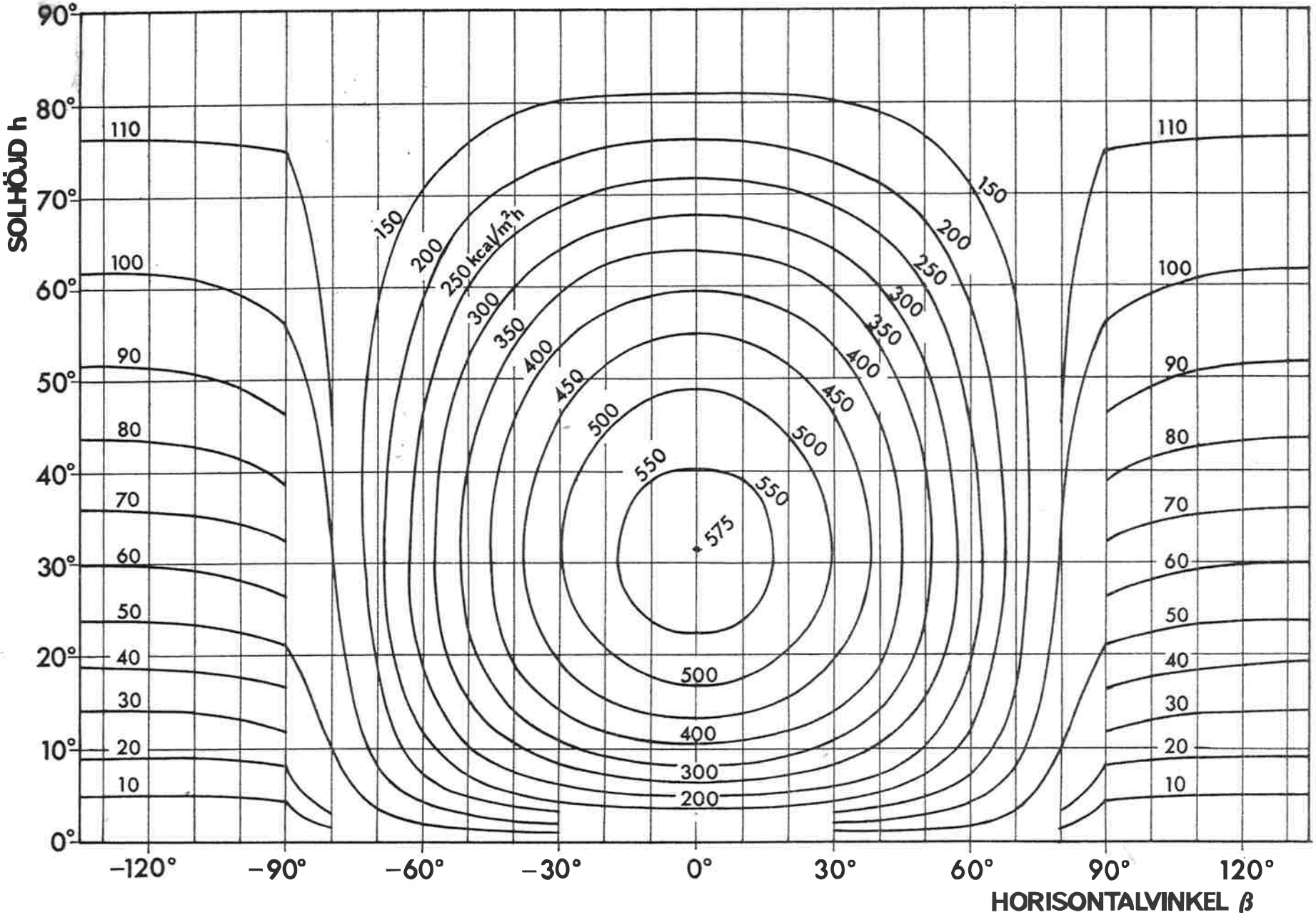


Fig. 13. Instrålat värme från sol, himmel och mark klara dagar som martid (maj—sept.) genom ett fönster med två ruter av vanligt fönsterglas ("Solvärmediagram").

Irradiated heat from sun, sky and ground on clear days in summertime (May—September) through a double-glazed window of ordinary window glass ("solar heat graph").

Von der Sonne, dem Himmel und der Erde eingestrahlte Wärme an klaren Sommertagen (Mai—Sept.) durch ein Fenster mit 2 Scheiben aus gewöhnlichem Fensterglas ("Sonnenwärmediagramm").