

UDK 628.92
551.521.1
SfB A
ISBN 91-540-2635-0

Nyckelord:
dagsljus,
fysikaliska data,
beräkningsmetoder,
planeringsunderlag

dagsljus utomhus

grundläggande samband och tillämpningsexempel

Hans Allan Löfberg

Författare:
Hans Allan Löfberg,
civilingenjör,
Statens institut för
byggnadsforskning

Redaktör:
Bo Ericson

Lay-out:
Margareta Johansson

Foto:
Tore Johnson

Distribution:
Svensk Byggtjänst,
Box 1403,
111 84 Stockholm
Telefon 08/24 28 60

Pris 12 kronor

Utgivare:
Statens råd för byggnads-
forskning

Stora delar av året räcker dagsljuset till som belysning vid arbete inomhus. För att beräkna belysningsstyrkan i rum och när elljus behövs ersätta dagsljus, måste man känna till hur dagsljuset varierar utomhus. Dagsljuset följer solens regelbundna gång över himlavalvet, men påverkas också av skiftande lokal molnighet och i någon mån av hur ren luften är.

En sammanställning av data om dagsljus samt sol- och himmelsstrålning saknas i Sverige. De uppgifter om belysningsstyrkor utomhus som finns publicerade grundar sig på utländska mätningar. Detta informationsblad vill därför samla både grundläggande data om solstrålning liksom samband mellan strålning och dagsljus utomhus. Uppgifterna grundas på registreringar utförda utomlands och av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI).

Informationsbladet består av två delar. I den första delen finns grundläggande fysikaliska data om sol, dagsljus och instrålning till hjälp för beräkningar av belysningsstyrka. Den andra delen ger en överblick över hur information om dagsljuset utomhus kan användas för beräkningar av belysningen inomhus.

Inledning

Dagsljusets variation under året och dagen är något de flesta upplever som stimulerande. Fönster gör det möjligt att förmedla denna variation till byggnaders interiörer, som genom dagsljuset kan verka trivsammare och mer levande än om de bara har elljusbelysning. Stora delar av året räcker inte dagsljuset till som arbetsbelysning inomhus eller så ger oskyddade fönster i soliga väderstreck besvär på grund av för stor värmeinstrålning. Genom fönster förloras vidare stora energimängder under den kalla årstiden. Samtidigt kan kalla fönsterytor leda till dragproblem.

Fönster utformade med eftertanke kan bidra till en bättre hushållning med energi i byggnader. Vissa egenskaper hos fönstren kan således beräknas i form av byggkostnad samt drift- och underhållskostnad inkluderat energiförbrukning, medan andra inte går att uppskatta i pengar. Vad betyder t.ex. variationen i ljus eller möjligheten att se ut för trivsel och arbetsprestation?

Dagsljus som arbetsbelysning

Fönster kommer att finnas i bostäder och på de flesta arbetsplatser, även om motiveringarna främst skulle vara av psykologisk natur. Om man har fönster bör det dagsljus som kommer in i största utsträckning också användas som arbetsbelysning. Hur man beräknar dagsljusbelysningen i rum beskrivs i boken »Dagsljus inomhus» (13).

För att beräkna belysningsstyrkor inomhus måste man veta hur dagsljuset varierar utomhus. Någon sådan sammanställning av data om sol- och himmelsstrålning speciellt för belysningsplanering saknas i Sverige. För beräkningar av byggnaders värmebalans har vissa uppgifter om strålning publicerats, men de data om belysningsstyrkor utomhus som finns i »Handboken BYGG» (7) och i »Dagsljus inomhus» baseras på utländska mätningar.

Det är därför värdefullt att samla både grundläggande data och uppgifter baserade på registreringar gjorda av Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI).

Stor variation i sol- och dagsljus

Dagsljusets variation följer dels solens regelbundna gång över himlavalvet, dels påverkas den av lokal molnighet och i någon mån av luftens renhet. Särskilt gör skiftande molnighet att spridningen i sol- och dagsljus kan vara stor från dag till dag och även från timme till timme. Denna variation som är överlagrad på den regel-

bundna års- och dygnsbundna variationen gör, att det blir en relativt stor osäkerhet i beräknade värden.

Alla publicerade samband mellan t.ex. solhöjd och belysningsstyrka är således behäftade med stor osäkerhet, men detta framgår ytterst sällan i de publikationer som finns tillgängliga. Man har tvärtom strävat efter en så god matematisk anpassning till vissa uppmätta förhållanden som möjligt, vilket gör att de publicerade ekvationerna verkar ytterst exakta. I den begränsade analys av data från SMHI som utförts vid dagsljuslaboratoriet vid Statens institut för byggnadsforskning (SIB) har spridningen beaktats. Den illustreras i de presenterade figurerna och motiverar att enkla samband söks i stället för matematiskt exakta.

Informationsbladets syfte

De data som finns i detta informationsblad är menade att användas både för detaljerade beräkningar med t.ex. dator och för manuella överslagsberäkningar eller grafiska presentationer.

Informationsbladets första del innehåller grundläggande fysikaliska data om sol, dagsljus och instrålning.

Den andra delen inleds med ett kort avsnitt om planering med hänsyn till sol- och dagsljus. Detta beskrivs utförligare i byggeforskningens informationsblad »Sol i bebyggelseplanering» (14).

Sista kapitlet visar hur man beräknar när under dagen dagsljuset kan väntas ge önskad belysningsstyrka inomhus liksom under hur stor del av året dagsljuset kan räcka som arbetsbelysning.

Innehåll

Beteckningar	3	5	Globalstrålning	12
Referenser	4	5.1	Spektralfördelning och färgtemperatur	12
		5.2	Belysningsstyrka vid klar himmel	12
		5.3	Belysningsstyrka vid delvis molntäckt himmel	13
DEL I		5.4	Ljusekvivalent	14
1 Grunddata om solstrålning	6	DEL II		
1.1 Solstrålning utanför jordens atmosfär	6	6	Planering för dagsljus och sol	16
1.2 Astronomiska värden	6	6.1	Sol utomhus	16
2 Mulen himmel	8	6.2	Sol inomhus	16
2.1 Spektralfördelning	8	6.3	Dagsljus inomhus	16
2.2 Luminansfördelning	8	7	Beräkning av belysningsstyrkor och belysningstider	18
2.3 Belysningsstyrka	8	7.1	Utomhus	19
2.4 Ljusekvivalent	10	7.1.1	Klar himmel	19
3 Klar himmel	10	7.1.2	Medelmolnig himmel	19
3.1 Spektralfördelning	10	7.1.3	Mulen himmel	20
3.2 Luminansfördelning	11	7.2	Inomhus	21
3.3 Belysningsstyrka	11	7.2.1	Klar himmel	21
3.4 Ljusekvivalent	11	7.2.2	Medelmolnig himmel	21
4 Sol	12	7.2.3	Mulen himmel	21
4.1 Spektralfördelning	12			
4.2 Belysningsstyrka	12			

Beteckningar

D	dagsljusfaktor %	a	solazimut
E	belysningsstyrka lux, klux	d	deklinaton
E_H	” på horisontalplan, utomhus	h	solhöjd
E_G	” från globalstrålning	p	luftens genomskinlighet
E_P	” i punkten P	t	timvinkel (1 timme motsvarar 15°)
$E_{1\infty}$	” vinkelrätt mot strålningen, utanför jordatmosfären	Ω_s	solens rymdvinkel, sedd från jorden
$E_{e\infty}$	solarkonstant kW/m ²	θ	vinkel över horisonten
K	ljusekvivalent lm/W	α	skillnad i azimut mellan solen och en annan punkt på himlen
L	luminans cd/m ²	δ	vinkel mellan solen och en annan punkt på himlen
L_m	solens luminans	φ	latitud
L_θ	himlens luminans, vinkeln θ över horisonten	ρ_T	markens reflexionsfaktor
L_z	zenitluminans		
L_e	solens radians kW/m ² sr		
T	luftens turbiditet		
T_n	färgtemperatur K		

Referenser

- 1 Andersson O, Löfberg, H A, Nordlander, S, 1965, *Luxmeter för låga belysningsnivåer*, FOA 2 Rapport A2351–281, Stockholm
- 2 Bennet, I, 1962, *Natural daylight illumination ... Its relation to insolation*, Illuminating Engineering, Vol 57, No 3, 1962, sid 145–149
- 3 Bodman, H W & Jantzen, R, 1964, *Ein registrierendes Spektralradiometer für Lichtquellen*, Lichttechnik, Vol 16, sid 20
- 4 Boysen, A & Mandorff, S, 1969, *Fördelning av daglig solskenstid*, Statens institut för byggnadsforskning, Informationsblad B4:1969, Stockholm
- 5 Brown, G & Isfält, E, 1974, *Solinstrålning och solavskärmning*, Statens institut för byggnadsforskning, Rapport R19:1974, Stockholm
- 6 Brown, G & Tuominen, T, 1962, *Solar positions at various hours, dates and latitudes*, Bygghörsningen, Rapport 75, Stockholm
- 7 BYGG, *Handboken, del 1A, Allmänna grunder*, 1971, Kap 134, Bygghörsningens förlag, Stockholm
- 8 Chroscicki, W, 1971, *Solar climate of the Swedish territory. Selected problems*, Tellus, Vol 23, No 3, sid 232–246
- 9 Chroscicki, W, 1972, *Calculation methods of determining the value of daylight's intensity on the ground of photometrical and actinometrical measurements (unobstructed planes)*, Proceedings of CIE Barcelona Session P–71. 24, CIE Publication 21, Paris
- 10 *Colorimetry*, CIE Publication 15 (E–1.3.1), 1971, Paris
- 11 Condit, H R & Grum, F, 1964, *Spectral energy distribution of daylight*, JOSA, Vol 54
- 12 *Den svenska almanackan*, Almqvist & Wiksell AB, Stockholm
- 13 Fritzell, B & Löfberg, H A, 1970, *Dagsljus inomhus*, Statens institut för byggnadsforskning, T11:1970, Stockholm
- 14 Glaumann, M, 1976, *Sol i bebyggelseplanering*, Statens råd för byggnadsforskning, T 37:1976, Stockholm
- 15 *God bostad i dag och i morgon*, 1964, Bostadsstyrelsen, Stockholm
- 16 Isfält, E, 1971, *A computer analysis of window shading coefficients by calculating optical and thermal transmission*. Proceedings of the First Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering. Related to Buildings. National Bureau of Standards, U S Government Printing Office, Washington D.C.
- 17 Kalitin, N N, 1925, *Registracja fotoelektryczeskim metodom oswieszczenności diffuznym swietom atmosfery*, Zurn. Geof. i Meteor. t II, sid 3–4.
- 18 Kittler, R., 1972, *Standardization of the solar radiation with regard to the prediction of insolation and shading of buildings*, Statens institut för byggnadsforskning, Konferens »Teaching the teachers on building climatology», Preprints Vol 2, No 45, Stockholm
- 19 Kittler, R, *Beitrag zur Bestimmung der tageslicht-technischen Verhältnisse des natürlichen Lichtklimas bei bedecktem Himmel*, Lichttechnik, (under publicering)
- 20 Krochmann, J, 1963, *Über die Horizontalbeleuchtungsstärke der Tagesbeleuchtung*, Lichttechnik, Vol 15, No 11, sid 559–562
- 21 Krochmann, J, 1964, *Neueres vom Tageslicht in Innenräumen*, Lichttechnik, Vol 16, No 12, sid 585–590
- 22 Krochmann, J, Müller, K, Retzow, U, 1970, *Über die Horizontalbeleuchtungsstärke und die Zenit-leuchtdichte des klaren Himmels*, Lichttechnik, Vol 22, No 11, sid 551–554
- 23 Lauscher, F, 1973, *Ein Vergleich französischer und österreichischer Papiere für Sonnenscheinsreiber*, Wetter und Leben, Vol 25, No 1, sid 7–9
- 24 Lemaigre – Voreaux, P, 1968, *Recommendations concernant la simulation du rayonnement solaire*, Lux, No 49, sid 355–357
- 25 Liljedahl, S & Löfberg, H A, 1968, *Dagsljusmätningar i modell*, Statens institut för byggnadsforskning, Informationsblad B 36:1968, Stockholm
- 26 Lunelund, H, 1936, *Värmestrålning och ljustrålning i Finland*, Svenska Tekniska Vetenskapsakademien i Finland, Acta 12, Helsingfors
- 27 Löfberg, H A, *Sannolikhet för solsken*, Meddelande 9:1976, Statens institut för byggnadsforskning, Gävle
- 28 Pleijel, G, 1954, *The computation of natural radiation in architecture and town planning*, Statens nämnd för byggnadsforskning, Meddelande 25, Stockholm
- 29 *Recommendations for the integrated irradiance and spectral distribution of simulated solar radiation for testing purposes*, CIE Publication 20 (TC–2.2), 1972, Paris
- 30 Smedman, A–S, 1969, *Solskenstid i Marsta, Uppsala, 1949–1967*, Meteorologiska institutionen, Uppsala Universitet, Rapport Nr 12, Uppsala
- 31 *Solavskärmning*, KBS Rapport 111, 1974, Byggnadsstyrelsen, Stockholm
- 32 *Standardization of luminance distribution on clear skies*, CIE Publication 22 (TC–4.2), 1973, Paris
- 33 Thekaekara, M.P., 1973, *Extraterrestrial solar energy and its possible variations*, Föredrag E 44 vid kongressen »The sun in the service of mankind» i Paris

1



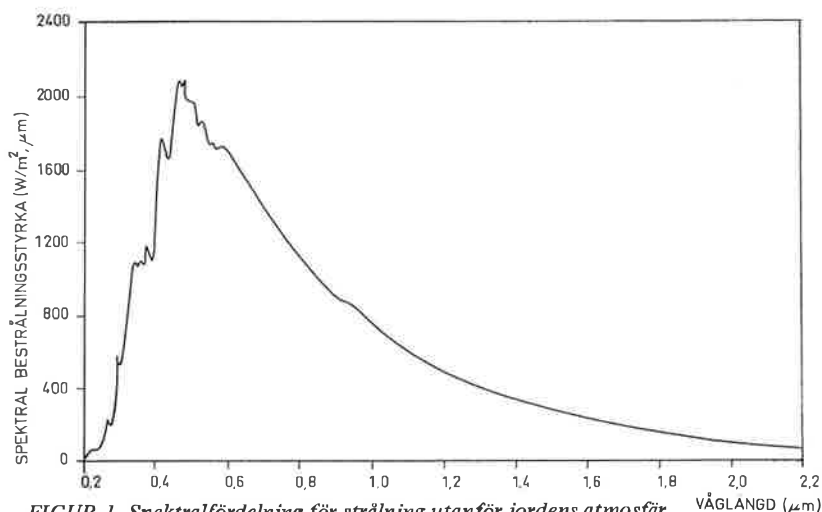
1 Grunddata om solstrålning

1.1 Solstrålning utanför jordens atmosfär

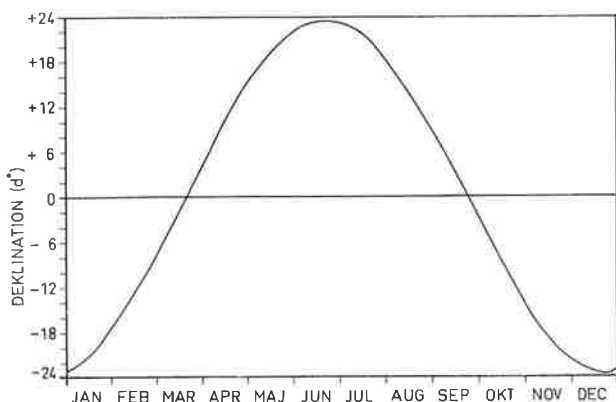
Data om solstrålningen utanför jordens atmosfär har nu fastlagts med ganska stor säkerhet. Några av de värden som kan beräknas ur strålningens spektralfördelning och solarkonstanter $E_{e\infty}$ har samlats i TABELL 1. Spektralfördelningen enligt Thekaekara (33) framgår av FIGUR 1.

TABELL 1
»Extraterrestrial» solstrålning

Storhet	Symbol	Värde	Sort
Solarkonstant	$E_{e\infty}$	1,353	kW/m^2
Solens rymdvinkel sedd från jorden	Ω_s	$6,8003 \cdot 10^{-5}$	sr
Radians	L_e	$1,990(\cdot 10^4)$	$\text{kW/m}^2, \text{sr}$
Belysningsstyrka vinkelrät mot strålningen	$E_{1\infty}$	126,8	klux
Luminans	L_m	$1,844 \cdot 10^9$	cd/m^2
Ljusekvivalent	K	92,7	lm/W
Kromaticitetskoordinater	x	0,3172	
	y	0,3263	



FIGUR 1 Spektralfördelning för strålning utanför jordens atmosfär enligt Thekaekara(33). Ytan under kurvan motsvarar solarkonstanten $E_{e\infty} = 1,35 \text{ kW/m}^2$.



FIGUR 2 Deklinationens variation under året.

1.2 Astronomiska värden

Solhöjd h och azimut a beräknas enligt formlerna

$$\sin h = \sin \varphi \sin d - \cos \varphi \cos t \cos d \quad (1)$$

$$\sin a \cdot \cos h = \sin t \cos d \quad (2)$$

där

φ = latitud (breddgrad) för orten,

t = timvinkeln = (sann soltid i timmar) $\times 15^\circ$

d = deklinationen (se FIGUR 2) samt

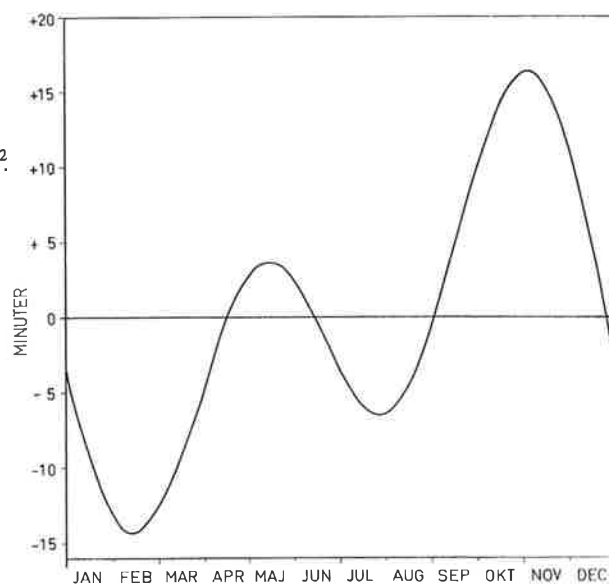
azimuten a räknas medsols från norriktningen.

TABELL 2 ger solhöjd och azimut för olika klockslag och tider på året vid fyra olika latituder. I »Rapport 75», 1962 (6) från bygghorskningsen finns motsvarande data för den 1:a och 15:e i varje månad, för varannan breddgrad inom området $56-68^\circ$ och för var fjärde breddgrad mellan 32° och 56° .

Den svenska almanackan (12) ger uppgifter om latitud och tidsskillnad för en rad orter i Sverige. Tidsskillnaden behövs för översättning mellan s.k. svensk borgerlig tid och lokal tid. I almanackan anges också tidsekvationen som tillsammans med tidsskillnaden ger tiden för solens passage genom en ords meridian, d.v.s. när solen står rakt i söder och som högst. Detta kallas för solens kulmination.

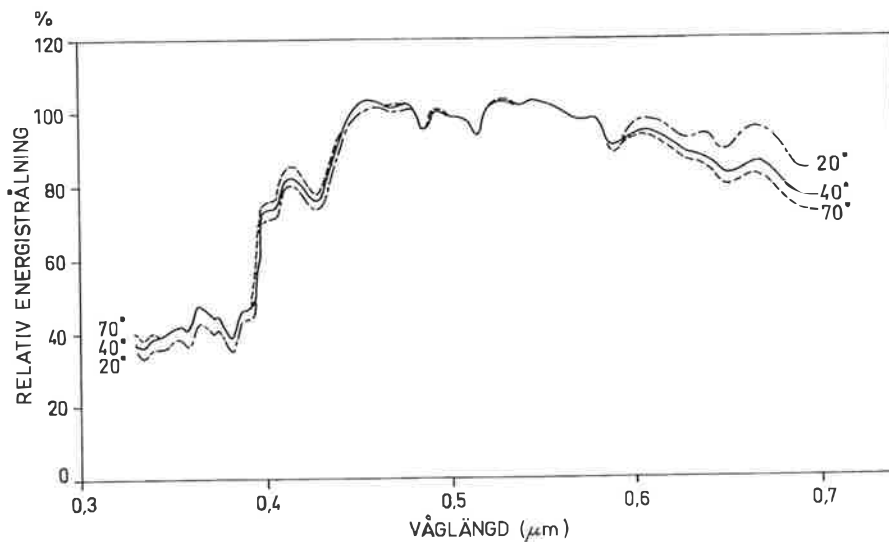
Tid för kulmination = 12 tim - tidsekvation + tidsskillnad (3)

Årsvariationen av deklinationen d och tidsekvationen framgår av FIGUR 2 och 3.

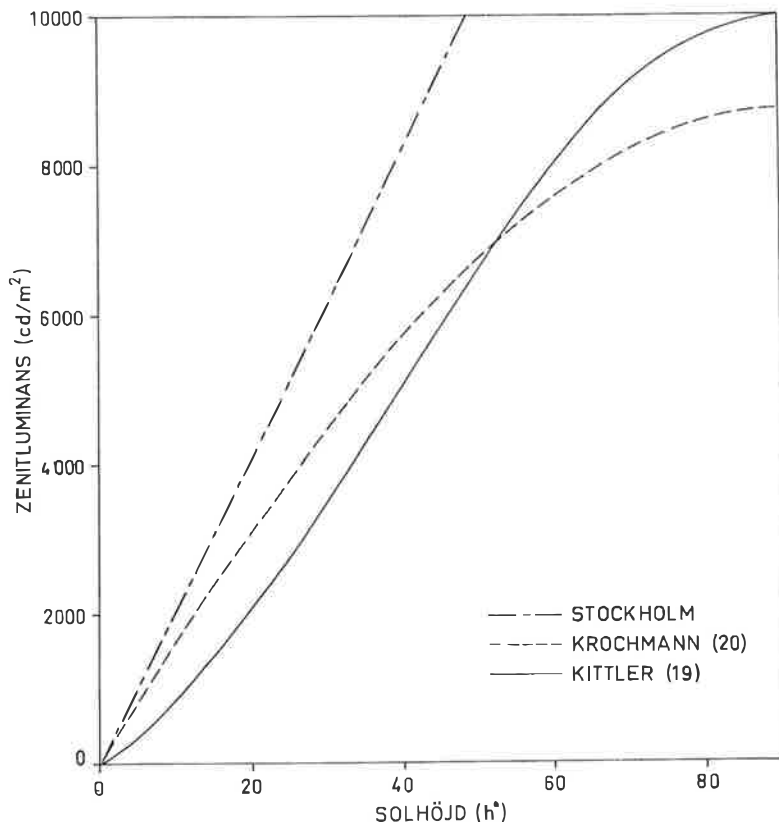


FIGUR 3 Tidsekvationens variation under året.

2 Mulen himmel



FIGUR 4 Spektralfördelning för strålning från mulen himmel vid några olika solhöjder enligt Condit & Grum (11).



FIGUR 5 Zenitluminansen vid mulen himmel som funktion av solhöjden enligt Kittler, Krochmann och enligt mätningar i Stockholm av belysningsstyrkan från mulen himmel.

Den mulna himlen har varit utgångspunkt för beräkning av dagsljusfaktorn. Se Fritzell, Löfberg, 1970 (13). Orsaken är att man ansett den mulna himlen ge de sämsta, d.v.s. lägsta, dagsljusnivåerna. En dimensionering av dagsljusbelysningen med mulen himmel som utgångspunkt ger därför en undre gräns för den tid dagsljuset räcker till för att ge en önskad belysningsstyrka.

2.1 Spektralfördelning

Spektralfördelningen hos den strålning som når ett horisontalplan från mulen himmel är relativt oberoende av solhöjden. Se FIGUR 4.

Den korrelerade färgtemperaturen T_n och kromaticitetskoordinaterna för mulen himmel är enligt Bodman & Jantzen (3)

$$\begin{cases} T_n \approx 6050 \text{ K} \\ x \approx 0,321 \\ y \approx 0,334 \end{cases}$$

2.2 Luminansfördelning

Den mulna himlens luminansfördelning har standardiserats av den internationella belysningsorganisationen CIE efter omfattande mätningar. Man har funnit att himlens luminans L_θ varierar med höjden θ över horisonten enligt formeln

$$L_\theta = L_Z \cdot \frac{1+2 \sin \theta}{3} \quad (4)$$

där L_Z är luminansen i zenit.

L_θ är oberoende av väderstreck, vilket gör beräkningar baserade på mulen himmel enkla då man inte behöver ta hänsyn till fönstrens orientering.

Himmelsluminansen L_θ kan beräknas enligt Kittler (19) med formeln

$$L_\theta = 125,4 \left(1 + \frac{3}{2} \sin h\right) \frac{1+2(1-\rho_T)^3 \cos \theta}{4+90(1-\rho_T)} \cdot \sin h \quad [\text{kcd/m}^2] \quad (5)$$

där h är solhöjden och ρ_T är markens reflexionsfaktor.

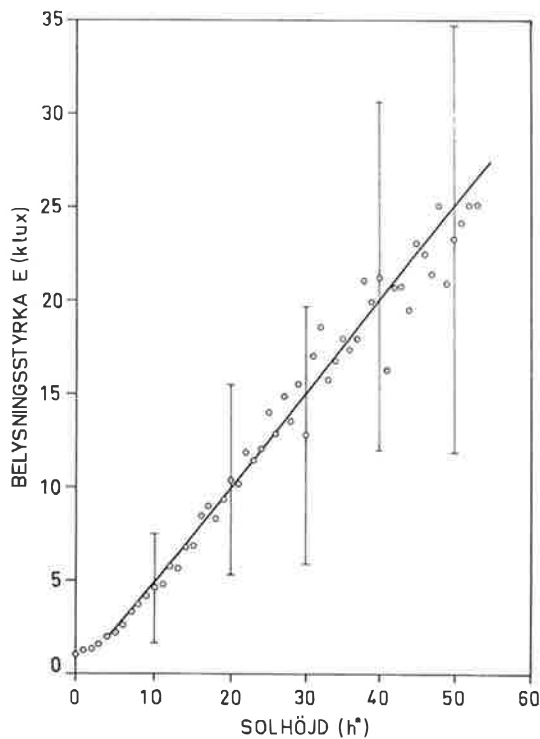
Zenitluminansen kan beräknas ur formel 5. Krochmann (20) fann med utgångspunkt från mätning av belysningsstyrkan att zenitluminansen kan beräknas med formeln

$$L_Z = 123 + 8\,600 \sin h \quad [\text{cd/m}^2] \quad (6)$$

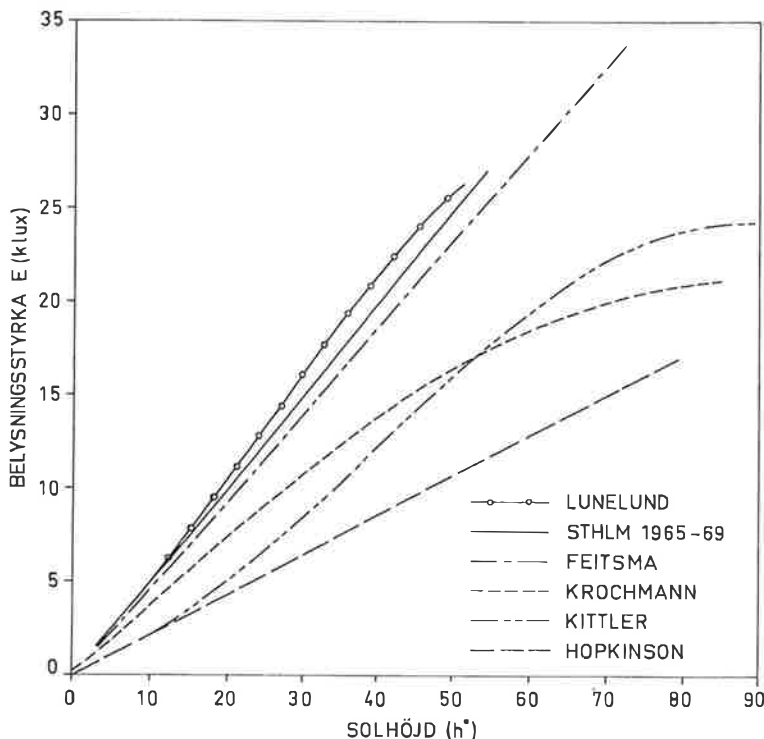
FIGUR 5 visar zenitluminansen vid mulen himmel som funktion av solhöjden. I figuren finns även värden baserade på mätningar av belysningsstyrkan i Stockholm (se avsnittet nedan).

2.3 Belysningsstyrka

Med utgångspunkt från den mulna himlens luminansfördelning kan belysningsstyrkan från



FIGUR 6 Belysningsytan på ett horisontalplan utomhus vid mulen himmel som funktion av solhöjden. Registreringar av SMHI i Stockholm 1965–1969. Vid några solhöjder är standardavvikelsen inritad.



FIGUR 7 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid mulen himmel som funktion av solhöjden. Jämförelse mellan olika publicerade resultat.

den oskärnade himlen på horisontalplanet beräknas till

$$E_H [\text{lux}] = \frac{7\pi}{9} \cdot L_Z [\text{cd/m}^2] \quad (7)$$

Registrering av belysningsstyrkan utomhus har gjorts i ett flertal länder under många år. I Norden gjordes de första längre observationsserierna av Lunelund i Finland, främst under 1930-talet. Dessa mätvärden användes av G Pleijel i Meddelande 25 från Statens nämnd för byggnadsforskning (28). Senare mätningar, främst i USA, Sovjetunionen och på den europeiska kontinenten, visar nästan genomgående på lägre belysningsstyrkor än dem Lunelund uppmätte vid olika solhöjder.

I Sverige har belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus registrerats av SMHI under ett fåtal år och på några få platser. Endast i Stockholm finns en sammanhängande mätperiod på drygt 10 år sedan 1961. I SMHIs registreringar skiljer man inte på belysningsstyrkan från direkt solstrålning och från diffus himmelsstrålning, varför bearbetningen blir omständlig.

För åren 1965–69 har samtliga timvisa registreringar av belysningsstyrkan analyserats. De timmar som visar soltiden 0, d.v.s. mulna timmar, har plockats ut och motsvarande solhöjd beräknats. Belysningsstyrka och solhöjd har ställts samman för de mulna timmarna och ett enkelt samband har härletts.

Då spridningen i belysningsstyrka är stor vid varje solhöjd beroende på variationer i molntäcket, finns knappast något skäl att göra anpassningen så perfekt som möjligt. En rät linje genom origo ger tillräckligt god approximation och kan samtidigt göras så enkel att den är lätt att komma ihåg. I bearbetningen ingår sammanlagt drygt 10 000 observationer. FIGUR 6 visar belysningsstyrkan på horisontalplanet som funktion av solhöjden vid mulen himmel. Den bästa linjära regressionslinjen är

$$E_H = 0,44 + 0,48 \cdot h [\text{klux}] \text{ för } 0^\circ < h < 60^\circ \quad (8)$$

För enkelhets skull kan sambandet

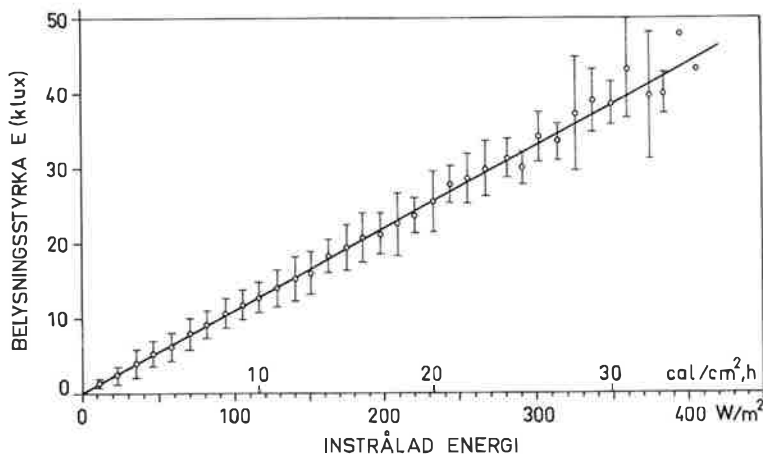
$$E_H = 0,5 \cdot h [\text{klux}] \quad (9)$$

användas i överslagsberäkningar för solhöjder mellan ca 3° och 60°

Belysningsstyrkan är inte 0 lux vid $h=0$, utan vanligtvis mellan 300 och 1 000 lux (1). Vid solhöjder över 60° måste viss försiktighet iakttagas, eftersom belysningsstyrkan där inte ökar linjärt med solhöjden. I Sverige blir solhöjden dock aldrig över 60° .

I FIGUR 7 jämförs registreringar från Stockholm med tidigare publicerade resultat från andra länder. Som framgår av figuren ligger de nordiska värdena högt, speciellt i jämförelse med de engelska (Hopkinson) som återges i »Dagsljus

inomhus» (13). Orsaken till denna systematiska skillnad kan vara skillnader i luftfuktighet och nedsmutsning av luften.



FIGUR 8 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid mulen himmel som funktion av instrålad energi. Data från SMHI för Stockholm 1966–1968. I figuren är också standardavvikelsen inritad.

2.4 Ljusekvivalent

Strålningens ljusekvivalent K är kvoten mellan ljusflöde och strålningsflöde. Totala instrålningen mäts av SMHI på ett flertal platser i landet, och om det finns en enkel omvandlingsfaktor mellan instrålning och belysningsstyrka kan instrålningsdata direkt översättas till belysningsstyrka för en rad orter.

För mulen himmel i Stockholm har sambandet mellan belysningsstyrka och uppmätt instrålning analyserats. FIGUR 8 visar sambandet, baserat på ca 2 600 observationer från åren 1966–68.

Bästa anpassning av en rät linje till de observerade värdena ger ljusekvivalenten

$$K=111 \text{ lm/W} \quad (10)$$

Standardavvikelsen är inritad i FIGUR 8 och uppgår till 12–20 % för de flesta punkter. Punkterna baseras på minst 30 observationer. Avvikelsen är större vid de lägsta värdena, där noggrannheten också är lägst. I medeltal är avvikelsen 17 %. Värdet är oberoende av solhöjd och instrålningens intensitet. Krochmann (21) anger 115 lm/W som medelvärde för mulen himmel.

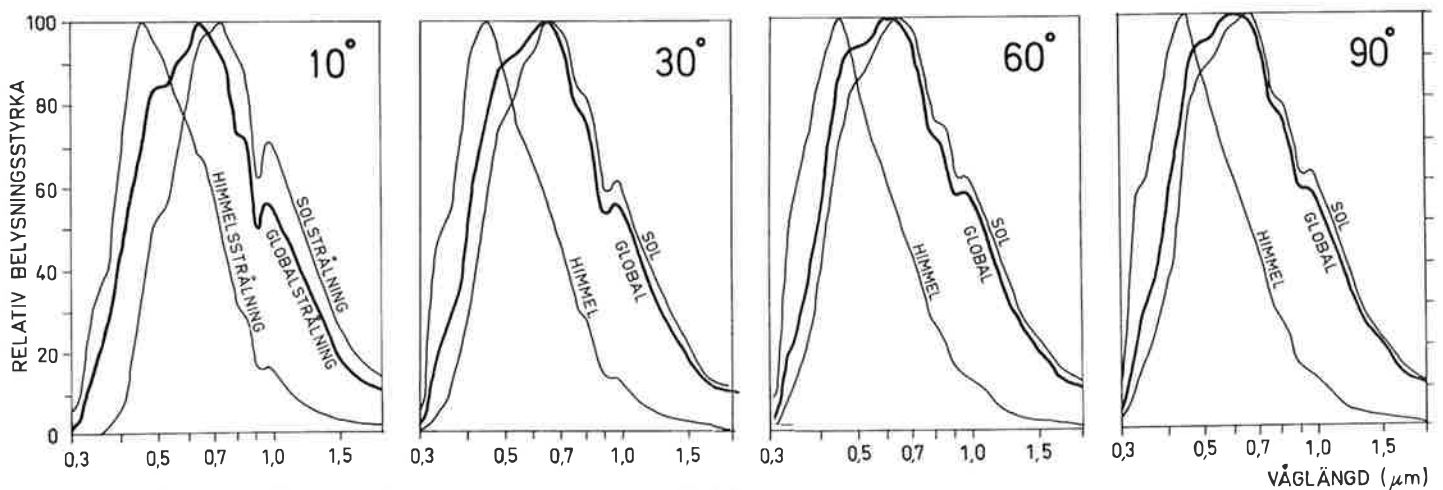
3 Klar himmel

Tillämpningen av kurvor och ekvationer över spektralfördelning, luminansfördelning och belysningsstyrka för dagsljusberäkningar vid klar himmel kräver betydligt mer arbete än vid mulen himmel. Dagsljuset både från direkt solstrålning och diffus himmelsstrålning vid klart väder varierar nämligen på ett mer komplicerat sätt med solens gång över himlavalvet än vad som är fallet vid mulen himmel. Några enkla hjälpmedel liknande dagsljusgradskivor för mulen himmel finns ännu inte. Inom CIE pågår arbete på en stan-

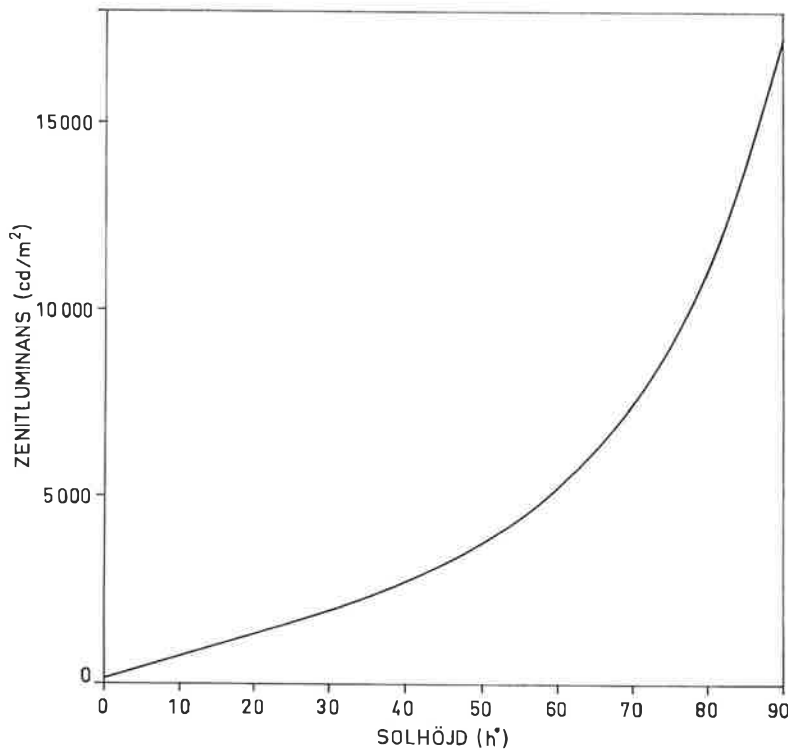
dardisering, som ska göra det möjligt att utarbeta tabeller och andra hjälpmedel.

3.1 Spektralfördelning

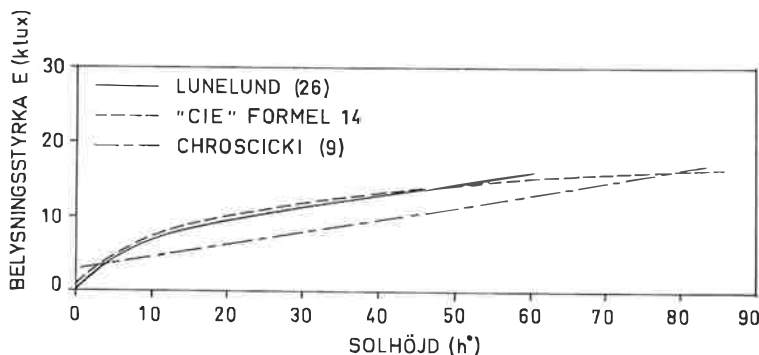
Spektralfördelningen hos strålning från klar himmel varierar både med solhöjd och luftens turbiditet T , vilken beror av graden av föroreningar i form av stoft, vattenånga m.m. FIGUR 9 visar den relativa spektralfördelningen enligt CIE (24, 29) vid några solhöjder och $T=2,75$.



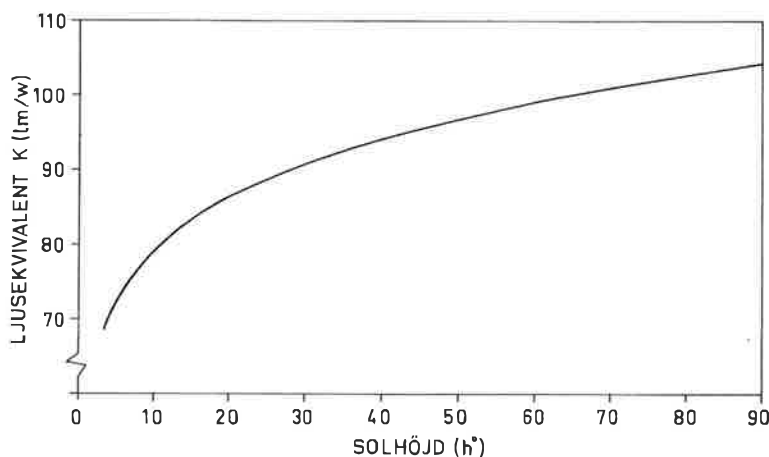
FIGUR 9 Relativ spektralfördelning för strålningen från klar himmel vid fyra olika solhöjder enligt CIE. Turbiditet = 2,75.



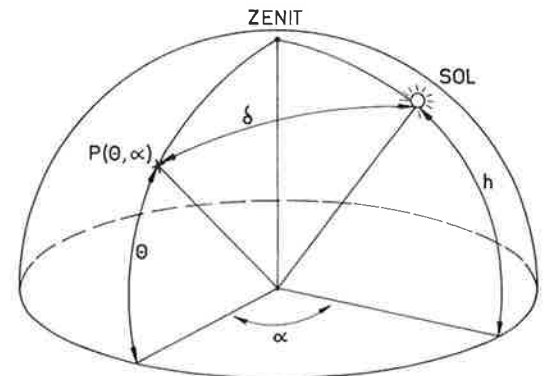
FIGUR 11 Zenitluminansen vid klar himmel som funktion av solhöjden enligt Krochmann.



FIGUR 12 Belysningsstyrkan från klar himmel på ett horisontalplan som funktion av solhöjden enligt några olika källor.



FIGUR 13 Ljusekvivalenten K för klar himmel och sol vid olika solhöjd enligt Chroscicki (9).



FIGUR 10 Beteckningar för att beskriva läget hos en punkt P på himlavalvet i förhållande till solen.

3.2 Luminansfördelning

Internationella belysningsorganisationen CIE rekommenderar (32) att man beskriver luminansfördelningen för klar himmel med formeln

$$L_{\theta, \alpha} = L_Z \frac{(0,91 + 10e^{-3\delta} + 0,45\cos^2\delta)}{0,27385}$$

$$\frac{(1 - e^{-\frac{0,32}{\sin\theta}})}{(0,91 + 10^{-3(90-h)} + 0,45\sin^2h)} \quad (11)$$

$$\delta = \arccos(\sin\theta\sin h + \cos\theta\cos h\cos\alpha) \quad (12)$$

Symbolernas betydelse framgår av FIGUR 10.

I formel 11 ingår zenitluminansen L_Z . Enligt Krochmann m.fl. (22) kan zenitluminansen beräknas med formeln

$$L_Z = 100 + 63 \cdot h + h(h - 30)^{0,0346(h - 68)} \quad (13)$$

[cd/m²]

Se även FIGUR 11.

3.3 Belysningsstyrka

Belysningsstyrkan från klar himmel på ett horisontalplan varierar med solhöjd och luftens renhet. Mätningar i flera länder har givit mycket varierande värden, men följande formel kan härledas ur värden som antagits av CIE (29,32):

$$E_H = 1,1 + 15,5\sqrt{\sin h} \quad [\text{klux}] \quad (14)$$

vilket stämmer väl med mätningar av Lunelund (26) inom området $5^\circ < h < 50^\circ$. Se FIGUR 12.

3.4 Ljusekvivalent

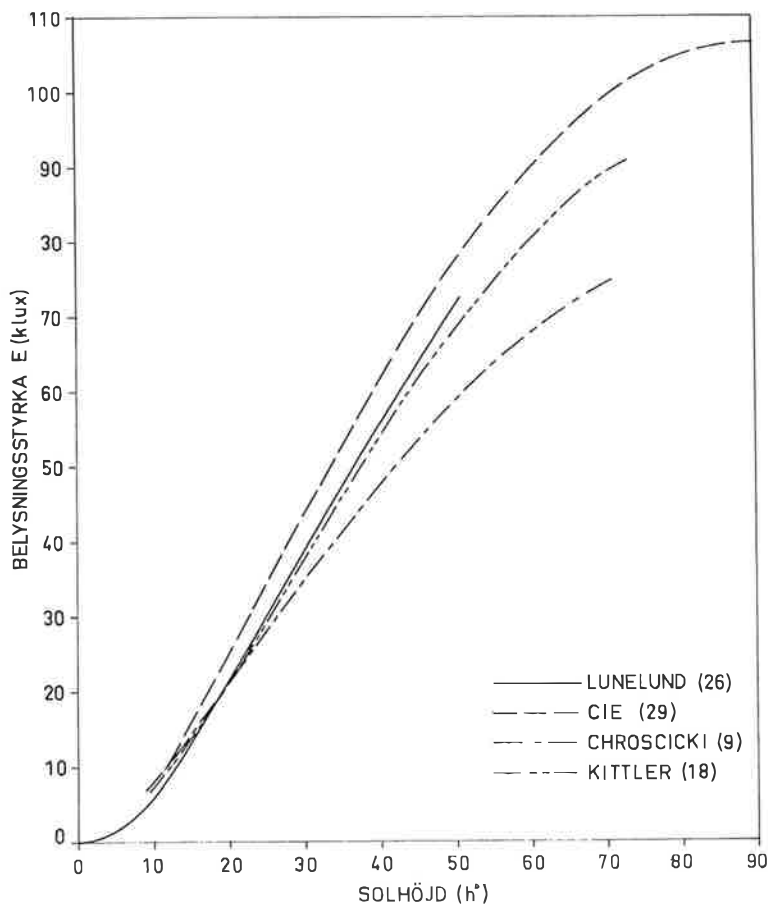
Chroscicki (9) har funnit att ljusekvivalenten är densamma för både direkt och diffus solstrålning vid klar himmel. FIGUR 13 visar sambandet, som också kan uttryckas

$$K = 59,3 \cdot h^{0,1252} \text{ lm/W} \quad (15)$$

där h är solhöjd i grader.

En analys av drygt 2 000 registreringar av belysningsstyrka och instrålning från sol och himmel i Stockholm 1966–1968 gav $K \approx 100 \text{ lm/W}$ oberoende av solhöjd. Standardavvikelsen var i medeltal ca 15 %.

4 Sol



FIGUR 14 Belysningsstyrkan från solen på ett horisontalplan utomhus som funktion av solhöjden enligt några olika källor.

4.1 Spektralfördelning

Den relativa spektralfördelningen för solstrålning uppmätt vid marken framgår av FIGUR 9. Se också FIGUR 1.

4.2 Belysningsstyrka

Enligt CIE (29) ger den direkta solstrålningen en belysningsstyrka på ett horisontalplan som uttryckas

$$E_H = 130 \cdot \sin h \cdot e^{-\frac{0,2}{\sin h}} \quad [\text{klux}] \quad (16)$$

FIGUR 14 visar belysningsstyrkan som funktion av solhöjden. I figuren är också mätresultat från Lunelund, Kittler och Chroscicki inritade. Enligt Kittler (18) gäller

$$E_H = \frac{135 \sin h}{1 + f \operatorname{cosec} h} \quad [\text{klux}] \quad (17)$$

där $f = \frac{1-p}{p}$ och p är luftens genomskinlighet.

I Sverige varierar f vanligen mellan ca 0,3 och 0,5. Med $f = 0,4$ överensstämmer Kittlers formel väl med Lunelunds värden. Chroscicki (9) föreslår

$$E_H = \frac{96 \sin h}{1 + 0,2 \operatorname{cosec} h} \quad [\text{klux}] \quad (18)$$

För att bestämma belysningsstyrkan på ett plan vinkelrätt mot solstrålningen ska värdena i FIGUR 14 divideras med $\sin h$.

5 Globalstrålning

Summan av den direkta solstrålningen och den diffusa himmelsstrålningen kallas globalstrålning. Vid klar respektive helt mulen himmel är globalstrålningen relativt enkel att beskriva. Vid delvis molntäckt himmel kan däremot stora variationer i total värme- och ljusstrålning uppträda.

5.1 Spektralfördelning och färgtemperatur

Den spektrala sammansättningen på »dagsljuset» varierar kraftigt och någon enkel formel kan inte anges. CIE (10) rekommenderar en formel som dock innehåller obestämda koefficienter, vilka är beroende av strålningens färgtemperatur. Färgtemperaturen för »dagsljus» varierar enligt olika forskares mätresultat mellan ca 3 800 K och 40 000 K.

5.2 Belysningsstyrka vid klar himmel

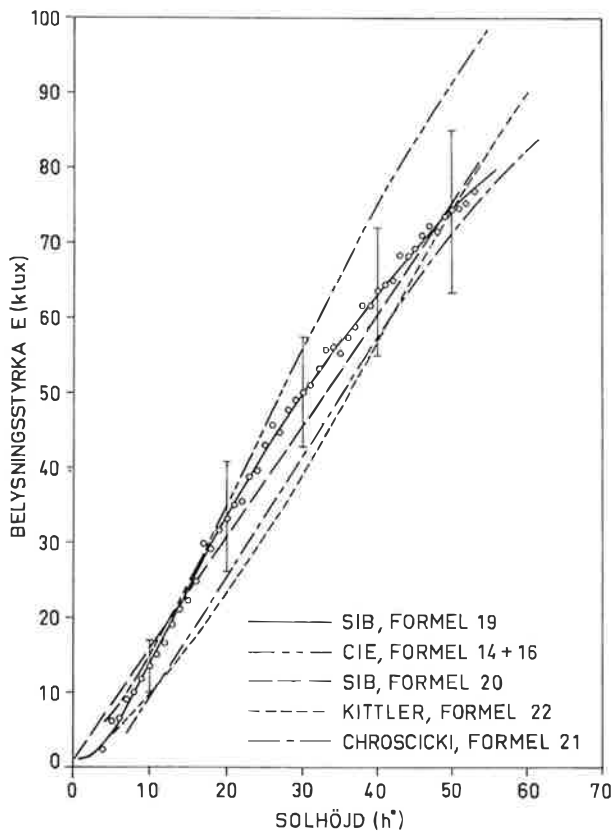
Adderas värdena för belysningsstyrka från sol respektive himmel (avsnitt 3.3 och 4.2) får man ett samband som framgår av FIGUR 15. I figuren finns även resultat från bearbetning av SMHIs registreringar i Stockholm, där timmar med 100 % soltid valts ut för åren 1965–69. Bästa anpassning till de observerade värdena ger funktionen

$$E_G = -7,573 + 2,328 h - 0,01375 h^2 \quad [\text{klux}] \quad (19)$$

för $h \geq 6^\circ$.

En grövre approximation är

$$E_G = 0,7 + 1,5 h \quad [\text{klux}] \quad (20)$$



FIGUR 15 Belysningsstyrkan från sol och himmel på ett horisontalplan vid klart väder enligt olika källor. Standardavvikelsen på ca 20 % har ritats in för några solhöjder.

Chroscicki (9) har föreslagit

$$E_G = \frac{117 \cdot \sin h}{1 + 0,2 \operatorname{cosec} h} \quad [\text{klux}] \quad (21)$$

för globalstrålning vid klar himmel, medan

Kittler (18) angivit

$$E_G = 45(1 + 1,5 \sin h) \cdot \sin h \quad [\text{klux}] \quad (22)$$

5.3 Belysningsstyrka vid delvis molntäckt himmel

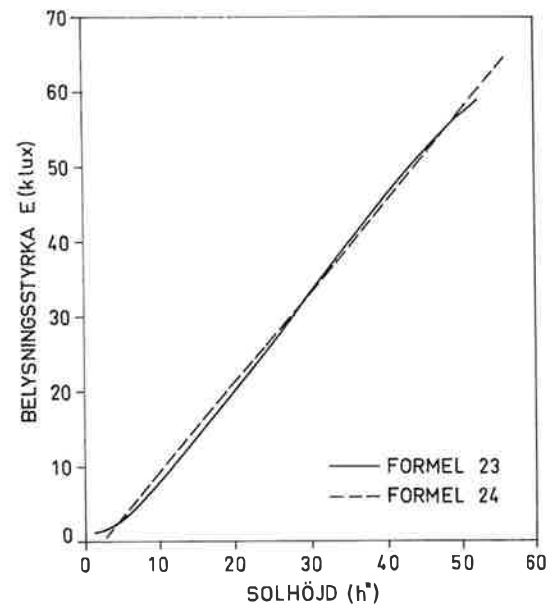
Chroscicki (8) har för SIBs räkning studerat belysningsstyrkan på ett horisontalplan som funktion av solhöjd utifrån observationer i Kiruna 1963–69, Stockholm 1961–69 och Malmö 1965–69. Han fann att belysningsstyrkan på horisontalplanet för medelmolnig himmel kan beskrivas som

$$E_H = 93 \frac{\sin h}{1 + 0,2 \operatorname{cosec} h} \quad [\text{klux}] \quad (23)$$

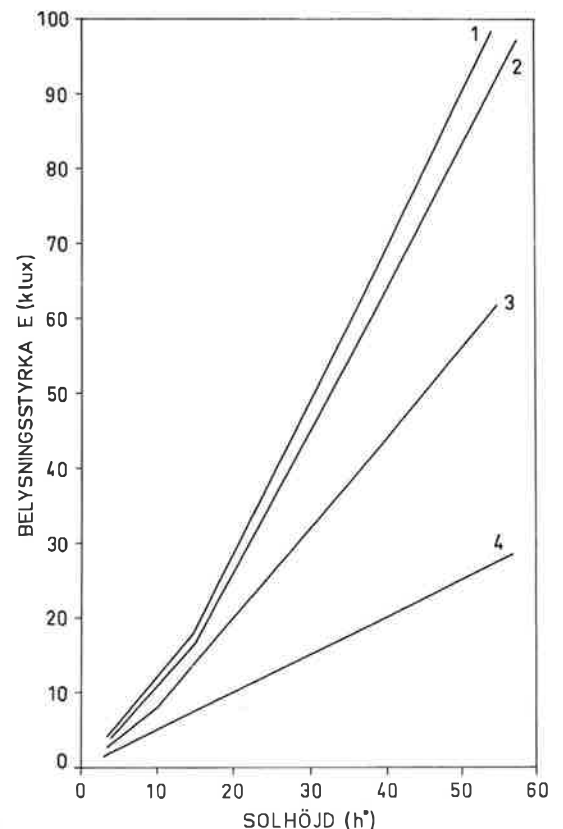
Se FIGUR 16.

En enklare formel, anpassad till samma observationer och som ger tillräcklig noggrannhet i planeringssammanhang, är för området $8^\circ \leq h \leq 50^\circ$

$$E_H = 1,2h - 2,8 \quad [\text{klux}] \quad (24)$$



FIGUR 16 Belysningsstyrka på ett horisontalplan utomhus vid medelmolnighet. Baserat på mätningar av SMHI i Kiruna, Stockholm och Malmö.



FIGUR 17 Belysningsstyrka från sol och himmel på ett horisontalplan utomhus vid olika molnighet och molntyp. Baserat på mätningar av Kalitin (17).

1 I solen. Molnighet 8/8.

2 I solen. Molnighet 4/8.

3 Solen bakom genomlysiga moln. Molnighet 4/8–8/8.

4 Solen bakom icke genomlysiga moln. Molnighet 4/8–8/8.

TABELL 3 Samband mellan belysningsstyrka E i en punkt på marken och solhöjd h vid olika molntyp och molnighet, då solen antingen befinner sig bakom moln eller då mätpunkten nås av direkt solljus. Efter mätningar av Kalitin (17).

Molntyp	Molnighet	Direkt sol mot punkten	$E = f(h)$ [klux]
ICKE GENOMLYSLIGA	4/8	Nej	$E \approx (0,5 \pm 0,05)h;$
		Ja	$E \approx \begin{cases} (1,1 \pm 0,1)h; & \text{för } h \leq 15^\circ \\ (2 \pm 0,1)h - 13,5; & \text{för } h \geq 15^\circ \end{cases}$
Cumulus, alto-cumulus, stratocumulus, cumulus nimbus m fl	8/8	Nej	$E \approx (0,5 \pm 0,2)h;$
		Ja	$E \approx \begin{cases} (1,1 \pm 0,1)h; & \text{för } h \leq 15^\circ \\ (2,1 \pm 0,1)h - 15; & \text{för } h \geq 15^\circ \end{cases}$
GENOMLYSLIGA cirrus, cirrus-cumulus	4/8	Nej	$E \approx \begin{cases} 0,75h; & \text{för } h \leq 10^\circ \\ (1,07 \pm 0,05)h; & \text{för } h \geq 10^\circ \end{cases}$
		Ja	$E \approx \begin{cases} (1,05 \pm 0,1)h; & \text{för } h \leq 15^\circ \\ (1,85 \pm 0,05)h - 12; & \text{för } h \geq 15^\circ \end{cases}$
	8/8	Nej	$E \approx \begin{cases} (1,0 \pm 0,1)h; & \text{för } h \leq 15^\circ \\ (1,3 \pm 0,1)h - 4,5; & \text{för } h \geq 15^\circ \end{cases}$
		Ja	$E \approx \begin{cases} (1,2 \pm 0,15)h; & \text{för } h \leq 15^\circ \\ (2,2 \pm 0,15)h - 15; & \text{för } 15^\circ < h \leq 35^\circ \\ 1,9 h - 4,5 h; & \text{för } h \geq 35^\circ \end{cases}$

I Slutsk nära Leningrad har belysningsmätningar utförts (17) samtidigt som molnighet och molntyp noterats. Mätningarna är gjorda både i direkt solljus och då solen befunnit sig bakom moln. Ur materialet kan en rad samband härledas, se TABELL 3.

Mot bakgrund av de stora spridningar som konstaterats vid mätningar bl.a. i Sverige kan materialet förenklas ytterligare. I FIGUR 17 finns samband mellan belysningsstyrka från sol, himmel och solhöjd vid olika molntyp och molnighet.

5.4 Ljusekvivalent

Värdet på ljusekvivalenten K för globalstrålning varierar kraftigt, bl.a. beroende på luftfuktigheten. Vid hög luftfuktighet absorberas t.ex. mer av den infraröda strålningen och värdet på K blir högre än vid låg luftfuktighet. Mot denna bakgrund är det lätt att förstå, att mycket varierande värden på K har mätts upp i olika delar av världen och vid varierande molnighet.

Lunelunds och Auréns registreringar ger värdena $K \approx 109$ lm/W respektive $K \approx 112$ lm/W (26,28).

För överslagsberäkningar kan enligt Krochmann (21) värdet

$$K = 115 \text{ lm/W} \quad (25)$$

användas. Jämför avsnitt 2.4 och 3.4.

I USA undersöktes 1953–54 om man kunde finna en enkel korrelation mellan belysningsstyrka och instrålning (2). Total instrålning under en dag jämfördes med total belysning uttryckt i lux-timmar. Ett rätlinjigt samband kunde konstateras. Medelvärdet för ljusekvivalenten blev $K_{\text{medel}} = 108 \pm 15$ lm/W, ett resultat som väl överensstämmer med tidigare angivna värden. Detta antyder också osäkerheten i värdet på K , något som oftast saknas i litteraturen i övrigt.

2



6 Planering för dagsljus och sol

6.1 Sol utomhus

Planering för sol utomhus grundas på kunskap om solens läge på himlen. Grafiska hjälpmedel som solbandediagram har konstruerats för att studera under vilka delar av året och dagen som sol kan nå en viss punkt. Användningen av solbandediagram har kortfattat beskrivits i »Handboken BYGG» (7) och i informationsbladet »Sol i bebyggelseplanering» (14). I det senare redogörs också för användningen av s.k. solur som hjälpmedel vid modellstudier av sol och skugga.

Både den grafiska metoden och modellstudierna ger den teoretiskt möjliga soltiden. För att få en uppfattning om den »verkliga» soltid som kan förväntas, måste man använda sig av de soltidsregistreringar SMHI utför och som redovisas i meteorologisk litteratur. Tyvärr ger dessa redovisningar endast en uppfattning om den totala soltiden per månad, som sedan kan relateras till teoretisk soltid.

Sannolikheten för solsken varierar under dagen och året, vilket innebär att det krävs en mer detaljerad information om när solen verkligen lyser. Vid byggeforskningsinstitutet har SMHIs registreringar av soltid analyserats och presenterats som diagram över sannolikheten för sol i olika delar av landet. FIGUR 18 visar dessa diagram. Mer detaljerad information för vissa orter i landet finns i SIBs Meddelande »Sannolikhet för solsken» (27).

6.2 Sol inomhus

Sol inomhus uppfattas som något positivt så länge värmen inte blir alltför hög. Direkt solstrålning på arbetsytor ger emellertid ofta upphov till besvärande reflexer. I bostäder däremot övervägar oftast solinstrålningens positiva effekter, bl.a. därför att man inte är tvungen att uppehålla sig på bara en plats.

På arbetsplatser önskar man alltså oftast skydda sig mot solen, medan det för bostäder i »God bostad» (15) tidigare krävdes viss solighet. I »Svensk Byggnorm 1975» (SBN 75) har »God bostad» inarbetats och där finns nu bara en mycket allmänt hållen rekommendation om sol i bostäder.

Vid beräkningar av värmebalansen för byggnader tar man hänsyn till solstrålning mot fasader och genom fönster. För att minska obehagen från alltför stark uppvärmning och bländning används ofta solskydd av någon typ. De solbandediagram som nämnts ovan och som finns utförligt beskrivna i informationsbladet »Sol i bebyggelseplanering» (14), kan användas också vid be-

räkning och utformning av solavskärmningar. Se även byggnadsstyrelsen »Rapport 111» (31).

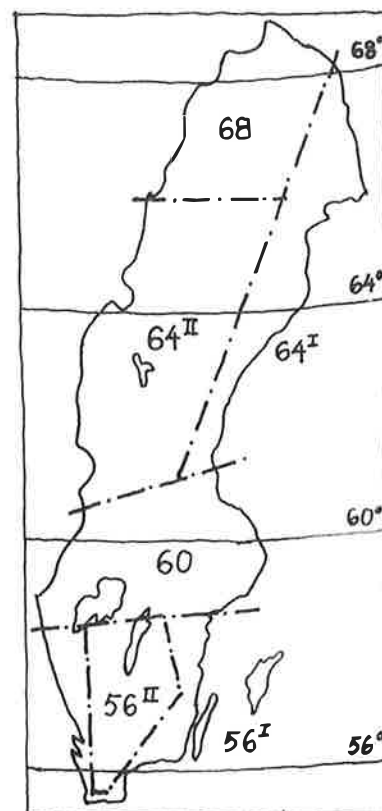
De belysningsstyrkor som direkt solljus kan ge innanför fönster tas upp i kapitel 7.

6.3 Dagsljus inomhus

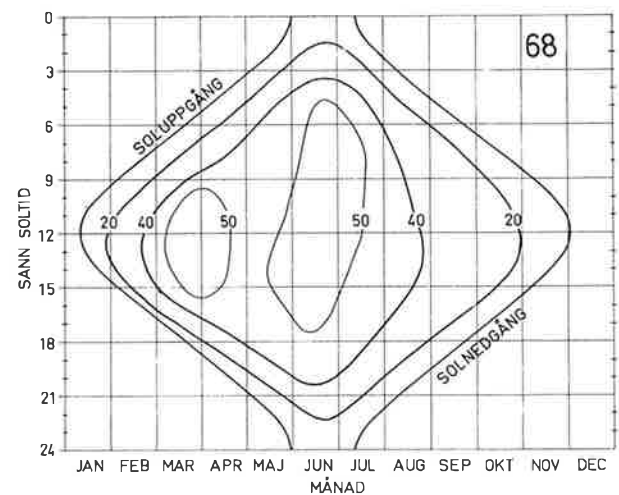
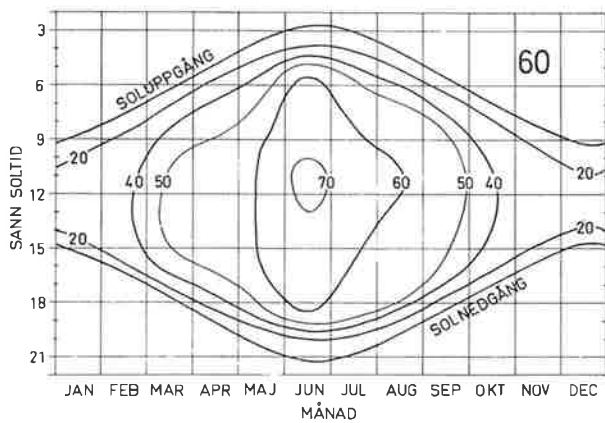
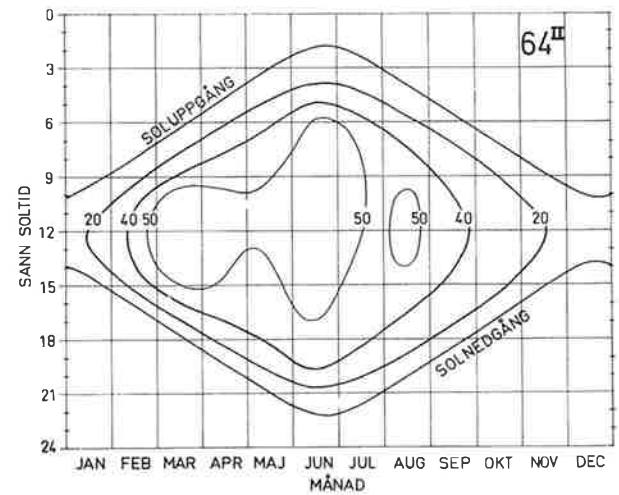
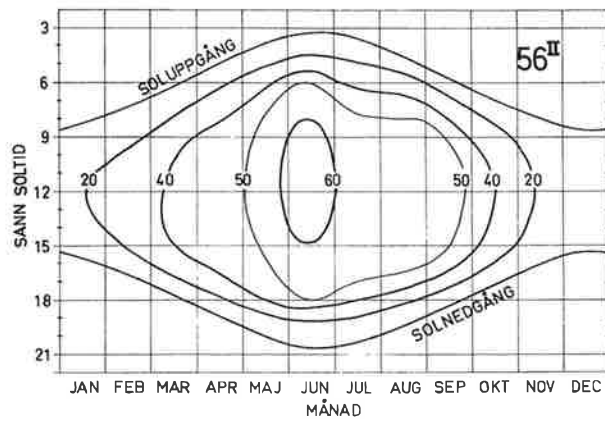
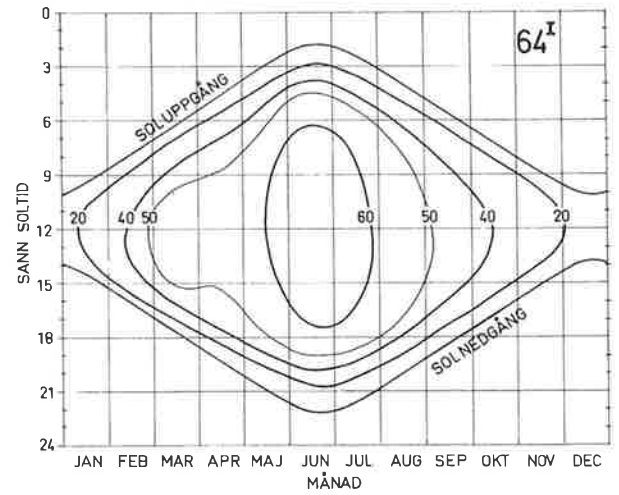
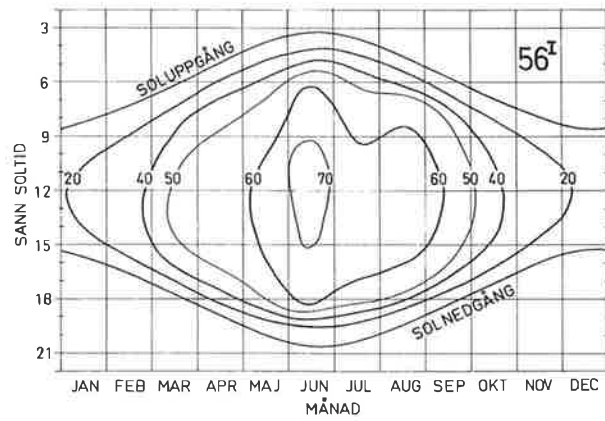
Med dagsljus menas både direkt och diffus solstrålning, men vid dagsljusplanering räknar man vanligen bara med det himmelsljus den mulna himlen ger. Orsaken till detta är för det första att dagsljuset vanligtvis är svagare under molniga än under klara dagar. Man räknar således med det minst gynnsamma alternativet vid beräkning av belysningsstyrkan inomhus.

För det andra blir beräkningarna mycket enklare vid mulen himmel eftersom den mulna himlen är symmetrisk kring zenit. Ur dagsljussynpunkt spelar det alltså inte någon roll åt vilket håll ett fönster vetter.

Hur man beräknar dagsljusfaktorn vid mulen himmel beskrivs i »Dagsljus inomhus» (13). Översättningen av dagsljusfaktorer till belysningsstyrkor kan göras med hjälp av de samband mellan belysningsstyrka och solhöjd som angivits i kapitel 2. I följande kapitel visas hur dessa uppgifter översätts till exempelvis timmar per år.



INDELNING EFTER SOLTID



FIGUR 18 Sannolikheten i procent för solsken vid olika tider på dagen och året för olika delar av Sverige. (Ur SIBs Meddelande »Sannolikhet för solsken» (27).)

7 Beräkning av belysningsstyrkor och belysningstider

De i del I redovisade mätningarna och beräkningarna av samband mellan solhöjd och belysningsstyrka visar på stora spridningar. Även om man begränsar sig till de värden SMHI insamlat för olika orter i Sverige finns stora osäkerheter. Spridningarna kan dels bero på ofullkomligheter i mätutrustningen, dels på en naturlig variation i de atmosfäriska förhållandena.

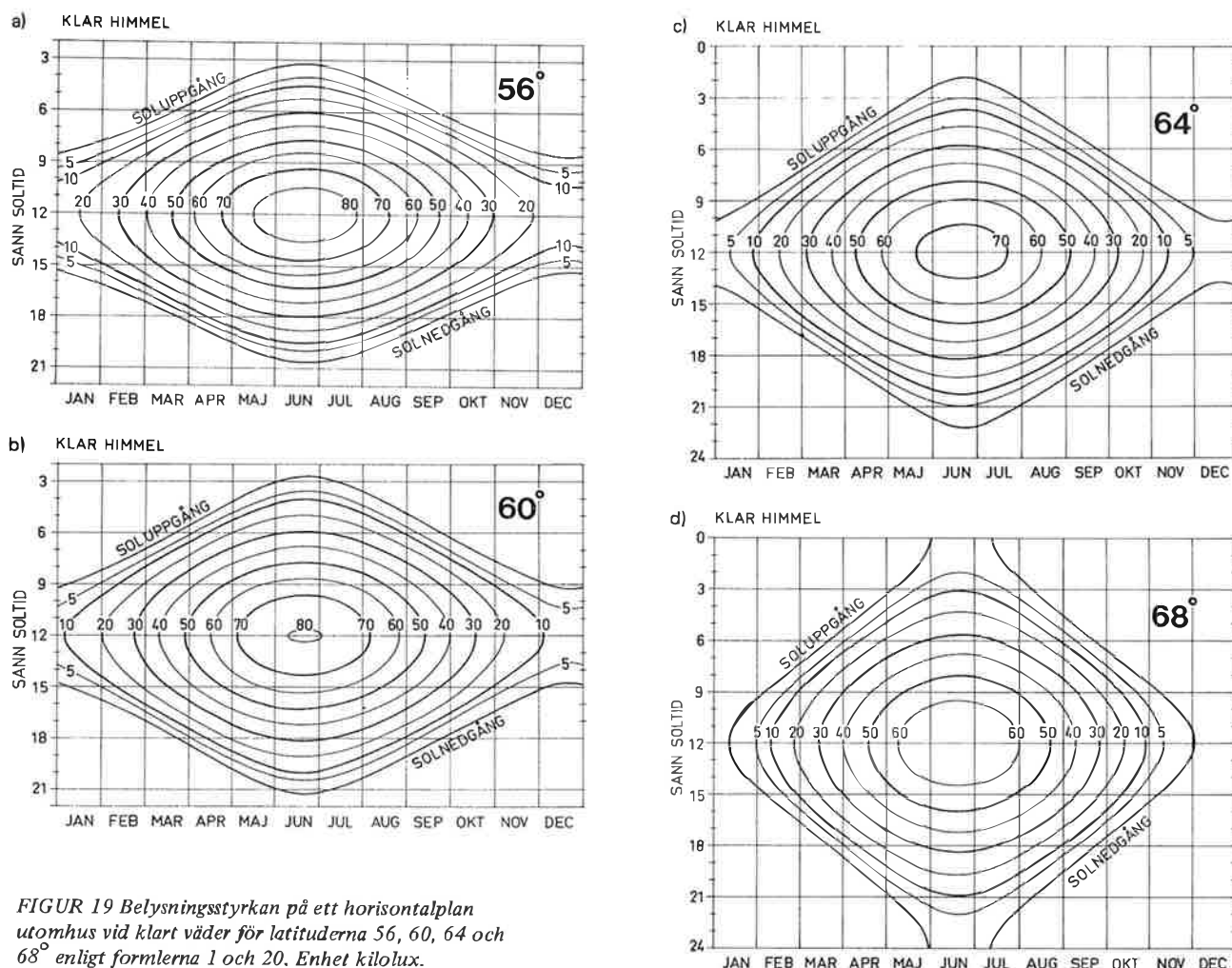
Ett exempel på brister i mätutrustningen är registreringen av solskenstid med s.k. Cambell-Stokes heliograf (4), som består av en glaskula som fokuserar den direkta solstrålningen mot en pappersremsa. En rad faktorer gör att osäkerheter finns vid utvärdering av brännmärkets längd som visar soltiden. Redan Pleijel diskuterade felkällorna (28) och senare jämförelser visar också på mätmetodens svagheter (23, 30).

De naturliga variationerna p.g.a. molnighetstyp, luftfuktighet o.s.v. är dock så stora, att man för de beräkningar baserade på medelvärden det här är fråga om bör använda sig av enkla samband, som inte antyder en större precision än

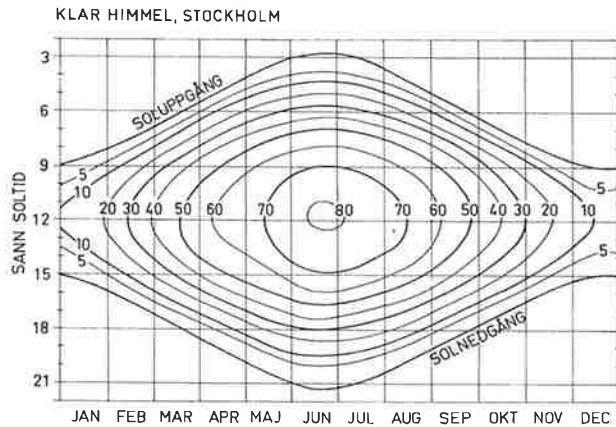
som finns i materialet. Som jämförelse visas i några avsnitt nedan kurvor som bygger på direkta observationer för Stockholm där vissa systematiska dygnsvariationer kan iakttagas, variationer som försvinner då man konstruerar samband mellan solhöjd och t.ex. belysningsstyrka.

Figureerna i del I visar att det finns en relativt god överensstämmelse mellan de analyser som Chrosicki och byggforskningsinstitutet gjort av SMHIs registreringar och de mätningar Lunelund utförde i Finland på trettioalet. De nordiska mätningarna visar, speciellt vid mulen himmel, på högre belysningsstyrka vid en given solhöjd än de mätningar som gjorts i övriga Europa.

Eftersom de senaste årens registreringar stämmer överens med de tidigare finska, har de diagram som presenteras nedan i huvudsak baserats på SMHIs registreringar. De skiljer sig således från motsvarande diagram, konstruerade med utgångspunkt från de samband som presenterats av Hopkinson och Krochmann och som visas i FIGUR 7, del I.



FIGUR 19 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid klart väder för latituderna 56, 60, 64 och 68° enligt formelerna 1 och 20. Enhet kilolux.



FIGUR 20 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid klart väder. Kurvorna gäller Stockholm och baseras på mätningar gjorda av SMHI under tiden juni 1961 – december 1970. Dagar med sol minst 75 % av teoretisk soltid har bearbetats. Enhet kilolux.

7.1 Utomhus

Uppgifterna i del I om belysningsstyrkan som funktion av solhöjden kan översättas till kurvor över hur belysningsstyrkan utomhus varierar under dagen och året, då man vet hur solhöjden varierar (formel 1 och TABELL 2).

7.1.1 Klar himmel

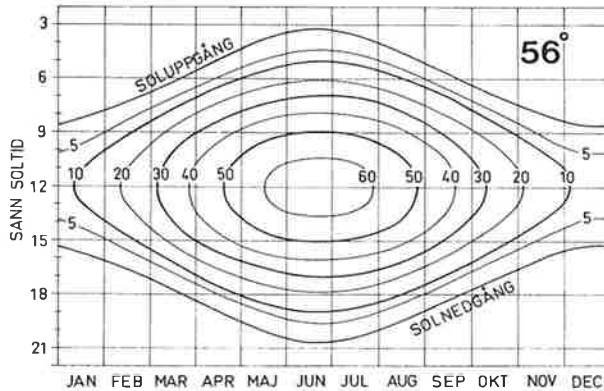
Med utgångspunkt från formel 20, som ger ett enkelt samband mellan solhöjd och belysningsstyrka på ett horisontalplan vid molnfri himmel, kan kurvskaror över belysningsstyrka vid olika tidpunkt på året och dagen konstrueras för valfri breddgrad. I FIGUR 19 är sådana kurvskaror samlade för 56°, 60°, 64° och 68°.

För Stockholm kan motsvarande figur konstrueras, baserad på direkta mätningar av belysningsstyrka och soltid. Se FIGUR 20.

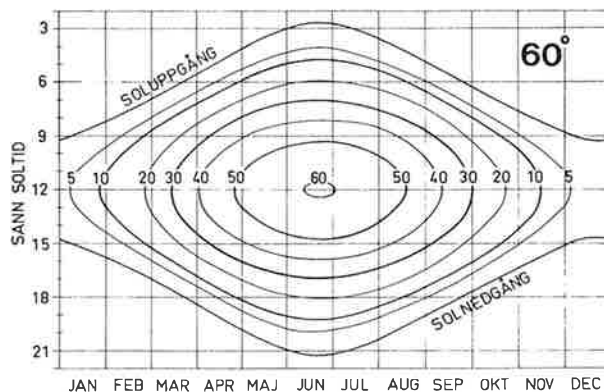
7.1.2 Medelmolnig himmel

Medelvärdet av belysningsstyrkan utomhus vid olika solhöjder enligt Chrosicki (8) (se avsnitt 5.3) ligger till grund för FIGUR 21. Kurvorna visar när på dagen och året olika belysningsstyrkor kan förväntas vid fyra olika breddgrader.

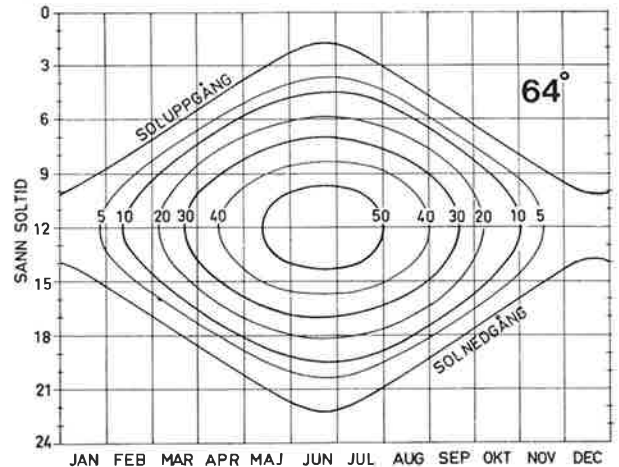
a) MEDELMOLNIG HIMMEL



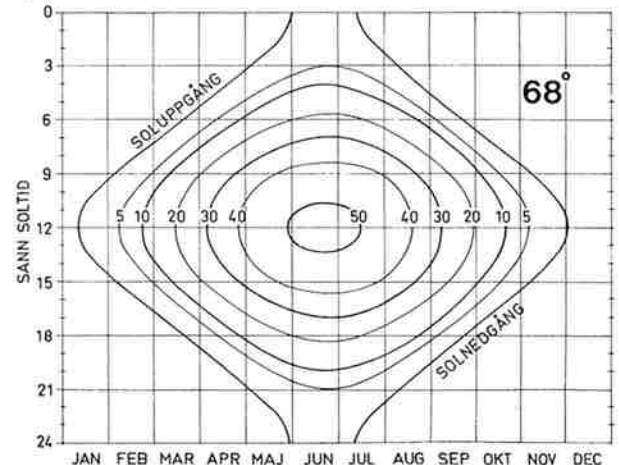
b) MEDELMOLNIG HIMMEL



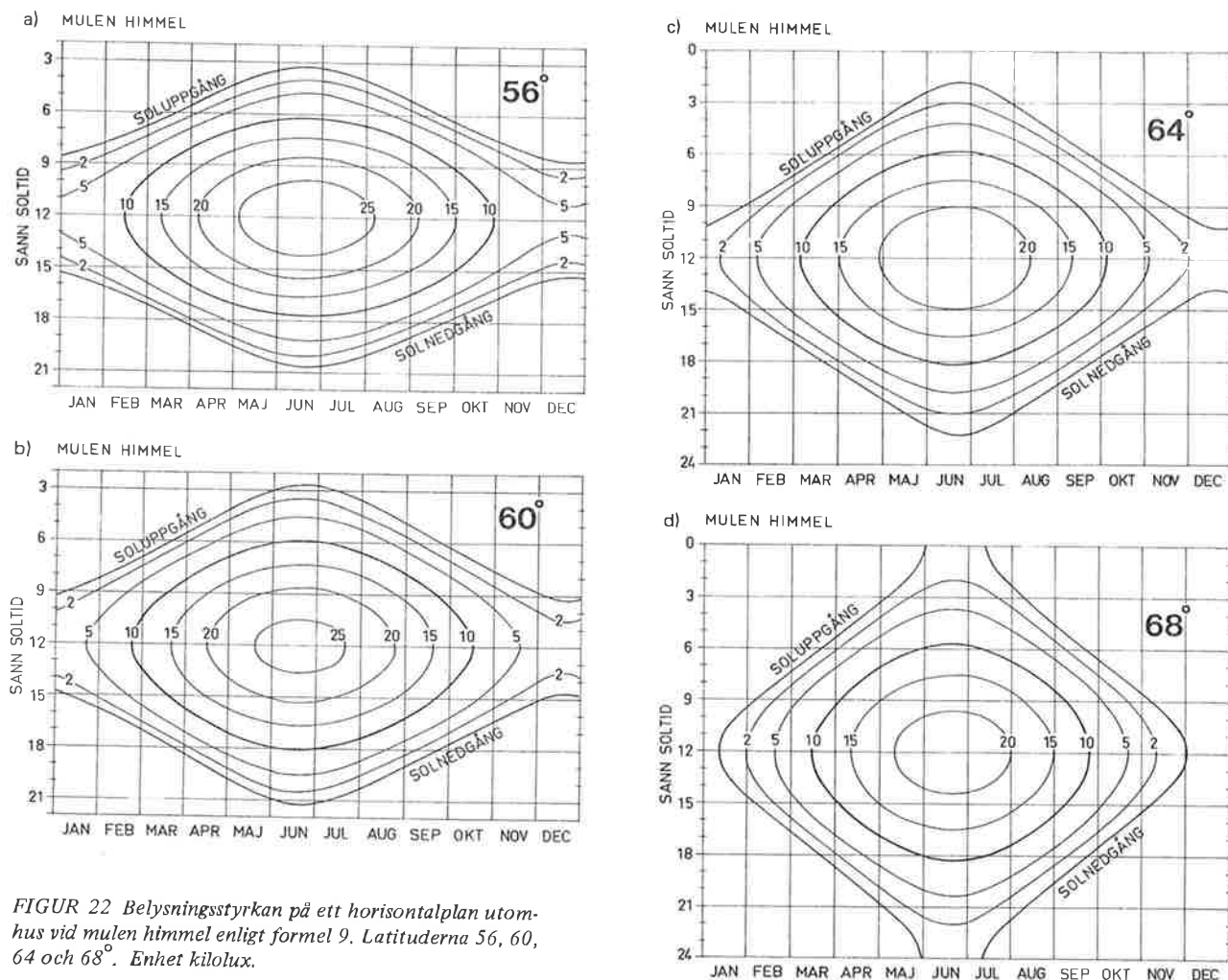
c) MEDELMOLNIG HIMMEL



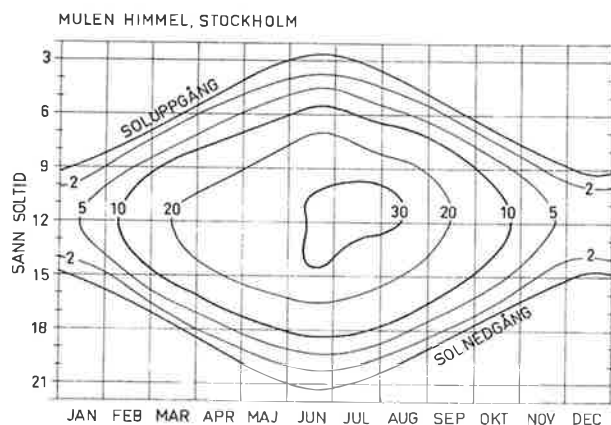
d) MEDELMOLNIG HIMMEL



FIGUR 21 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid medelmolnigt väder enligt Chrosicki (8). Latituderna 56°, 60°, 64° och 68°. Enhet kilolux.



FIGUR 22 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid mulen himmel enligt formel 9. Latituderna 56, 60, 64 och 68°. Enhet kilolux.



FIGUR 23 Belysningsstyrkan på ett horisontalplan utomhus vid mulen himmel. Kurvorna gäller Stockholm och baseras på mätningar gjorda av SMHI under tiden juni 1961 – december 1970. Dagar med sol högst 25 % av den teoretiska soltiden har bearbetats. Enhet kilolux.

7.1.3 Mulen himmel

Eftersom mulen himmel utgör grunden för beräkning av dagsljusfaktorer inomhus, är det speciellt viktigt att presentera de belysningsstyrkor som kan förekomma utomhus vid mulet väder på ett sådant sätt att de kan användas tillsammans med beräknade eller uppmätta dagsljusfaktorer. FIGUR 22 visar belysningsstyrkan utomhus vid olika tider på dagen och året för fyra olika breddgrader. Kurvorna baseras på formel 9 över sambandet mellan belysningsstyrka och solhöjd.

För Stockholm kan på samma sätt som vid klar himmel en figur ritas upp baserad på SMHIs registreringar. FIGUR 23 bygger på belysningsstyrkor för dagar med sol högst 25 % av den möjliga soltiden. Som framgår av figuren är den ganska oregelbunden, vilket beror på de stora variationer i molntäcke som förekommer även vid s.k. mulen himmel.

7.2 Inomhus

Dagsljusbelysning inomhus beskrivs främst med den s.k. dagsljusfaktorn D , vilken anger hur stor del av den totala belysningen från en mulen himmel som når en viss punkt i ett rum. Beräkning av dagsljusfaktorn beskrivs i »Dagsljus inomhus» (13). Vid mer komplicerade utformningar av fönster och rum kan en modellmätning ge snabbara och exaktare resultat. Sådana modellmätningar kan utföras vid dagsljuslaboratoriet vid A-sektionen på KTH(25).

7.2.1 Klar himmel

Dagsljusbelysningen inomhus vid klar himmel varierar kraftigt under dagen, främst beroende på fönstrens orientering och på reflexionsfaktorer hos yttre ytor som kan reflektera solljus. Om solen inte når direkt in i rummet eller det inte finns ljusa ytor som reflekterar in solljus, kan belysningsstyrkan inomhus bli lägre än om himlen är jämnulen, främst vid solhöjder över 20° .

Om solen skiner direkt in i rummet blir belysningsstyrkan naturligtvis hög på de direkt solbelysta ytorna. Även andra delar av rummet nås av mer dagsljus. Hur mycket beror på rumsytornas reflexionsegenskaper. Några enkla formler eller hjälpmedel för beräkning av belysningsstyrkor i detta fall finns inte idag. Datorprogram för beräkning av dagsljusbelysningen inomhus då fönstren täcks av ett spridande solskydd, t.ex. en ljusgardin eller persienner, har utarbetats av Isfält (16) och Brown, Isfält (5).

För att få ett mått på dagsljusbelysningen inomhus vid klar himmel och sol kan modellmätningar göras och en »solljusfaktor» beräknas. Faktorn kan sedan översättas till belysningsstyrka med hjälp av kurvorna i FIGUR 14 och 15, del I. Arbetet med mätningarna blir avsevärt mer omfattande än vid mulen himmel, eftersom både solhöjd och azimut varierar med klockslag och datum. Man får därför ofta nöja sig med att studera förhållandena vid några enstaka tidpunkter på året.

7.2.2 Medelmolnig himmel

För medelmolnig himmel finns ingen fastställd metod att beskriva den belysningsstyrka man får inomhus. För mycket översiktliga beräkningar kan eventuellt dagsljusfaktorn användas och kurvorna i FIGUR 21 ger då en uppfattning om när en önskad belysningsstyrka kan erhållas inomhus (se följande avsnitt).

Att osäkerheten är stor i detta fall framgår av FIGUR 17, del I, som visar hur molntyp och solens läge i förhållande till molnen påverkar belysningsstyrkan utomhus. FIGUR 16 över belysningsstyrkan utomhus vid medelmolnig himmel är grunden för FIGUR 21 och överensstämmer väl med kurva 3 i FIGUR 17. Den helt mulna

himlen stämmer överens med kurva 4 i FIGUR 17.

7.2.3 Mulen himmel

Dagsljusfaktorn D i en punkt P i ett rum beskriver hur stor del av belysningsstyrkan utomhus som når punkten P (13). Om belysningsstyrkan utomhus är E_H blir belysningsstyrkan E_P i punkten P

$$E_P = \frac{D \cdot E_H}{100} \quad (26)$$

där D uttrycks i procent. E_P varierar alltså under året och dagen med E_H .

För att få reda på när en viss belysningsstyrka kan förväntas i rummet, kan man ur formel 26 räkna ut vilken belysningsstyrka E_H som krävs. I FIGUR 22 fastlägger man sedan när på dagen och året den önskade belysningsstyrkan kan förväntas:

$$E_H = \frac{100 \cdot E_P}{D} \quad (27)$$

Exempel 1

Dagsljusfaktorn på ett arbetsbord 1 m innanför ett fönster är 10 %. Belysningsstyrkan bör vara minst 500 lux för arbetet. För att uppnå detta måste belysningsstyrkan ute vara minst

$$E_H = \frac{100 \cdot 500}{10} = 5\,000 \text{ lux} = 5 \text{ klux}$$

Antag att huset är beläget i Lund och FIGUR 22 a gäller. Från ungefär 2 timmar efter soluppgång till 2 timmar före solnedgång räcker dagsljuset till. Det innebär då att elljus inte behövs under normal arbetstid mellan april och september. Under årets mörkaste period måste belysningen i allmänhet vara tänd 6–7 timmar per dag.

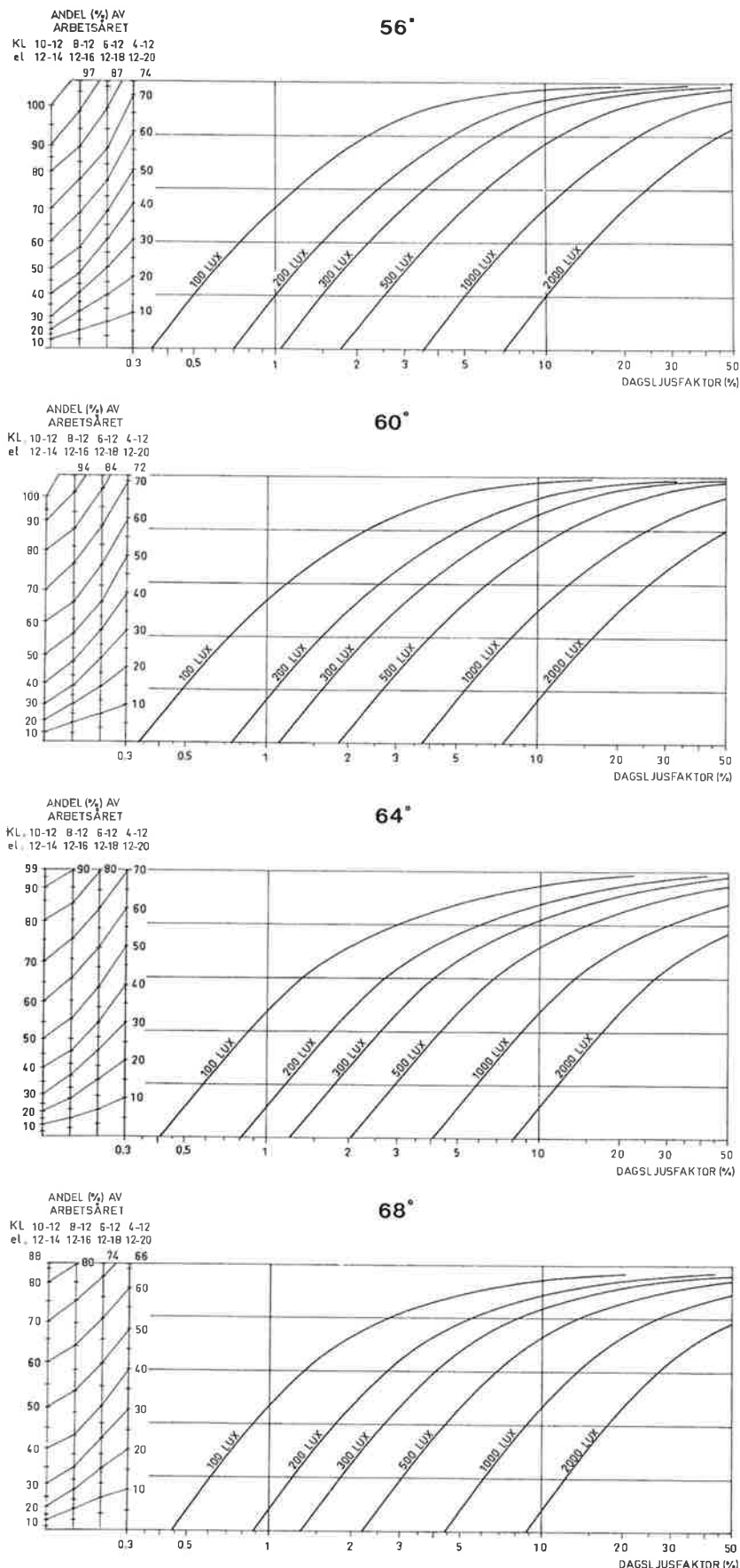
Exempel 2

Längre in i ett rum är dagsljusfaktorn D lägre. På 3 m avstånd från ett relativt stort fönster kanske D bara är 2,5 %. Om man vill nå 500 lux blir resultatet

$$E_H = \frac{100 \cdot 500}{2,5} = 20\,000 \text{ lux} = 20 \text{ klux}$$

Är huset beläget i Umeå kan FIGUR 22 c användas. Figuren visar att dagsljuset kan väntas ge önskad belysningsstyrka någon del av dagen endast från maj till en bit in i augusti och som längst vid midsommar från kl 9 till 15.

Tiderna i exemplen är medelvärden och vissa dagar har man mer dagsljus och andra mindre, vilket illustreras av de stora spridningarna i FIGUR 6, del I.



FIGUR 24 Andel i procent av arbetsåret som en önskad belysningsstyrka kan uppnås inomhus på latituderna 56, 60, 64 och 68° vid given dagsljusfaktor. Arbetsdagen anges som 2, 4, 6 eller 8 timmar före eller efter klockan 12.

Vill man veta hur stor del av den totala arbetstiden dagsljuset räcker och hur stor del elljus måste vara tänt vid olika dagsljusfaktor och vid varierande krav på belysningsstyrka, kan man konstruera hjälpdiagram av den typ som illustreras i FIGUR 24. Figuren gäller mulet väder och är grundad på formel 9.

Figuren visar för olika latituder hur stor del av arbetstiden en önskad belysningsstyrka kan uppnås vid valfri dagsljusfaktor. Arbetstiden är angiven i olika långa tider per dag, räknat från kl 12 för att man ska kunna göra beräkningar för valfri arbetstid. Figurens begränsning är att den inte tar hänsyn till avbrott i arbetsåret, t.ex. sommarsemester, utan är konstruerad för hela år. Hur man kan göra för att ta hänsyn till avbrott som semester framgår av ett senare exempel.

Exempel 3

Antag att arbetstiden är 08–17 i ett rum där man önskar 500 lux på bordet. Dagsljusfaktorn D är 2,5 %. Orten ligger på en latitud ca 60°N. Hur stor del av arbetsåret kan dagsljuset ge minst 500 lux på arbetsbordet?

Diagrammet för 60° i FIGUR 24 används. Arbetstiden delas i två delar, 8–12 och 12–17. För tiden 8–12 finner man att 500 lux vid D = 2,5 % uppnås ca 23 % av tiden. För 12–17 får man interpolera mellan 12–16 och 12–18 och får värdet ca 18 %. För att få den andel av året som dagsljuset räcker mellan kl. 8 och kl. 17 måste procentalen vägas samman i proportion till det antal timmar de gäller:

$$\frac{4 \cdot 0,23 + 5 \cdot 0,18}{9} = 0,202$$

Mulen himmel ger således under 20 % av arbetsåret en belysningsstyrka av minst 500 lux i det aktuella fallet. I sydligaste Sverige, latitud 56°N, blir motsvarande andel 26 % och längst i norr, latitud 68°N, endast 9 %.

Hade man nöjt sig med 300 lux som arbetsbelysning skulle dagsljuset räckt till under 48 % av arbetsåret vid latitud 60°N:

$$\frac{4 \cdot 0,51 + 5 \cdot 0,16}{9} = 0,482$$

Ett annat sätt att beräkna den tid dagsljuset kan väntas uppgå till ett önskat värde är att utgå från tidigare presenterade formler och beräkna den belysningsstyrka utomhus E_H som krävs. Formel 27 ger:

$$E_H \geq \frac{100 \cdot E_p}{D}$$

I diagram över belysningsstyrkan utomhus vid mulen himmel, FIGUR 22, ritas arbetsåret in

liksom kurvan för beräknad E_H . Ytan innanför E_H jämförs med ytan innanför arbetsåret. Kvoten mellan dem ger den andel av arbetsåret som dagsljuset minst kan förväntas ge önskad belysningsstyrka. Ytorna kan mätas direkt med en planimeter eller också kan man rita kurvorna på millimeterrutat papper och räkna rutor.

Fördelen med denna metod jämfört med den i exempel 3 är att man kan ta hänsyn till avbrott i arbetsåret, t.ex. på grund av semesterstängning och liknande.

Exempel 4

Samma förhållanden som exempel 3 gäller men ett semesteruppehåll 1/7 – 28/7 och julstängt 24/12 – 6/1 har lagts in. Med $E_p \geq 500$ lux och $D = 2,5\%$ blir

$$E_H \geq \frac{500 \cdot 100}{2,5} = 20\,000 \text{ lux} = 20 \text{ klux}$$

I FIGUR 25 har arbetsåret och kurvan 20 klux ritats in med utgångspunkt från FIGUR 22 b. Med planimeter blir förhållandet mellan ytorna

$$\frac{A_{E>20}}{A_{\text{total}}} = \frac{1,44}{8,51} = 0,17$$

Genom att räkna rutor erhålls förhållandet

$$\frac{A_{E>20}}{A_{\text{total}}} = \frac{14,34}{86,13} = 0,17$$

Dagsljuset räcker således ungefär 17 % av arbetstiden. Under delvis soliga dagar räcker dagsljuset troligen längre.

Om hela året räknas för att jämförelse ska kunna göras med exempel 3 blir förhållandet mellan ytorna

$$\frac{A_{E>20}}{A_{\text{total}}} = \frac{19,34}{97,20} = 0,199 = 0,20$$

vilket stämmer väl överens med resultatet i exempel 3.

Vid en belysningsstyrka av 300 lux är E_H lika med 12 klux, vilket är en kurva som interpolerats fram mellan 10 och 15 klux i FIGUR 22 b. Förhållandet mellan ytorna blir

$$\frac{A_{E>12}}{A_{\text{total}}} = \frac{46,34}{97,20} = 0,477 \approx 0,48$$

vilket trots den ungefärliga beräkningen stämmer mycket väl överens med värdet i exempel 3.

Osäkerheten är stor i alla beräkningar av denna typ, då spridningen i belysningsstyrkor är stor även vid mulen himmel. I FIGUR 6, del I, har standardavvikelsen ritats in för några av värdena. Den uppgår till ca 50 % för de flesta solhöjder och är oftast större vid låga solhöjder.

Om man studerar ett helt år blir avvikelserna troligen inte så stora som spridningen vid enstaka solhöjder antyder, eftersom man kan förvänta sig avvikelser åt båda hållen från den genomsnittskurva som ligger till grund för diagrammen i exemplen.

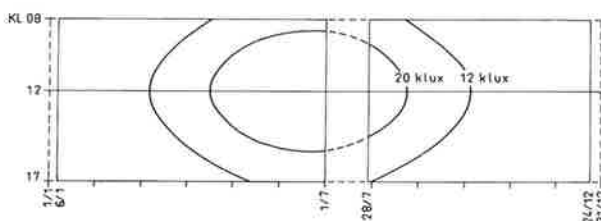
Lokala avvikelser i klimatet förekommer ofta för orter på samma latitud. För samma ort finns vanligen också en skillnad i molnighet mellan för- och eftermiddag. Detta påverkar soltidens fördelning, men kan också inverka på belysningsstyrkan vid mulen himmel beroende på skillnader i molntäckets tjocklek och typ.

FIGUR 23 visar denna osymmetri för Stockholm. Eftersom vissa soliga timmar ingår i figurens basmaterial (dagar med högst 25 % soltid), får man ett högre värde på den del av året som dagsljuset räcker. T.ex. finner man med samma utgångsvärden som i exempel 4, att dagsljuset räcker ca 30 % av året i stället för 17 %.

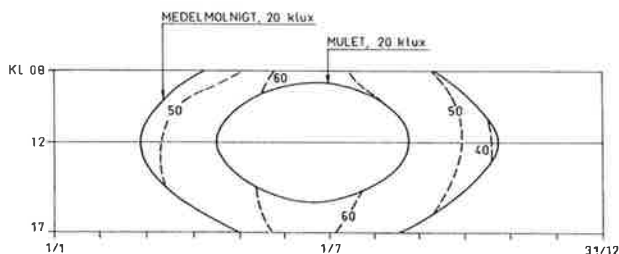
Om man som tidigare nämnts vågar anta att begreppet dagsljusfaktor på ett ungefär kan användas även vid medelmolnig himmel blir resultatet för exempel 3 med användande av FIGUR 21 b i stället

$$\frac{A_{E>20}}{A_{\text{total}}} = \frac{54,12}{97,20} = 0,56$$

Skillnaden mellan 56 % och tidigare funna 20 % anger en osäkerhet, som eventuellt kan minskas om man tar hänsyn till sannolikheten för solsken under den del av året som motsvarar ytan 56 – 20 = 36 % i diagrammet över arbetsåret.



FIGUR 25 Beräkning av den del av arbetsåret som dagsljusbelysningen räcker enligt exempel 4. Arbetsår och belysningsstyrkor utomhus är inritade från FIGUR 22 b.



FIGUR 26 Beräkning av den del av arbetsåret som dagsljusbelysningen kan förväntas räcka enligt exempel 5. Arbetsår och kurvor över belysningsstyrkor utomhus är inritade från FIGUR 21b och 22b. De streckade kurvorna anger sannolikheten för solsken i procent för latitud 60° enligt FIGUR 18.

TABELL 4 Andel av arbetstiden i procent som dagsljuset räcker enligt exempel 4 och 5 samt FIGUR 26.

Månad	Vid mulen himmel A	Vid medel- molnig himmel B	Sol- sannolikhet % C	Vägning med hänsyn till kolumn C $A + \frac{C(B-A)}{100}$
Januari	0	0	—	0
Februari	0	2	50	1
Mars	0	56	50	28
April	14	92	55	57
Maj	57	100	60	83
Juni	72	100	65	90
Juli	62	100	60	85
Augusti	27	99	55	67
September	0	79	50	40
Oktober	0	25	45	11
November	0	0	—	0
December	0	0	—	0
Medeltal per år	19	54	—	38,5

Exempel 5

I FIGUR 26 har kurvorna för 20 klux vid mulet respektive medelmolnigt väder ritats in för ett arbetsår med arbetstid kl. 08–17, enligt exempel 4. De streckade linjerna visar sannolikheten för solsken vid latitud 60° enligt FIGUR 18 för den del av arbetsåret, då mulet väder ger för lite dagsljus men medelmolnigt himmel tillräckligt. En grov uppskattning blir att sannolikheten för solsken är ca 55 % inom den aktuella delen av figuren. Med de reservationer som gjorts ovan skulle en mer realistisk bedömning av den tid dagsljuset räcker till bli ca 40 % enligt följande uträkning:

$$0,20 + 0,55 \cdot (0,56 - 0,20) \approx 0,40$$

Tolkningen av detta resultat och exempel 4 är att dagsljuset i medeltal räcker minst 20 % av arbetsåret i alla rum oberoende av orientering. Man kan dock vänta sig att det räcker närmare 40 % av arbetsåret, åtminstone i rum som vetter mot soliga väderstreck.

Naturligtvis kan man också analysera delar av år i FIGUR 26. I TABELL 4 har en sådan uppdelning gjorts månadsvis med en enkel uppskattning av ytornas storlek. Sannolikheten för sol har också angivits månadsvis för ytan mellan kurvorna för mulen respektive medelmolnigt himmel. Slutligen har skillnaden mellan kolumn A och B vägts med hänsyn till solsannolikheten i kolumn C. Som tabellen visar överensstämmer resultaten väl med dem som tidigare erhållits.