



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

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



**Rapport**

**R43:1975**

# **Fönster som energifaktor**

**Folke Hagman**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

# Fönster som energifaktor

Isolerande fönsterluckor — termisk funktion

## Folke Hagman

Försörjningen med dagsljus har varit fönstrens ursprungliga och hittills viktigaste uppgift. Tillskotten av solvärme har betraktats som mer besvärande än önskvärda. Energikrisen väckte intresse för möjligheten att utnyttja fönster som solfångare under dagen och minska de relativt betydande värmeförlusterna under natten med t ex isolerande fönsterluckor. Dessa kan därvid ge även andra fördelar såsom bättre bullerskydd.

Inledningsvis analyseras fönsters termiska funktioner, utan och med isolerande luckor. Med stöd av datorberäknade energiflöden, för olika väderstreck och latituder, belyses de studerade alternativen betydelse för fastigheters och för landets energiförsörjning. Avslutningsvis illustreras de fastighetsekonomiska konsekvenserna med diagram som visar hur lönsamheten påverkas av bl a energipris och luckornas kostnad.

Fönster fyller delvis motstridiga funktioner. De ger skydd mot omgivningen — mot klimatets växlingar, mot buller, luftföroreningar och intrång. Men fönster skall också ge kontakt med omgivningen — släppa in ljus, ge utblick, möjligheter till ventilation och vädring. Fönster bör m a o fungera som reglerbara filter för flöden av skilda slag.

Försörjningen med dagsljus har varit fönstrens viktigaste uppgift. Oljekrisen väckte emellertid intresse för möjligheterna att mer rationellt tillvarata solvärmen för uppvärmning av byggnader. Därvid har tanken framförts att utnyttja fönster som "solfångare" under dagen och minska de relativt stora värmeförlusterna under natten med isolerande fönsterluckor.

### Avsikt

Forskningsprojektets huvudsyften har varit att

- kartlägga och strukturera problemområdet med hänsyn till relevanta faktorer.
- klarlägga behovet av ökad kunskap inom problemområdet.
- med stöd av beräkningsexempel belysa termiska och ekonomiska konsekvenser av studerade alternativ.
- ge stöd för tekniskt utvecklingsarbete.

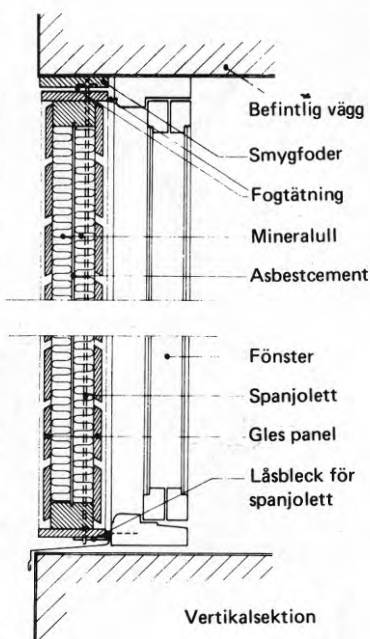


FIG. 1. Utvändiga isolerande fönsterluckor. Principskissen avser luckor monterade i efterhand (på befintligt hus). Vid nyproduktion sammanverkas lämpligen luckor och fönster.

### Metod

Vid beräkning av värmeflöden genom fönster tar man vanligen hänsyn endast till transmission genom själva fönstret (glas, bågar, karm). Luftläckage genom springor (bågar/karm, karm/vägg) betraktas som ofrivillig ventilation och ev randflöden ("smygförluster") får belasta väggens transmissionskonto.

För byggnadens totala energibalans har det ingen betydelse hur man fördelar energiflödena. Med isolerande fönsterluckor (se FIG 1) påverkas emellertid inte bara transmissionen utan även luftläckage och randförluster. Vidare påverkas fönstrets invändiga yttemperatur, därmed även rumsklimatet.

Som samlande begrepp för energiflöden genom fönster används i rapporten modifierade värmegenomgångskoefficienter med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning ( $k_{t,l,s}$ ).

Vid beräkning av fönsterluckors termiska effekt förutsätts, med stöd av bl a

# Byggeforskningen Sammanfattningar

## R43:1975

Nyckelord:

fönster, termisk funktion, fönsterluckor, energifaktor, värmeisolering, ekonomisk bedömning

Rapport R43:1975 hänför sig till forskningsanslag 730468-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Folke Hagman, Skövde.

UDK 69.028.2  
69.028.3  
697.003  
SfB (56) X  
ISBN 91-540-2467-6

Sammanfattning av:

Hagman, F, 1975, *Fönster som energifaktor. Isolerande fönsterluckor — termisk funktion*, (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R43:1975, 71 s., ill. 18 kr exkl moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk översättning.

Distribution:

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

Grupp: installation

anförda referenser,  $k_{t, l} = 4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  som sannolikt genomsnittsvärde för fönster i det befintliga byggnadsbeståndet (utan hänsyn till instrålningen). En datorberäkning har utförts även för  $k_{t, l} = 3,0$  som antas gälla för relativt nya, väl tätade 2-glasfönster. Med stängda fönsterluckor förutsätts  $k=0,7$  med stöd av utförda laboratorie- och fältmätningar.

Analysen av de termiska funktionerna omfattar även inverkan på rumsklimatet. Mätningar och beräkningar visar att luckorna normalt ger en temperaturhöjning på fönstrets insida med 4 å 5 °C, vid extremt låg utetemperatur upp till ca 10 °C. Därmed höjs och utjämnas också operativ temperatur med gynnsam återverkan på rumsklimatet. Beräkningarna ger *nettoenergiflöde* (energialsaldo) d v s summan av förluster (transmission, luftläckage) och genom fönstret transmitterad total instrålning i kWh/m<sup>2</sup> och månad (glasad yta). Beräkningarna avser latituderna 56°, 59° och 66° (Malmö, Stockholm, Luleå), åtta fönsterriktningar och följande alternativ.

**Alt. 1** Fönsterluckor *alltid stängda* (ingen instrålning). Detta motsvarar från energisynpunkt en vägg med samma värmemotstånd som fönster + luckor eller  $k=0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  vilket ungefär torde motsvara genomsnittligt värde för ytterväggar i befintligt byggnadsbestånd.

**Alt. 2** Luckor *aldrig stängda* (dekoration).  $k_{t, l} = 4,0$  alternativt  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Alt. 3** Luckor *stängda på natten*. Mer preciserat, luckor öppna kl 08–22, när det finns förutsättning att få in direkt solstrålning (när solen kan lysa på fasaden). Med denna förutsättning kan luckorna vara öppna även under perioder då värmeförlusterna är större än värmevinsten genom instrålning.

**Alt. 4** Luckor *stängda när detta ger energivinst*, m a o när förlusterna

(transmission, luftläckage) är större än instrålningen. Ur energisynpunkt innebär detta optimal användning av luckorna. Fönstrets resulterande k-värde,  $k_{t, l, s}$  blir alltid  $\leq 0,7$  (stängda luckor).

**Anm.** Enligt gängse definition betyder positiva energiflöden, t ex k-värden, värmeförlust. Negativa följaktligen värmevinst.

Tabellen visar energibesparing eller värmevinst (kWh/m<sup>2</sup> år) med isolerande fönsterluckor vid jämförelse alt. 2 och 4 enligt datorberäkning. Värdena för öster/väster kan betraktas som medelvärden. Procentuell vinst  $\dot{O}/V = (\text{alt. 2} - \text{alt. 4}) / \text{alt. 2}$ . Fönstrets k-värde =  $4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . För  $k = 3,0$  blir energivinsten 65 å 70 % av tabellens värden.

Ort	Norr	Söder	Öster/Väster
Luleå (66°)	449	395	426 = 90 %
Stockholm (59°)	333	280	311 = 115 %
Malmö (56°)	292	248	273 = 124 %

FIG. 2 visar fönsterorienteringens betydelse för fönsters värmebalans. För Stockholm gäller t ex att energiförlusten för enbart fönster ( $k=4,0$ ) mot norr är mer än 3 ggr så stor som förlusten mot söder (412 resp. 128). Även med fönsterluckor (alt.4) får man viss förlust i norr (79) men vinst i söder (152). Alt. 4 ger värmeöverskott i Stockholm och Malmö för riktningar utom NO, NV och N.

Det framgår av FIG. 2 att alt. 4 i varje väderstreck är gynnsammare än alt. 1 som i sin tur är gynnsammare än alt. 2 ( $k=4,0$ ). Detta förhållande ändras inte nämnvärt om jämförelsen gäller yttervägg med k-värde 0,35 i stället för 0,7.

Man finner vidare att isolerande luckor, ur energiekonomisk synpunkt, alltid kunde vara stängda (även mot söder) under december i Malmö och Stockholm. Därtill under november och januari i Luleå, m a o värmeförlusterna är då – även mitt på dagen – större än instrålningen.

Utom månadsvärden för nettoenergiflöden ger datoranalysen även motsvarande specifika flöden, d v s *resulterande k-värden* med hänsyn både till förluster och instrålning (månadsmedelvärden). För alt. 1 samt alt. 3 och 4 gäller  $k=0,7$  vid stängda luckor. I övrigt varierar resulterande k-värdet från +4,0 (Luleå, alt. 2, dec.) till -6,8 (Malmö, alt. 4, sept.).

## Resultat

Med stöd av datorberäkning bedöms möjlig *besparing* med isolerande luckor uppgå till ca 10 MWh/år för ett ordinarie småhus och ca 4 MWh/år för lägenhet i hyreshus (jämf. alt. 2 och 4.). Med valda förutsättningar kan detta betraktas som genomsnittsvärden för beståndet av bostadshus och liknande lokaler.

Med energiprognosutredningens värden för genomsnittlig energiåtgång (brutto) för uppvärmning – småhus ca 40, lägenhet ca 20 MWh/år – blir procentuell besparing med luckor för småhus ca 25 % och för lägenhet ca 20 %.

Med uppskattad total fönsteryta  $100 \times 10^6 \text{ m}^2$  i landets uppvärmda lokaler erhålls en teoretiskt möjlig *energivinst*  $\approx 30 \text{ TWh/år}$ . Om hälften av fönsterytan i befintligt byggnadsbestånd förses med isolerande komplettering, successivt under tio år, liksom hälften av fönsterytan i tillkommande lokaler blir energivinsten ca 2,5 TWh under periodens första år med ackumulerande verkan.

Vid beräkning av motsvarande, teoretiskt möjliga *effektivt* kan man bortse från instrålningen och ta hänsyn endast till skillnad i k-värde för 2-glasfönster utan och med isolerande luckor. Man får för ett ordinarie småhus effektbesparingen  $\approx 2,6 \text{ MW}$  och för hälften av lokalbeståndets fönster 6,6 TW.

Avslutningsvis illustreras de fastighetsekonomiska konsekvenserna med beräkningsexempel. Dessa visar sambandet mellan *förräntning* (viss amorteringstid), resp *amorteringstid* (viss räntesats) samt läge (latitud), fönsterorientering, energipris och luckornas kostnad.

I samband med den ekonomiska bedömningen uppmärksammas problemet att värdera även andra nyttoeffekter än energi- och effektivtvinster, t ex ökat bullerskydd och intrångsskydd.

Energisparande är emellertid inte bara en fastighetsekonomisk angelägenhet. Åtgärder för bättre energihushållning bör bedömas i ett vidare och längre perspektiv där begrepp som försörjningsberedskap, resurshushållning och miljövård ger vidgad innebörd åt begreppet "lönsamhet".

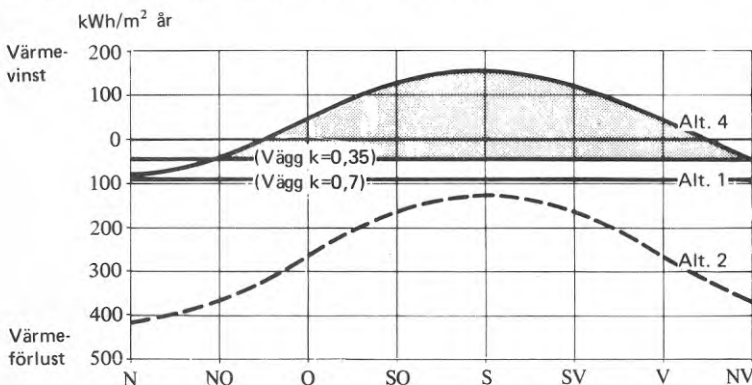


FIG. 2. Fönsterorienteringens inverkan på värmebalansen ( $E_{t, l, s}$ ) för fönster utan luckor (alt. 2) resp. med luckor (alt. 4). För jämförelse visas även kurvor för vägg med k-värdet 0,7 (alt. 1) och 0,35 W/m<sup>2</sup>K. Kurvorna avser årsvärden för Stockholm (latitud 59°).

# The window as an energy factor

Insulating shutters — function construction, economy

Folke Hagman

The provision of daylight has been the original and so far most important function of the window. The addition of solar heat has mostly been considered undesirable rather than desirable. The energy crisis aroused interest for the possibility to utilize the window as a solar collector during the day, reducing the relatively considerable heat losses during the night with e.g. insulating window shutters. These can even give other advantages such as improved noise protection.

To begin with the thermal functions of the window were analysed, both with and without insulating shutters. With the aid of computer calculated energy flows for various points of the compass and latitudes, is illustrated the importance of the studied alternatives for properties and the country's energy supply. In conclusion is illustrated the property-economic consequences with diagrams showing how profitability is effected by among other things, energy price and the cost for insulated shutters.

The window has partially opposing functions. It gives protection against the environment, against climatic variations, noise, air pollution and encroachment. But the window also gives contact with the environment, lets in light, gives a view and provides a possibility for ventilation and airing. The window ought in other words act as an adjustable filter for flows of different sorts. The provision of daylight has been the most important function of the window. The oil crisis yet aroused interest for the possibility of utilizing solar heat for the heating of buildings in a more rational manner. Thereby has arisen the idea of utilizing the window as a solar collector during the day, and to reduce the relatively large heat losses during the night, with e.g. insulating window shutters.

## Intention

The main objective of the research project has been to

- chart and breakdown the problems with regard to relevant factors,
- chart the need for increased knowledge within the problem area,
- with the aid of calculation examples illustrate the thermal and economic consequences of the studied alternatives,
- give support for technical development activities.

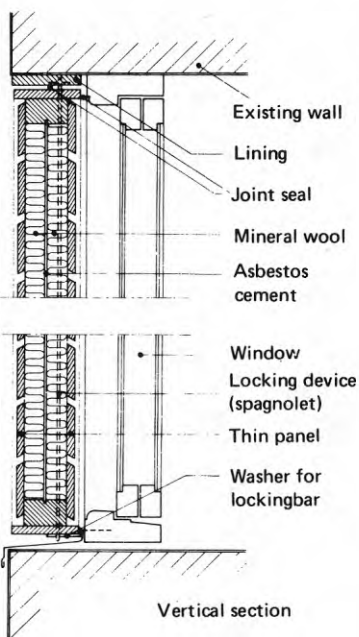


FIG. 1. Externally insulating window shutters. The outline diagram applies for shutters mounted as additional equipment.

## Method

When calculating the heat flow through a window one usually takes consideration only to conductivity through the window itself (glass, frame and casement). Air leakages through gaps (frame/casement, casement/wall) are considered as involuntary ventilation and as boundary flows, (creepage losses) and are attributed to the wall's conductivity loss account.

For the total energy balance of the building it has no significance how one distributes the energy flows. With insulating window shutters (see FIG. 1) it is not only the conductivity which is effected, but also, when the shutters are closed, air leakages and boundary losses. In addition the internal surface temperature of the window is effected and thereby even the operational temperature and room climate. As a collective expression for the energy flow through a window, modified thermal conductivity coefficients are used in the report with regard to conductivity, air leakage and incoming radiation ( $k_{t,i,s}$ ).

## National Swedish Building Research Summaries

R43:1975

### Key words:

windows, thermal property, shutters, energy factor, insulating property, economy evaluation

Report R43:1975 refers to Grant 730468-1 from the National Swedish Council for Building Research to Folke Hagman, Skövde.

UDC 69.028.2  
69.028.3  
697.003  
SfB (56) X  
ISBN 91-540-2467-6

### Summary of:

Hagman, F. 1975, *Fönster som energifaktor. Isolerande fönsterluckor — termisk funktion*. The window as an energy factor. Insulating shutters — function, construction, economy. (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Report R43:1975, 71 pp., ill. Sw Cr. 18.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

### Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403  
S-111 84 Stockholm  
Sweden

When calculating the thermal effect of window shutters it is assumed that, based upon among other things, stated references,  $k_{t,i} = 4.0 \text{ W/m}^2\text{K}$  as a probable approximate average value for the window in existing buildings (without consideration to incoming radiation). A computer calculation has been carried out even for  $k_{t,i} = 3.0$  which is assumed to apply for relatively new, well sealed, double glazed windows. With closed window shutters it is assumed that  $k = 0.7$ , based upon laboratory and field observations.

The analysis of the thermal functions even cover the effect upon room climate. Observations and calculations show that shutters normally raise the temperature by up to  $10^\circ\text{C}$ . Thus the operative temperature is raised and evenly distributed with favourable effect upon room climate. Computer calculations give a *net energy flow* (energy balance) that is to say, the sum of the losses (conductivity, air leakage) and the total radiation through the window in  $\text{kWh/m}^2$  and month (glazed surface). The calculations apply for latitudes  $56^\circ$ ,  $59^\circ$ , and  $66^\circ$  (Malmö, Stockholm and Luleå), eight window directions and the following alternatives.

**Alt. 1** Window shutters always closed (no radiation). This from the energy point of view is equivalent to a wall with the same thermal resistance as a window plus shutter, or  $k = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$  which should be approximately equivalent to the average value for outer walls in existing buildings (heated premises).

**Alt. 2** Shutters never closed (only decorative)  $k_{t,i} = 4.0$  alt.  $3.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Alt. 3** Shutters closed at night. To be precise, shutters open between 8 a. m. and 10 p. m. when there are prospects for direct solar radiation (when the sun can shine on the facade). Under these conditions the shutters can even be open during periods when heat losses are greater than heat increases due to incoming radiation.

**Alt. 4** Shutters closed when energy increases can be obtained, in other words

when the losses (conductivity, air leakages) are greater than the incoming radiation. From the energy point of view this means an optimum utilization of the shutters. The resulting  $k$ -value for the window is always  $\leq 0.7$  (closed shutters). *Note.* According to accepted definition a positive energy flow, e.g.  $k$ -value, means heat loss. Negative consequently means heat gain.

The table shows the energy saved or the heat gain ( $\text{kWh/m}^2/\text{year}$ ) with insulating window shutters when comparing alt. 2 and alt. 4 according to computer calculations. The values obtained for East/West can be considered as average values. The percentage gain  $E/W = (\text{alt. 2} - \text{alt. 4}) / \text{alt. 2}$ . The  $k$ -value for the window  $= 4.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . For  $k = 3.0$  the energy gain will be 65 to 70 % of the tabulated values.

Locality	North	South	East/West	
Luleå ( $66^\circ$ )	449	395	426	= 90 %
Stockholm ( $59^\circ$ )	333	280	311	= 115 %
Malmö ( $56^\circ$ )	292	248	273	= 124 %

FIG. 2. shows the importance of window direction for the heat balance of the window. For Stockholm it is applicable that e.g. the energy loss for windows alone ( $k = 4.0$ ) facing north is more than three times as great as the loss for windows facing south ( $412$  resp.  $128$ ). Even with window shutters (alt. 4) a certain loss is obtained ( $79$ ) but a gain is obtained when facing south ( $152$ ). Alt. 4 gives a heat excess in Stockholm and Malmö for all directions other than NE, NW and N.

It can be seen from FIG. 2 that alt. 4 in all directions is more favourable than both of alt. 1 and alt. 2 ( $k = 4.0$ ). This relationship does not change to any great extent if the comparison is applied for outer walls with a  $k$ -value of  $0.35$ .

It is also found that from the energy point of view, insulating shutters could always be closed (even when facing south) during December in Malmö and Stockholm, and also during November and January in Luleå, in other words the heat losses are then, even in the

middle of the day, greater than the incoming radiation.

In addition to the monthly values for energy flow, the computer analysis gives the equivalent specific flow, i.e. the *resulting  $k$ -value* with regard to both the losses and the radiation (average monthly values). For alt. 1, alt. 3 and alt. 4 the applicable  $k$ -value  $= 0.7$  with closed shutters. In general the resulting  $k$ -value varies from  $+4.0$  (Luleå alt. 2, Dec) to  $-6.8$  (Malmö, alt. 4, Sept).

## Results

With the aid of computer calculations the possible *saving* due to insulating shutters is estimated to be approximately  $10 \text{ MWh/year}$  for an ordinary house and approximately  $4 \text{ MWh/year}$  for an apartment (compare alt. 2 and alt. 4). With chosen conditions it should be possible to consider these as average values for existing houses.

Using the official values for the average energy consumption (gross) for heating houses of approximately  $40 \text{ MWh/year}$ , and for apartments approximately  $20 \text{ MWh/year}$ , the percentage saving with shutters is, for houses approx. 25 % and for apartments approx. 20 %. With an estimated total window surface  $100 \times 10^6 \text{ m}^2$  in the country's heated premises, one can obtain the theoretically possible *energy saving*  $\approx 30 \text{ TWh/year}$ . If half the window surfaces in existing buildings are provided with additional insulation successively during a period of 10 years, and half the window surfaces in new premises, the saving in energy approx.  $2.5 \text{ TWh}$  during every year of this period.

When calculating the equivalent theoretically possible *saving in power* one can ignore radiation and only give consideration to the difference in  $k$ -values for double glazed windows, with and without insulating shutters. For an ordinary house one obtains a saving in power approx.  $2.6 \text{ MW}$ , and for half the windows in the premises  $6.6 \text{ TW}$ .

In conclusion the property-economic consequences can be illustrated with calculation examples. These show the relationship between *the interest* (for a certain depreciation time) resp. *the depreciation time* (with a certain rate of interest) plus position, (latitude) window direction, energy price and plant costs.

Whilst carrying out the economic evaluation the problem of determining positive effects other than saving in energy and power was noted, e.g. increased noise protection and protection against trespassing.

Energy saving is however not only a property-economic concern. Actions for better energy conservation should be judged on a wider and longer perspective, where expressions such as power supply planning, economic management and environmental planning, give a wider meaning to the expression "profitability".

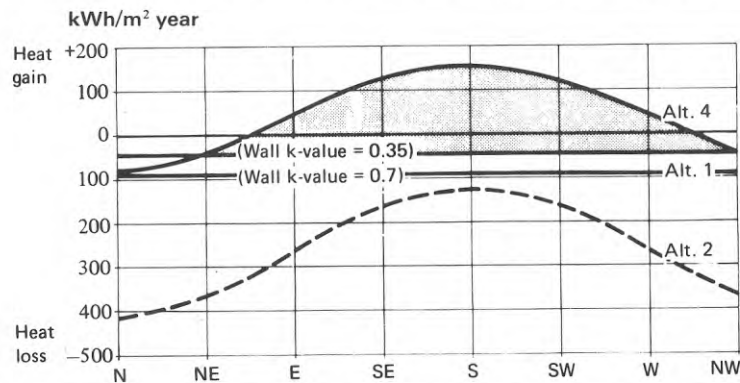


FIG. 2. The effect of the window's directional position on the thermal balance ( $E_{t,1,2}$ ) for windows with or without shutters (alt. 2) resp. with shutters (alt. 4). For comparison curves are also shown for walls with a  $k$ -value  $= 0.7 \text{ W/m}^2$  (alt. 1) and  $0.35 \text{ W/m}^2$ . The curves represent annual values for Stockholm (latitude  $59^\circ$ ).

Rapport R43:1975

FÖNSTER SOM ENERGIFAKTOR

Isolerande fönsterluckor - termisk funktion

Folke Hagman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730468-1 från  
Statens råd för byggnadsforskning till civilingenjör Folke Hagman,  
Skövde.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

ISBN 91-540-2467-6

LiberTryck Stockholm 1975



## INNEHÅLL

FÖRORD	5
INLEDNING	7
1 FYSIKALISK BAKGRUND	11
1.1 Definitioner och begrepp	11
1.2 Dagsljus	11
1.3 Solvärme	13
2 FÖNSTERS TERMISKA FUNKTIONER	14
2.1 Beteckningar och definitioner	14
2.2 Motivering för valda definitioner	15
2.3 Transmission	16
2.4 Randförluster	16
2.5 Luftläckage	16
2.6 Instrålning	19
3 ISOLERANDE FÖNSTERLUCKOR	23
3.1 Konstruktion	23
3.2 Egenskaper	26
3.3 Termiska funktioner	27
3.3.1 Allmänna förutsättningar	27
3.3.2 Inverkan på värmeåtgång	27
3.3.3 Inverkan på rumsklimat	29
4 DATORBERÄKNING AV INSTRÅLNING GENOM FÖNSTER	34
4.1 Allmänna förutsättningar	34
4.2 Genomsnittlig instrålning	35
4.3 Beräkningsfall	37
4.3.1 Beteckningar och förutsättningar	37
4.3.2 Beräknade alternativ	38
4.3.3 Resultterande energiflöde	39
4.4 Sammanfattning och slutsatser	46

5	FÖNSTERLUCKOR SOM ENERGIFAKTOR	50
5.1	Fönsters betydelse för energiåtgången	50
5.2	Energibesparing med fönsterluckor	51
5.2.1	Statistiskt underlag	51
5.2.2	Energibesparing per lägenhet	52
5.2.3	Total energibesparing	53
5.2.4	Inverkan på dimensionerande effekt	54
6	EKONOMISK BEDÖMNING	56
6.1	Beteckningar och definitioner	56
6.2	Tekniska förutsättningar	56
6.3	Energipriset	57
6.4	Effektbesparing	58
6.5	Nyttoeffekter utöver energibesparing	58
6.6	Energivinst och lönsamhet - beräkningsexempel	59
7	DISKUSSION OCH SAMMANFATTNING	65
8	REFERENSER	70

## FÖRORD

Inom ramen för forskning kring "Fönster som energifaktor" analyseras i denna rapport möjligheterna att spara energi genom "tilläggsisolering" av fönster. Detta förutsätts ske med utvändiga isolerande fönsterluckor - ett utvecklingsprojekt som stöds av Styrelsen för teknisk utveckling, STU.

Analysen av fönsters termiska funktioner, utan och med isolerande luckor, grundas på datorberäkningar utförda av tekn.dr. Engelbrekt Isfält som även i övrigt bidragit med värdefulla synpunkter och granskning av manuskriptet.

Mätningar av fönsterluckornas isoleringseffekt har utförts vid Rockwoolbolagets forskningsstation i Skövde.

Skövde i februari 1975

Folke Hagman



## INLEDNING

Fönster fyller delvis motstridiga funktioner. De ger skydd mot omgivningen - mot klimatets växlingar, buller, luftföroreningar och intrång. Men skall också ge kontakt med omgivningen - släppa in ljus, ge utblick, möjligheter till ventilation och vädring. Fönster bör m a o fungera som reglerbara filter för flöden av skilda slag.

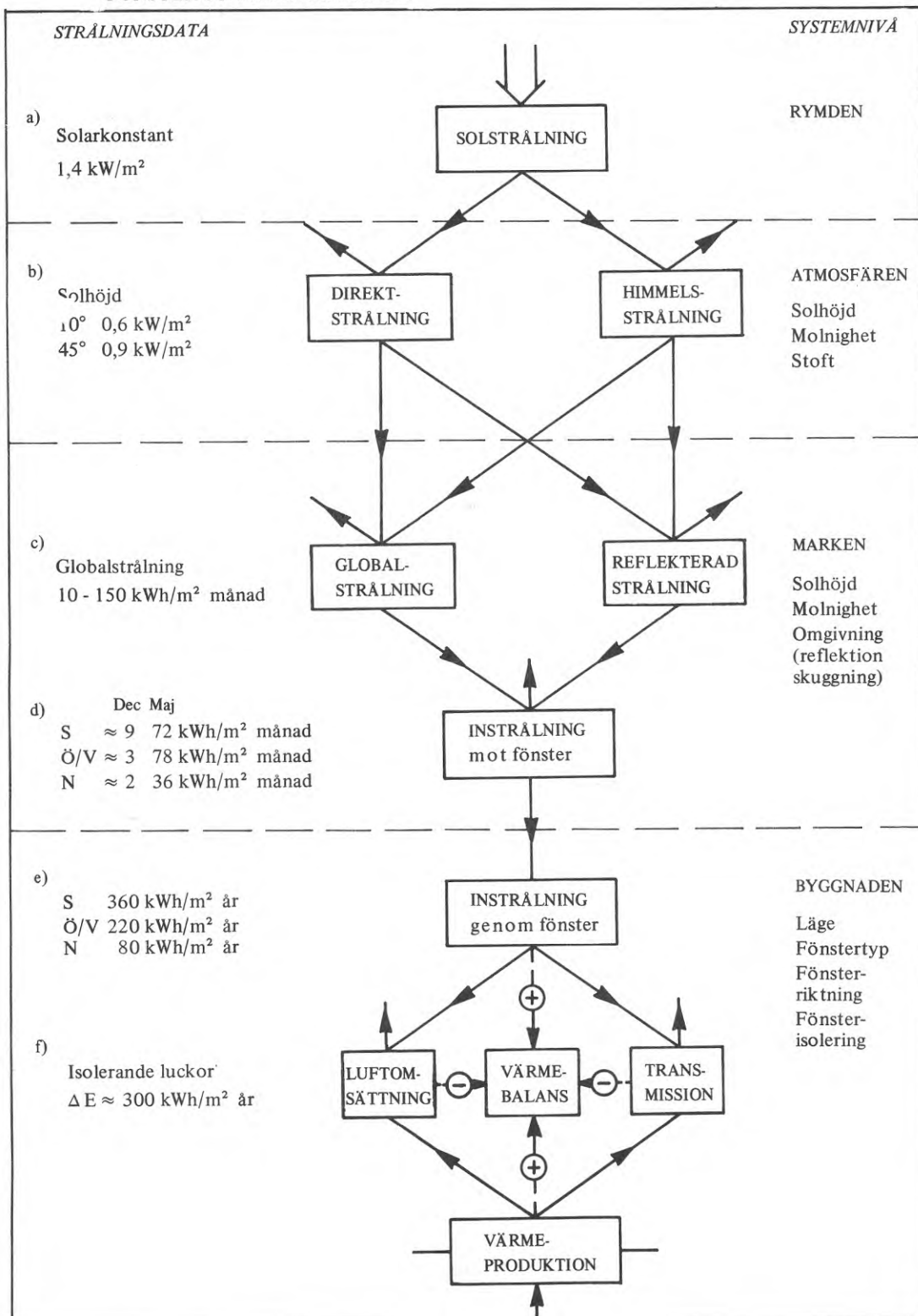
Försörjningen med dagsljus har varit fönstrens ursprungliga och hittills viktigaste uppgift. Tillskotten av solvärme har på det hela taget betraktats mer som besvärande än önskvärda. Oljekrisen har väckt intresse för möjligheterna att tillvarata solvärme och därmed minska energibehovet för uppvärmning av byggnader. Därvid har tanken framförts att utnyttja fönster som "solfångare" under dagen och minska de relativt betydande värmeförlusterna under natten med t.ex. isolerande fönsterluckor. Dessa kan därvid ge även andra fördelar såsom bättre buller-skydd.

Som grund för analysen diskuteras inledningsvis fönstrens termiska funktioner, utan och med isolerande fönsterluckor. Med stöd av datorberäknade energiflöden, för olika väderstreck och latituder, belyses de studerade alternativens betydelse för fastigheters och för landets energiförsörjning.

På en del punkter måste analysen grundas på delvis osäkra premisser. Det gäller fönsters verkliga (genomsnittliga) värmemotstånd och instrålning med hänsyn till lokala förhållanden. Osäkra faktorer är vidare värdet av andra nyttoeffekter än energibesparing (t.ex. bullerdämpning), prisutvecklingen för energi, framtida normer och krav på inomhusklimatet. Undersökningens huvudsyften har varit att

- o kartlägga och strukturera problemområdet med hänsyn till relevanta faktorer och uppställda mål
- o fastställa behov av ökad kunskap inom problemområdet
- o med stöd av räkneexempel belysa termiska och ekonomiska konsekvenser av studerade alternativ
- o ge underlag för tekniskt utvecklingsarbete.

## FÖNSTER SOM ENERGIFAKTOR



Schemat avser illustrera solstrålningens bidrag till byggnaders värmeförsörjning. Till vänster redovisas orienterande strålningsdata, till höger faktorer med inverkan på strålningsflödet inom respektive systemnivåer.

Kommentarer:

- a Solarkonstant = solstrålningens relativt konstanta intensitet utanför atmosfären ( $\perp$  strålningsriktningen).
- b Atmosfären (luftmolekyler, partiklar, vattendroppar) reflekterar och absorberar, alltefter solhöjden, mer eller mindre av solstrålningen. Angivna värden avser direkt strålning (ca 90 %) + himmelsstrålning  $\perp$  strålningsriktningen d.v.s. totala strålningens intensitet vid klart väder, nära markytan.
- c Globalstrålning = direkt solstrålning + himmelsstrålning mot horisontell yta, månadsvärden enligt SMHI. Intervallet anger gränsvärden för huvuddelen av landet under uppvärmningsperioden (sept. - maj). Under vintersäsongen svarar den diffusa strålningen för upp till 80 % av energitillskotten (dec. och jan.). Se vidare TAB. 1. Genomsnittligt får hela jordytan ca  $165 \text{ W/m}^2$ .
- d Instrålningen mot (vertikalt) fönster bestäms utom av globalstrålningen (vertikal komponent) även av reflekterad strålning från omgivningen. Intervallen anger strålningens genomsnittliga storlek vid latitud  $60^\circ$  för olika väderstreck och fri horisont. Marken antas reflektera 25% av globalstrålningen.
- e Instrålningen genom oskyddat 2-glasfönster, genomsnittligt för Stockholm under uppvärmningsperioden (Isfält, 1975). Markreflexion ökar värdena vid fri horisont, vid barmark med ca 10 %, vid snötäcke något mer. Gardiner och persienner kan avsevärt minska instrålningen.
- f Värmebalansen för byggnader bestäms i huvudsak av värmetillskott (värmeproduktion + instrålning) och värmeförluster (transmission + ventilation). Enligt utredningen ger isolerande luckor genomsnittligt en värmevinst = ca  $300 \text{ kWh/m}^2$  år, se vidare TAB. 3 och 4. Detta innebär t.ex. för Stockholm värmeöverskott ("positiv energibalans") under uppvärmningsperioden (sept. - maj) för fönster orienterade inom sektor NÖ - S - NV (FIG. 11).





## 1 FYSIKALISK BAKGRUND

### 1.1 Definitioner och begrepp

Man skiljer mellan direkt solstrålning och diffus strålning. Den senare omfattar dels strålning från himlavalvet (utanför solskivan), dels reflekterad strålning från marken och omgivningen i övrigt, t.ex. byggnader och träd.

Mot horisontell yta infallande direkt solstrålning och diffus himmelsstrålning utgör tillsammans globalstrålningen.

Vid strålning mot vertikal yta, t.ex. fönster, tillkommer reflekterad strålning från omgivningen. Globalstrålning (vertikal komponent) och reflekterad strålning utgör tillsammans total solinstrålning. (Vilket inte är detsamma som strålning transmitterad genom fönster).

Man har experimentellt bestämt det energiflöde,  $m$  a o den energimängd per tidsenhet, som träffar en mot solstrålningen vinkelrät yta utanför atmosfären. Denna solkonstant har uppmätts till omkring  $1,4 \text{ kW/m}^2$ . Jordatmosfären reflekterar och absorberar en del av solstrålningen framförallt kortvågig strålning (röntgen- och UV-strålning). Resten når alltså jordytan som direkt solstrålning och - spridd av atmosfären - som diffus strålning.

Den direkta solstrålningens intensitet på jordytan beror av solhöjden, atmosfärens klarhet och den mottagande ytans orientering (infallsvinkeln). Vid klart väder svarar den direkta strålningen (mot horisontell yta) för huvuddelen eller ca 9/10 av energiflödet. Den diffusa strålningen är, till följd av molnreflexer, betydligt större vid genomsnittlig molnighet än vid klart väder

### 1.2 Dagsljus

Den solenergi vi kan tillgodogöra oss i form av dagsljus omfattar en relativt liten del av den elektromagnetiska strålningen eller

våglängdsområdet från ca  $0,4 \mu\text{m}$  (violett) till ca  $0,8 \mu\text{m}$  (rött).  $1 \mu\text{m} = 1 \text{ mikrometer} = 10^{-6} \text{ m}$ . Dagsljuset når maximal intensitet vid  $0,5 \text{ \AA } 0,6 \mu\text{m}$  (FIG. 1), d.v.s. i ett område där också ögats känslighet är störst - ett exempel på biologisk anpassning och "naturens" effektiva utnyttjande av energin.

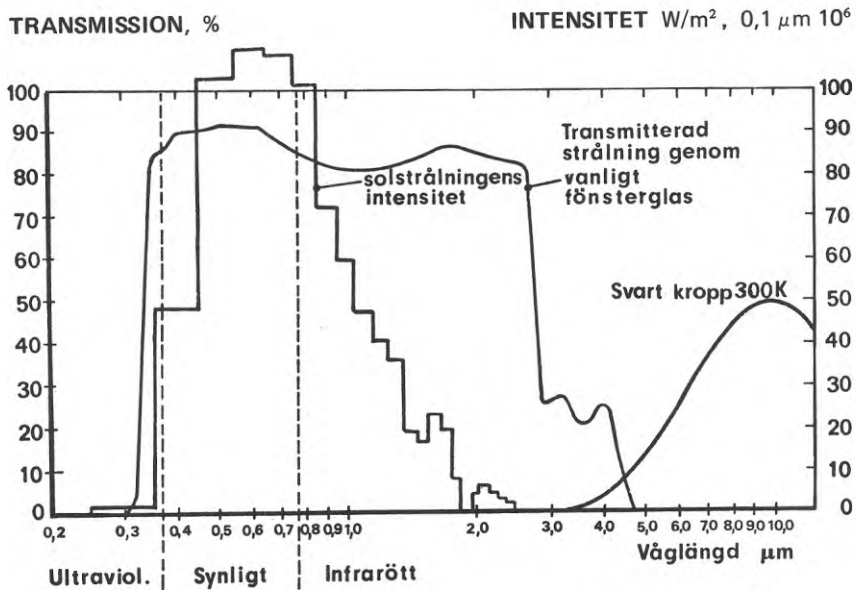


FIG. 1 Solstrålningens intensitet ( $\text{W/m}^2$ ) vid olika våglängder (per  $0,1 \mu\text{m}$ ). Samma skala visar transmission (%) av vinkelrätt infallande strålning genom ett vanligt fönsterglas. Kurvan och skalan till höger visar temperaturstrålningen inomhus (svart kropp ca 300K). Det framgår att glaset släpper igenom 80 å 90% av solstrålningen (ca  $0,3 - 3 \mu\text{m}$ ) men praktiskt taget ingenting av den långvågiga temperaturstrålningen ( $>3 \mu\text{m}$ ) som når glaset innifrån).

### 1.3 Solvärme

Den solenergi vi kan tillgodogöra oss i form av värme omfattar ett bredare intervall: ca 0,4 - 2  $\mu\text{m}$ . Värme- eller temperaturstrålning utsänds emellertid som bekant av kroppars ytor vid varje temperatur. Vid vanlig rumstemperatur omfattar strålningen våglängder från ca 3 - 100  $\mu\text{m}$ . Wiens förskjutningslag bestämmer våglängden för strålningens maximala energi:

$$\lambda_{\text{max}} = 3000/T \text{ vilket för rumstemperatur ger maximum för } \lambda = \text{ca}$$

10  $\mu\text{m}$ . Detta värde, men också den helt dominerande delen av värmestrålningen i övrigt, ligger betydligt över de våglängder, upp till ca 4  $\mu\text{m}$ , som transmitteras av vanligt fönsterglas. Fönstren verkar m a o som sol- eller värmefångare ("drivhusverkan").

SMHI utför fortlöpande mätningar av den solstrålning som når jordytan. Det sker genom mätning av globalstrålning och verklig solskenstid. Med stöd av sådana primära instrålningsdata, reflexionsförhållanden på markytan m.m. kan man beräkna total instrålning mot fönster vid olika orientering (väderstreck) och olika solhöjd (tidpunkt, breddgrad). Tabeller resp. diagram för klart väder har utarbetats, i vårt land, först av G.

Pleijel, senare även av andra svenska forskare. I praktiken bör energiberäkningar ta hänsyn även till olika lokala faktorer såsom molnighet, omgivande terräng och bebyggelse, fönstrens placering m.m.

## 2 FÖNSTERS TERMISKA FUNKTIONER

## 2.1 Beteckningar och definitioner

I	instrålning genom fönster	$W/m^2$
$t_i$	inomhustemperatur	$^{\circ}C$
$t_u$	utomhustemperatur	$^{\circ}C$
$\Delta t$	temperaturskillnad ( $t_i - t_u$ )	K
k	värme genomgångskoefficient	$W/m^2K$
$k_t$	fönsters k-värde med hänsyn till (enbart) transmission	$W/m^2K$
$k_{t,l}$	fönsters k-värde med hänsyn till transmission och luftläckage genom fönsterspringor	$W/m^2K$
$k_{t,l,s}$	fönsters "resultterande k-värde" ( $k_r$ ) med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning (total)	$W/m^2K$
$E_{t,s}$	nettoenergiflöde genom fönster med hänsyn till transmission och instrålning	$W/m^2$
$E_{t,l,s}$	nettoenergiflöde genom fönster med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning = "resultterande energiflöde" ( $E_r$ )	$W/m^2$

Anm. Enligt gängse definition innebär negativa k-värden och negativa E-värden värmevinst = positivt energisaldo = positiv energibalans.

För k-värde med hänsyn också till instrålning ( $k_{t,s}$ ) har använts beteckningen "ekvivalent k-värde" av bl.a. Elmroth-Höglund (1973) och Munther (1974).

## 2.2 Motivering av valda definitioner

Ett flertal faktorer bidrar till att skapa osäkerhet om fönsters funktion och betydelse som energifaktor. Ungefär halva värmemotståndet bestäms av övergångsmotstånden på in- och utsidan ( $m_i + m_y$ ) vilka i sin tur kan påverkas av varierande konvektions- och strålningsförhållanden.

Vanligen tar man hänsyn endast till transmission genom själva fönstret (glas, bågar och karm). Luftläckage genom springor betraktas som "ofrivillig ventilation" och ev. randförluster. får belasta väggens transmissionskonto.

För den totala energibalansen har det kanske ingen betydelse hur man fördelar energiflöden. Med isolerande fönsterluckor påverkas emellertid (under luckornas stängningstid) inte bara transmission utan också förlust genom luftläckage. Vidare påverkas fönstrets invändiga yttemperatur vilket i sin tur inverkar på rumsklimatet.

Som samlande begrepp för energiflöden genom fönster används i det följande värmegenomgångskoefficienter eller k-värden, låt vara med viss tvekan, med tanke på vedertagen definition av k-värden: "Storhet som anger den värmemängd som vid stationära förhållanden per timme passerar vinkelrätt genom en kvadratmeter av en planparallell byggnadsdel då skillnaden mellan lufttemperaturen på ömse sidor om byggnadsdelen är  $1^{\circ}\text{C}$ . (SBN 67).

Det är tydligt att denna definition passar dåligt för värmeutbytet genom fönster där man har att ta hänsyn till inte endast transmission (enl. definition) utan också till både luftläckage och instrålning. Men inget hindrar oss att definiera och tillämpa modifierade k-värden anpassade till fönstrens speciella termiska funktioner.

Litteraturen ger också visst stöd härför (Bergvall & Dahlberg, 1944, Schüle, 1962). Se även Adamsson, 1972 och Munther, 1974).

### 2.3 Transmission

Storleken av fönsters transmissionsförluster - huvudsakligen genom konvektion och långvågig strålning - bestäms av gränsskiktens temperaturer och fönstrets värmemotstånd (M), resp. k-värde ( $k_t = 1/M$ ). Värmemotståndet utgörs praktiskt taget helt av det eller de inneslutna luftskiktens värmemotstånd ( $m_1$ ) och övergångsmotstånden ( $m_i + m_y$ ).

Inverkan av luftskiktets tjocklek är ringa när denna överstiger ca 15 mm. Man brukar för ett vanligt 2-glasfönster av trä teoretiskt räkna med  $M = m_y + m_1 + m_i = \text{ca } 0,34$  vilket ger  $k_t = 2,9 \text{ } \acute{a} \text{ } 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Beroende på fönsterkonstruktion och fördelning mellan glas och trä kan detta värde föskjutas någon decimal nedåt eller uppåt.

### 2.4 Randförluster (smygförluster)

Vid fönster i murverk medför fönstersmygen vanligen en ökning av värmeförlusterna genom tvådimensionellt värmefflöde (Bergvall & Dahlberg, 1944. Nevander, 1961). Storleken av denna transmission i form av randförluster beror av väggmaterial, smygens utformning och fönstrets placering. Smygförlusterna torde genomsnittligt öka fönstrets k-värde med 0,2  $\acute{a}$  0,4  $\text{W/m}^2\text{K}$ . För stenväggar erhålls alltså  $k_t = \underline{3,1 - 3,4} \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 2.5 Luftläckage

Tryckskillnad uppstår mellan fönsters in- och utsida genom inverkan av vindtryck, temperaturskillnad och ev. mekanisk ventilation. Härav betingat luftläckage genom fönsterspringor beror främst av anordningar för tätning och stängning (låsning) samt av fönsterbågarnas formstabilitet. I större delen av det befintliga bostadsbeståndet svarar luftläckage genom fönstren helt eller delvis för erforderlig luftväxling. Kravet på att denna "ofrivilliga ventilation" skall fungera även när det är vindstilla medför ofta onödigt stor luftväxling vid blåst. Även

med, mer eller mindre effektiv, tätning får man därför i praktiken tidvis extra värmeåtgång för uppvärmning av överskott på kall ventilationsluft.

I Sverige har den ofrivilliga ventilationen undersökts i samband med studiet av värmebalansen i enstaka provhus. (A. Elmroth och I. Höglund, 1973). För vindstyrkor under 5 m/sek och  $t_u > 0^\circ \text{C}$  redovisas luftomsättningar mellan 0,4 och 0,9 ggr/h. Man anger följande samband

$$n = a + b \Delta t + c v \text{ oms./h.}$$

Koefficienterna a, b och c är beroende av ett flertal faktorer (hustyp, fönsterkonstruktion m.m.). Man finner att under eldningssäsongen ( $\Delta t = \text{ca } 20^\circ \text{C}$ ,  $v = 3 \text{ \AA } 4 \text{ m/sek.}$ ) har temperaturskillnad och vindstyrka ungefär samma inverkan. Vid bedömning av värdena bör uppmärksammas att det gäller speciella provhus: "De fem provhusen har byggts med noggrannt arbetsutförande. I synnerhet beträffande regelhuset har stor omsorg lagts ned för att få ett tätt hus".

I en tidigare analys av fönstrens termiska funktioner berörs betydelsen av luftläckage (Bergvall och Dahlberg, 1944). Med stöd av bl.a. en serie laboratorieprov omfattande olika fals typer och tätningsmaterial sammanfattas:

"Redan några enstaka otätheter kan öka k-värdet till 3,0 - 3,5 ( $\text{kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{C}$ ). Som normala värden torde det därför med hänsyn till de stora värmeförluster som även relativt små springor orsaka, vara lämpligt att icke räkna med lägre värden än  $k = 3,0$  för trähus och 3,0 - 3,5 för stenus".

Som praktiskt tillämpbara lägsta värden föreslås alltså 3,5 resp. 4,1  $\text{W/m}^2 \text{K}$ . Det högre värdet för stenus betingas av randförluster.

En tysk undersökning avser ett större antal fönster av standardutförande, provade med avseende på täthet, dels före, dels efter monteringen. (Schüle, 1962). För inbyggda fönster varierade luftläckaget mellan 1 - 3  $\text{m}^3/\text{h}$ , m foglängd, vid en tryckskillnad = 1 mm vp motsvarande en vindstyrka = ca 4 m/sek.

Med kännedom om fönsteryta, foglängd (per fönster) och luftläckage (per m fog) erhålls  $k_{t,1} = 4,5 - 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . (FIG. 2).

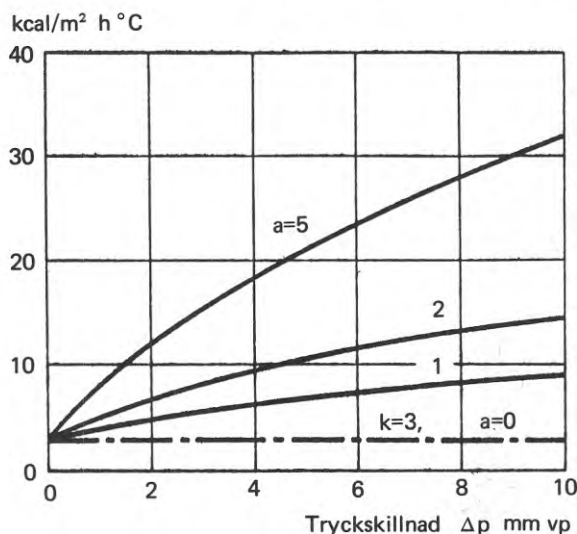


FIG. 2 Beräknat värmeövergångstal  $k_{t,1}$  ( $\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ) för fönster med hänsyn till transmission och luftläckage som funktion av tryckskillnaden  $\Delta p$  (mm vp). Foggenomsläpplighet  $a = 1$  resp. 2 och 5  $\text{Nm}^3/\text{h}$  (Schüle, 1962).

Vid Österrikes byggforskningsinstitut har man studerat fönsters täthet i samband med en omfattande fältundersökning (E. Seifert m.fl., 1974). Det har skett inom ramen för ett forskningsprojekt med syfte att utreda möjligheter att minska energiåtgången för uppvärmning av byggnader.

För fönsterundersökningen tillämpades en speciell metodik utvecklad vid Institut für Fenstertechnik i Rosenheim (Väst-tyskland). Enligt denna skapas ett undertryck i lägenheten (fläkt ansluts till en öppning i dörren till lägenheten). Med hjälp av en trycksond registreras luftläckagets storlek och variationer längs fönstrets fogar (karm/båge och karm/vägg). Tryckimpulserna överförs till elektriska spänningsvariationer registrerade i form av strömningsdiagram. Dessa medger bestämning av luftläckaget vid olika tryckfall ( $\Delta p = 15 - 60 \text{ mm vp}$ ).

Man uppmätte betydande variationer både för ett och samma fönster och mellan olika fönster. Med anknytning till gällande



normer redovisas värden för luftgenomsläpplighet uttryckta genom koefficienten  $a_n = 0,2 - \text{ca } 7 \text{ m}^3/\text{h m (kp/m}^2)^{2/3}$ .

Sammanfattningsvis konstateras att gällande normvärden inte i något fall helt uppfylldes (!). I flera fall uppvisade också nya fönster dåliga resultat. Vidare konstateras anmärkningsvärt stora läckage mellan fönsterkarm och vägg.

Ett nomogram möjliggör bestämning av värmeförlusterna genom fönster (transmission och luftläckage). I ett inlagt exempel svarar luftläckage för ca 42% av totala värmeförlusten (fönsteryta =  $2,5 \text{ m}^2$ ,  $\Delta t = 30^\circ \text{ C}$ , foglängd 8 m, luftläckage  $2,0 \text{ m}^3/\text{m h}$ ). Omräknat i k-värden innebär detta en höjning från ca 3,0 (endast transmission) till ca  $5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .

I Sverige har, utöver ovannämnda undersökningar vid särskilda provhus, enstaka mätningar utförts av luftläckage genom fönster (och ytterväggar). Byggnadsstyrelsen har, genom institutionen för Byggnadsteknik vid KTH, undersökt tätheten hos fasader i förvaltningsbyggnaden Garnisonen i Stockholm. Det har skett genom samordnade laboratorie- och fältundersökningar. Vid omsorgsfull tätning med gummilist av V-profil och en luftrycks-skillnad = 3 mm vp (ca 6 m/sek. eller "måttlig vind") var luftläckaget  $1,5 - 3,5 \text{ m}^3/\text{h}$  och fönster eller  $0,4 - 0,9 \text{ m}^3/\text{h m}$  (KBS rapport, 1972).

## 2.6 Instrålning

Strålning, i form av direkt, diffus och reflekterad solstrålning, som träffar ett fönsterglas, reflekteras till en del, desto mer ju större infallsvinkeln är (mätt mot normalen). Resten av strålningen absorberas av glaset eller transmitteras in i byggnaden. Vid fönster med två eller flera glas upprepas detta varvid en del av strålningen reflekteras fram och åter mellan glasen. Viss andel av i glaset absorberad strålning tillförs rummet som värme genom långvågig strålning och konvektion.

Transmitterad solstrålning absorberas av (värmer) ytor och föremål inomhus vilka i sin tur utsänder långvågig strålning

som fönstren inte släpper igenom. Det sker också en konvektiv värmeöverföring till rumsluften från solvärmda ytor inomhus.

Beroende på bl.a. fönstrens orientering får man m a o under dagtid större eller mindre värmertilskott utifrån som kan tillgodogöras under uppvärmningssäsongen. Transmissionsfaktorn (för solstrålning) anger förhållandet mellan "infångad" solvärme och mot fönstret infallande total instrålning. Denna faktor minskar med ökande infallsvinkel liksom med antalet glas. Sålunda är den 10 å 12 % lägre för tre än för två glas (FIG. 3).

Under en stor del av året kan värmertilskotten utifrån, genom fönster under dagtid, i själva verket vara större än transmissionsförlusterna och detta gäller även under vintersäsongen. Å andra sidan är transmissionsförlusterna under natten kanske 5 - 10 ggr större än för gängse typer av ytterväggar. För nettovärmetransporten genom fönsters glasdel (med hänsyn till transmission och strålning) gäller

$$E_{t,s} = k_t (t_i - t_u) - I \quad \text{W/m}^2$$

Relationerna mellan solinstrålning (I) och utetemperatur ( $t_u$ ) bestämmer om  $E_{t,s}$  blir positiv eller negativ (värmeunderskott, resp. värmeöverskott). Jämvikt (energialdo = 0) råder tydligen när

$$I = k_t \Delta t. \quad \text{Om } k_t = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}; t_i = +20^\circ \text{ C erhålls för}$$

$$t_u = -20 \quad ; \quad I = 120 \text{ W/m}^2$$

$$t_u = 0 \quad ; \quad I = 60 \text{ W/m}^2$$

De instrålningseffekter som krävs för att (under dagtid) kompensera transmissionsförlusterna är tydligen måttliga och torde under en stor del av året täckas av enbart himmelsstrålningen.

Tillskottet av solenergi (I) genom ett vertikalt 2-glasfönster kan vid klart väder uppgå till ca  $670 \text{ W/m}^2$  (glasad yta). Detta

gäller under mars och september i söder, under juni i öster och väster. Den maximala instrålningen är alltså 5 å 6 ggr så stor som den maximala transmissionsförlusten (ca  $120 \text{ W/m}^2$  enligt ovan).

Man har föreslagit en faktor ("ekvivalent k-värde") som innefattar både instrålning och transmissionsförluster (Adamsson, 1974). För denna faktor, här betecknad  $k_{t,s}$  gäller

$$k_{t,s} (t_i - t_u) = k_t (t_i - t_u) - I \text{ och}$$

$$k_{t,s} = k_t - I / (t_i - t_u) \text{ W/m}^2\text{K}$$

Låt oss uppmärksamma att "k-värden" som innehåller en strålnings-komponent  $k_{t,l,s}$  (se 2.1) liksom  $k_{t,s}$  enligt ovan avser bestämda strålningsförhållanden och genomsnittsvärden, t.ex. månadsmedelvärden (normalår), för viss ort (breddgrad) och fönsterorientering (väderstreck). I den meningen specifika "k-värden", multiplicerade med motsvarande graddagtal bör kunna ligga till grund för överslagsmässig beräkning av byggnaders värmebehov.

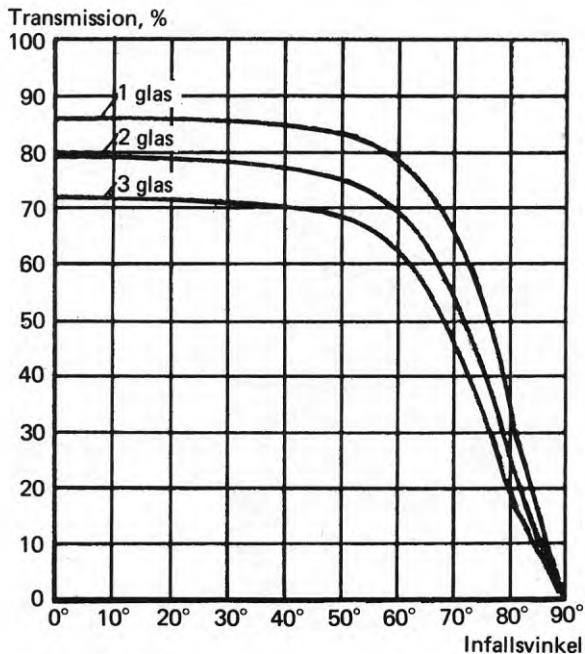


FIG. 3 a Solinstrålning genom fönster (transmitterad solvärme) vid olika infallsvinklar och antal glas (Höglund och Åhlgren, 1973).

Instrålning kWh/m<sup>2</sup>, dygn

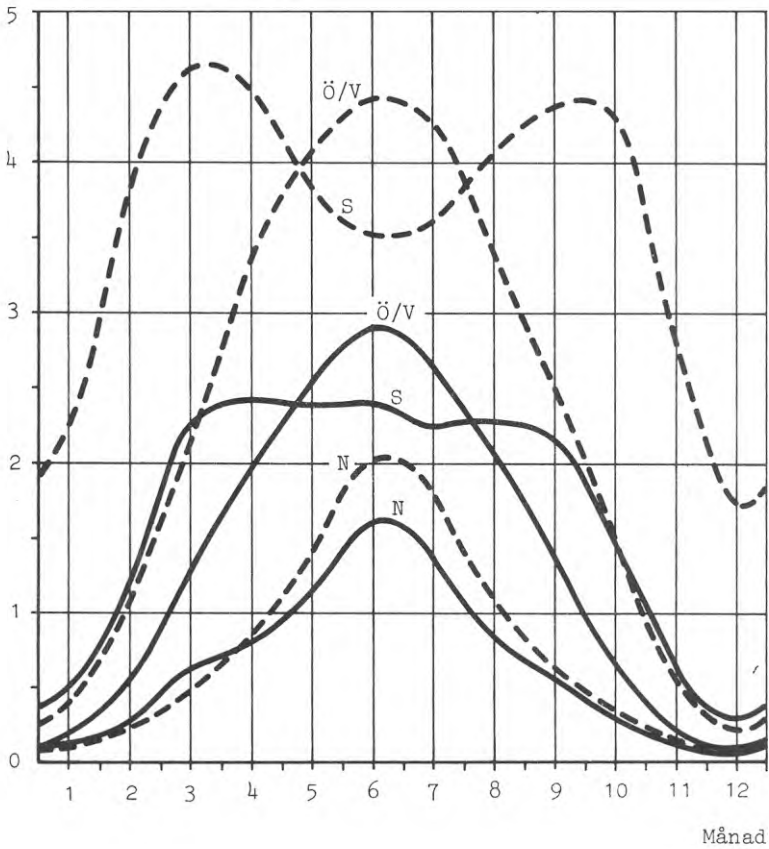


FIG. 3 b Instrålning genom ett oskyddat 2-glasfönster från sol, himmel och mark (Isfält, 1975). Streckade kurvor avser klart väder, heldragna kurvor "genomsnittliga förhållanden" enligt bearbetning av SMHI:s statistik för perioden 1958-69. Diagrammet gäller Stockholm (latitud 59°). Markytans reflexionsfaktor = 0,25.

### 3. ISOLERANDE FÖNSTERLUCKOR

#### 3.1 Konstruktion

Med anknytning till traditionell typ av utvändiga, enkla fönsterluckor kan isolerande luckor utformas sidohängda enligt FIG. 4. Sådana luckor bör kunna användas både på nya hus och i befintlig bebyggelse. I senare fallet med de inskränkningar som betingas av fasadutformningen (erforderligt utrymme måste finnas för luckorna). Alternativt kan luckorna tänkas utformade som horisontala eller vertikala skjutluckor.

Värmeisoleringen kan bestå av mineralullsskivor med tillräckligt hög volymvikt för att hindra invändig konvektion genom vindpåverkan (luftgenomsläpplighetstal  $< 1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h mm vp/m}$ ).

Med beklädnad av gles, snedskuren träpanel fungerar luckorna som "fasadabsorbenter" (i både stängt och öppet läge) med viss bullerdämpande effekt i gaturummet.

Ramkonstruktion och beklädnad kan tänkas utförd av annat material än trä, t.ex. aluminium eller plast. Olika konstruktiva lösningar studeras med stöd av utvecklingsbidrag från STU. Luckornas infästning, tätning, manövrering och låsning ägnas därvid särskild uppmärksamhet.

Utförda prototyper kan stängas och låsas inifrån med spanjolett FIG. 5. Vid utåtgående fönster krävs speciella tekniska lösningar om luckorna skall manövreras från insidan. I många fall -enplanshus, loftgångshus, mot balkong- bör dock manövrering och ev. låsning kunna ske utifrån.

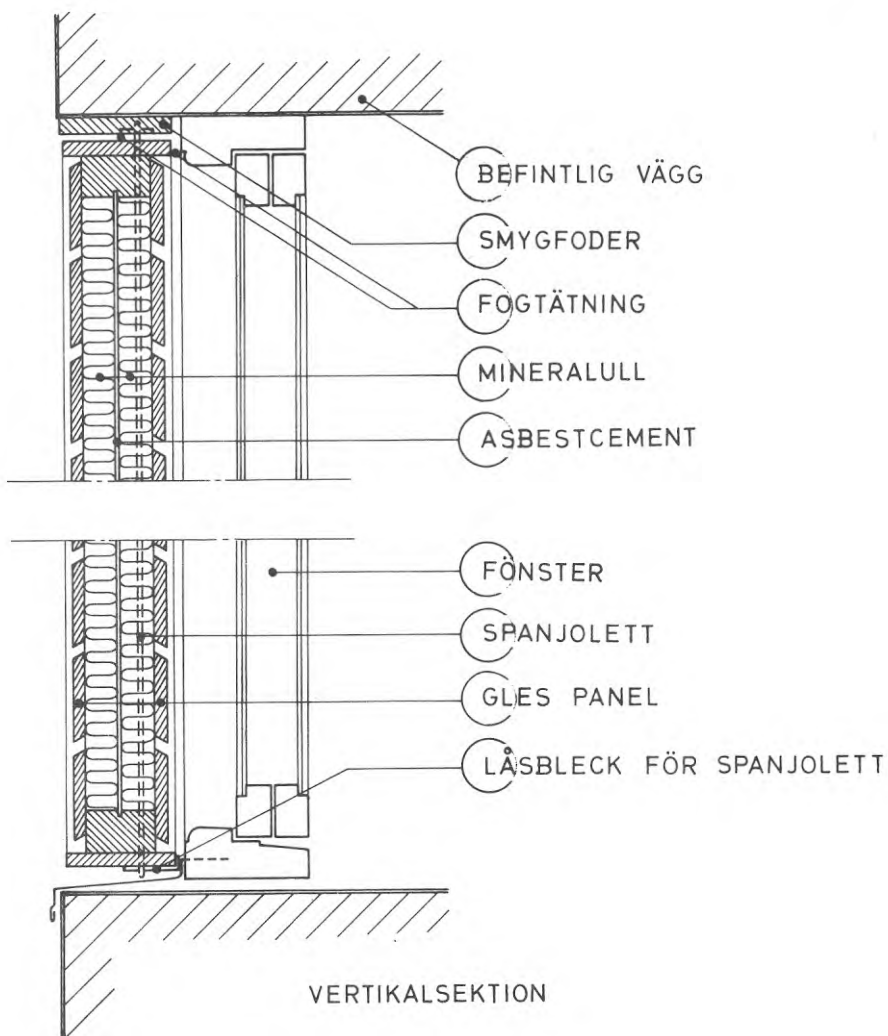


FIG. 4 Utvändiga, isolerande fönsterluckor. Principsektionerna avser luckor monterade i efterhand (separat).

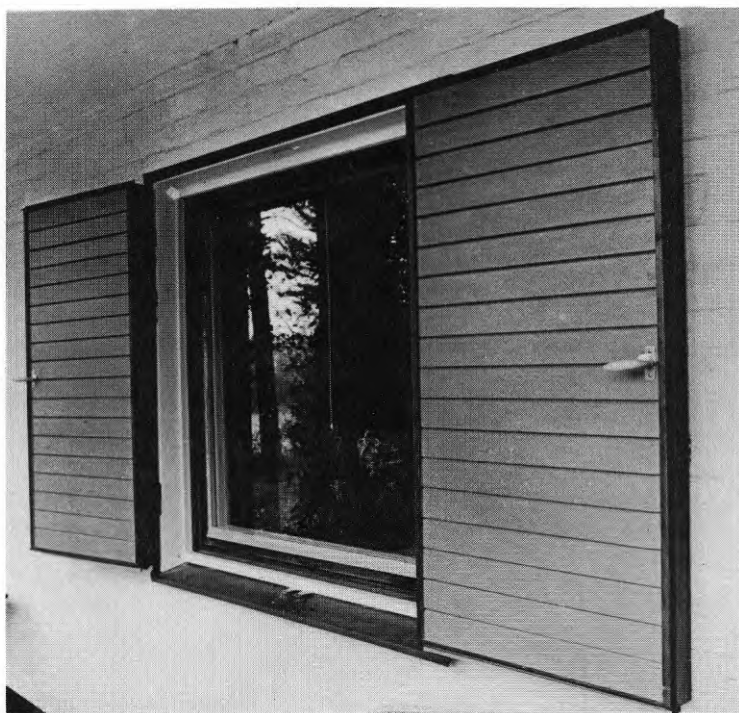


FIG. 5 Isolerande fönsterluckor. Prototyper monterade på villabyggnad i Skövde.

### 3.2. Egenskaper

Vid Rockwool AB:s forskningsstation i Skövde har man undersökt luckornas värme- och ljudisolerande effekt för bl.a. olika isolertjocklekar. Mätning av luckornas värmemotstånd på laboratorium och i fält (på prototyp) har visat att man bör kunna räkna  $k_{t,1} = \text{ca } 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  för ett vanligt 2-glasfönster + isolerande luckor med 6 cm isolering. Det förutsätts då att luckorna är tätade mot fönsterkarm resp. smyg.

Laboratoriemätningar har visat att ljudisoleringen hos ett vanligt 2-glasfönster kan förbättras från ca 20 dB upp till ca 37 dB (genomsnittligt reduktionstal för frekvensområdet 125 - 5000 Hz).

Orienterande beräkningar visar att om fönsterluckorna utförs med glasa beklädnader enligt ovan, reduceras bullernivån i gatuummet, för en huvudgata med 2,5 - 3,5 dB (nivå över gatuplanet 0 resp. 27 m) och för en sidogata med 6 - 9 dB (avstånd från huvudgata ca 40 resp. 180 m). En reduktion av bullernivån med 5 dB motsvarar en minskning av den upplevda bullerstörningen (hörnivån) med ca 25%.

För jämförelse och konkretisering kan följande värden anföras beträffande bullerdämpning genom ren avståndsverkan vid motorväg:

50 → 80 och 100 → 150 m = 3 dB

Eller inverkan av hastighetsminskning:

90 → 70 km/h = 3 dB

Minskning av fordonstrafiken till hälften ger också ca 3 dB.

Utöver berörda primära isolerfunktioner bör nämnas de möjligheter luckorna ger till solskydd och mörkläggning, liksom till förbättrat inbrottskydd och brandskydd (brandspridning sker ofta fönstervägen). Lämpligt utformade bör luckorna kunna fylla



en uppgift också som arkitektoniskt formelement.

### 3.3 Termiska funktioner

#### 3.3.1 Allmänna förutsättningar

Vid angivande av k-värden för fönster brukar man vanligen inte beakta luftläckage och randförluster (liksom inte heller instrålning). Se dock Schüle samt Bergvall och Dahlberg. Vid beräkning av isolerande fönsterluckors termiska effekt torde det vara motiverat att ta hänsyn till luckornas totala isoleringseffekt av följande skäl:

- A/ Vid blåst och då särskilt vid låg utetemperatur, kan luftläckage genom fönster kräva relativt stort extra effektbehov och motsvarande ökning av energibehovet. Därtill hygieniskt obehag, vilket i sin tur kan leda till att rumstemperaturen höjs för att motverka fönsterdrag.
- B/ Även med tätningslister är det i praktiken svårt att mer varaktigt uppnå önskad grad av fönstertätning (lagom luftomsättning) beroende bl. a. på svårigheten att rätt anpassa låsningstrycket till tätningsmaterialets dimension, åldring och egenskaper i övrigt.
- C/ Det är möjligt att tätta fönsterluckorna, dels mot deras omfattning - karm eller smygfoder - dels mot befintlig fönsterkarm, alltså tätning i tre plan. Därmed påverkas såväl luftläckage som randförluster. Denna extra tätning och värmeisolering är givetvis särskilt betydelsefull vid blåst och kyla.

#### 3.3.2 Inverkan på värmeåtgång ( $k_{t,1}$ )

Vid mätningar har man funnit att luftläckage genom fönster kan variera inom vida gränser, vid 1 mm vp mellan ca 0,05 - 10 m<sup>3</sup>/h m beroende på fönsterkonstruktion och tätning (Rydberg,

1969). Om man i fönstrets  $k$ -värde räknar in den värmeåtgång som luftläckage kräver för uppvärmning till rumstemperatur, får man för ett 2-glasfönster  $1,4 \times 1,4 \text{ m}^2$  en variation inom området  $3 < k_{t,1} < 15 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Den förbättring av tätningen som fönsterluckor kan ge beror givetvis av fönstrets tätning och blir därmed också starkt varierande. En försiktig och kanske rimlig uppskattning av förbättringen kan göras med utgångspunkt från att luftväxlingen genom självdrag brukar förutsättas vara omkring 1 oms./h. I det befintliga byggnadsbeståndet torde dock värdet ofta vara högre. "Uttryckt i luftomsättning är den s.k. ofrivilliga ventilationen genom otätheter av storleksordningen 0,3 - 0,6 omsättningar (räknat på byggnadens totala volym) i nyproduktion. I äldre byggnader är ventilationen större, ofta dubbelt så stor eller mer." (SOU 1974:76).

Antag alltså 1 oms./h och att hälften av lufttillförseln sker i form av ofrivillig ventilation genom fönstren. För ett rum med volymen  $60 \text{ m}^3$  betyder detta att fönstren ger  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ . Om fönsterytan är  $4 \text{ m}^2$  och luftläckaget inräknas erhålls för ett 2-glasfönster

$$k_{t,1} = 3,0 + 30 \times 0,36/4 = 5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

För att inte överdriva den förbättring av tätningen som luckorna ger väljer vi försiktigtvis  $k_{t,1} = 4,0$  för 2-glasfönster utan isolerande luckor som tänkbart, genomsnittligt värde för det befintliga beståndet av bostadshus.

Om man för själva fönstret (utan luftläckage) antar  $k_t = 3,0$  innebär  $k_{t,1} = 4,0$  ett luftläckage = ca 0,2 oms./h för rummet i exemplet ovan. Luckorna antas sålunda minska luftomsättningen med detta värde eller från 1,0 till 0,8 oms./h.

För nya, väl tätade fönster bör man kunna förutsätta  $k_{t,1} = k_t = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 3.3.3 Inverkan på rumsklimat

Rumsklimatet bestäms av värme- och ljusförhållanden, av luftens fuktighet och egenskaper i övrigt, ventilation m.m. På värme-komforten inverkar både rumsluftens och omslutningsytornas temperaturer. För invändig yttemperatur på väggar, fönster etc. används termen "strålningstemperatur". Därmed åsyftas verkan av den värmeförlust en person upplever i riktning mot kallare ytor och som kan ge en känsla av "drag", t.ex. från fönster även om dessa är täta.

Som sammanfattande mått på värmekomfort har man infört "operativ temperatur". Denna är ungefär lika med medelvärdet av rumsluftens och omslutningsytornas temperaturer. Under den kalla årstiden är temperaturen på insidan av ytterväggar och fönster lägre än för övriga rumsytor. Därmed kommer också den operativa temperaturen att variera i olika riktningar, bli lägre i riktning mot en fönstervägg. En fysiologisk betingelse för värmekomfort är emellertid ett över kroppsytan tämligen likformigt fördelat värmefflöde från kroppen.

I ett normförslag under arbete inom Byggnadsbyrån vid Statens Planverk föreslås högsta tillåtna värden för operativ temperatur för boningsrum  $18^{\circ}$  C för barnstugor, ålderdomshem o.d.  $20^{\circ}$  C. Man föreslår vidare att högsta differens skall vara  $4^{\circ}$  C vad gäller "riktad" operativ temperatur för olika omslutningsytor.

Beräkningsmässigt erhålls operativ temperatur ( $t_{op}$ ) som medelvärde mellan rumsluftens temperatur ( $t_i$ ) och "medelstrålningstemperaturen" ( $\bar{t}_s$ ) för omslutningsytor belägna inom en halvsfär med centrum i en punkt inom rummets "vistelsezon". Med kännedom om resp. omslutningsytors invändiga yttemperaturer ( $t_o$ ) erhålls  $\bar{t}_s$  för önskad punkt med hjälp av rymdvinkelkoefficienter ( $\psi$ ) för vilka diagram utarbetats.

Följande samband gäller

$$t_{op} = \frac{t_i + \bar{t}_s}{2} \quad ^{\circ} \text{C}$$

$\bar{t}_s = \Sigma \varphi t_o$ , för resp. omslutningsytor (väggar, fönster, golv, tak).

Angivna maximivärden för operativ temperatur kontrolleras i första hand på mest utsatta punkter inom rummets vistelsezon d.v.s. vanligen 1 m vinkelrätt från fönsters mittpunkt. Vid yttervägg med fönster förutsätts vistelsezonen begränsad av ett med ytterväggen parallellt plan 1 m från denna. Vid vägg utan fönster förutsätts det begränsade planet 0,5 m från ytterväggen.

Några serier temperaturmätningar har utförts för att bestämma isolerande fönsterluckors inverkan på fönsters invändiga temperatur. Mätningarna har gällt 1-luftsfönster 1150 x 1250 mm (karmyttermått). Isoleringen i luckorna 50 mm mineralull. Utförande i övrigt enligt FIG. 4 och 5. Fönstrets invändiga yttemperatur ( $t_f$ ) mätt i fönstrets mittpunkt med termoelektrisk yttemperaturmätare. Under fönstret placerad radiator var dels påkopplad FIG. 6 dels avstängd FIG 7.

Som framgår av diagrammen visar  $t_f$  en markerad nedgång när fönsterluckorna öppnas och motsvarande uppgång när de stängs., Nedkylningen av fönstret efter öppnande tog ungefär 1 timme, uppvärmningen efter stängning ungefär 2 timmar. Tabellen sammanfattar mätresultaten

Radiatorinställning	Värme till			Värme från		
	Temperatur ° C	$t_i$	$t_f$	$t_i - t_f$	$t_i$	$t_f$
Utan luckor	20-20,5	12,5	7,5-8	19,5	12,5	7
Med luckor	ca 20	17,5	2,5	19,5	15,5	4

Med stängda luckor höjs alltså temperaturen på fönstrets insida med ca  $5^{\circ}$  C vid påkopplad och med ca  $3^{\circ}$  C vid fränkopplad radiator. Beräkning av  $t_f$  enligt normförslagets förutsättningar

( $m_i = 0,12$ ,  $m_u = 0,05 \text{ m}^2 \text{ }^\circ \text{C/W}$ ,  $t_i = 20$ ,  $t_f = 13^\circ \text{C}$ ) och med värmemotståndet för fönster + luckor = 1,43 ( $k_{t,1} = 0,7 \text{ W/m}^2 \text{K}$ ) visar god överensstämmelse med uppmätta resultat vid påkopplad radiator enligt ovan. Man får

$$\text{Uppmätt temp.diff. } t_i - t_f = \text{ca } 5^\circ \text{C}$$

$$\text{Beräkn. temp.diff. } t_i - t_f = 5,3^\circ \text{C}$$

För en dimensionerande lägsta utetemperatur =  $-22^\circ \text{C}$  ger beräkning utan hänsyn till radiatorvärme

$$\text{Enbart fönster } t_f = +5,2^\circ \text{C}$$

$$\text{Fönster + luckor } t_f = +16,5^\circ \text{C}$$

Isolerande fönsterluckor kan alltså höja temperaturen på fönsters insida upp till ca  $10^\circ \text{C}$  ( $t_u = -22^\circ \text{C}$ ). Därmed höjs och utjämnas också operativ temperatur med gynnsamma återverkningar för rumsklimatet. Detta gäller naturligtvis den tid luckorna hålls stängda, normalt under den mörka delen av dygnet. Den rumsklimatologiska vinsten kommer även till uttryck däri att lägenhetens "vistelsezon" vidgas. Man kan också vintertid, utan obehag, vistas närmare fönster än 1 m. Det bör vara av intresse att få klarlagt om denna inverkan på rumsklimatet kan få återverkningar på planlösning, dimensionerande effektbehov och energiåtgång.

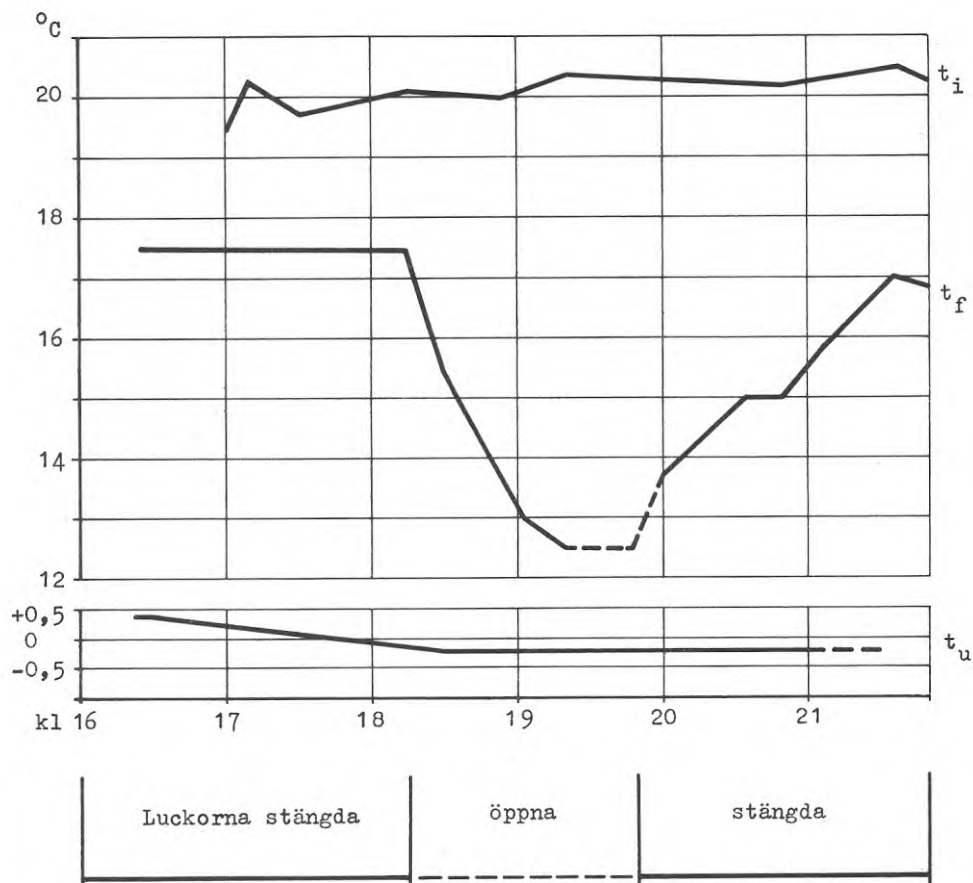


FIG. 6 Fönstertemperatur med stängda, resp. öppna fönsterluckor. Fältmätning på fönster med luckor enligt FIG. 5 a. Molnigt, svag vind. Radiator under fönstret tillkopplad hela mätperioden.  $t_i$  = innetemp.,  $t_f$  = fönstertemp. invändigt,  $t_u$  = utetemp.

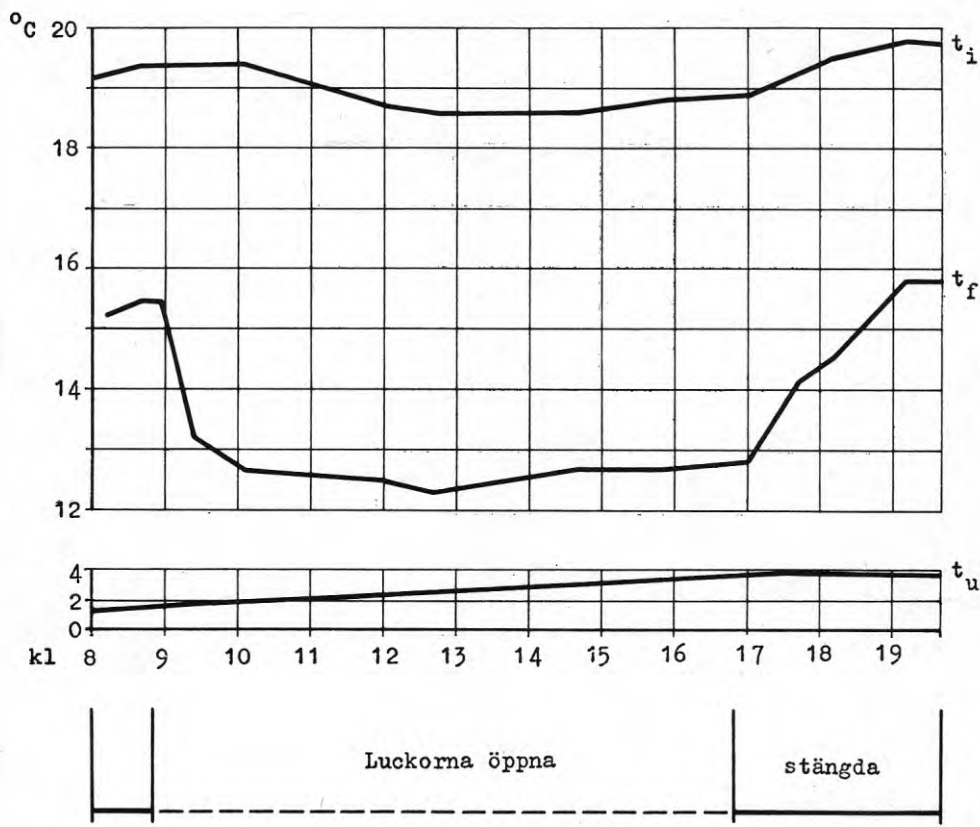


FIG. 7 Fönstertemperatur med stängda, resp. öppna fönsterluckor. Molnigt, vind 2 - 3 m/sek. Radiator frånkopplad hela mätperioden.  $t_i$  = innetemp.,  $t_f$  = fönstertemp. invändigt,  $t_u$  = utetemp.

## 4.1 Allmänna förutsättningar

Tidigare i vårt land tillämpade datorprogram för beräkning av instrålning genom fönster har gällt beräkning av kylbehov och därför närmast avsett klart väder. I föreliggande fall är emellertid genomsnittliga värden på strålningen från sol, himmel och mark av intresse.

I princip beräknas genomsnittlig, total, genom fönstret transmitterad strålning (solfångsten) per  $m^2$  (glasad yta) och månad. Detta sker med stöd av värden framräknade för varje halvtimme under det 15 de dygnet i varje månad.

Primära strålningsdata, d.v.s. genomsnittlig total solstrålning (globalstrålning) erhålls ur SMHI:s mätstatistik. Denna redovisar också solskenstiden. Andra primära faktorer som måste beaktas är fönsterytans orientering (väderstreck), latitud, reflektionsförhållanden (omgivningen) och fönstrets transmissionsegenskaper.

I praktiken blir fönsterytor ofta tidvis och delvis skuggade av t.ex. balkog eller omgivande murverk (Höglund och Ålgren, 1973). Skuggverkan har också omgivande byggnader, särskilt vid tätbebyggelse och vintertid (lågt solstånd). I datorberäkningen bortses från sådan skuggverkan som kan variera betydligt, men om horisonten har förutsatts vara fri.

För beräkning av fönsters termiska funktion och möjliga tillskott av solvärme krävs att skuggningseffekternas betydelse klarläggs. I föreliggande fall, när det gäller inverkan av fönsterluckor, torde skuggverkan vara av mindre betydelse och närmast innebära att luckorna hålls stängda under något längre tid. Detta gäller i varje fall vinterperioden samt rum och lägenheter där man inte vistas under dagen. Från termisk synpunkt innebär detta en ytterligare minskning av transmissionsförlusterna.



Själva datorberäkningen omfattar följande steg:

- o Astronomiska data (deklination och tidsekvation) bestäms med ledning av datum. Värderna för dessa storheter finns t.ex. i den svenska almanackan. För datorberäkningen erhålls de med tillräcklig noggrannhet ur Fourierserier med sex termer.
- o Solens läge i höjd- och sidled kan därefter bestämmas ur trigonometriska uttryck där även longitud, latitud och klockslag ingår.
- o Solens läge bestäms i förhållande till den bestrålade fönsterytans orientering (väderstreck).
- o Solstrålningens intensitet beräknas (vinkelrätt mot strålningsriktningen). Diffus himmelsstrålning mot horisontell yta beräknas. I ena som andra fallet är strålningen beroende av solhöjden och beräknad med stöd av **empiriskt** underlag.
- o Globalstrålningens (vertikala) komponenter mot den aktuella fönsterytan bestäms.
- o Direkt solstrålning genom fönstret beräknas med ledning av infallsvinkel och transmissionsfaktor. Transmissionen av diffus strålning - vid både klart och mulet väder - förutsätts oberoende av solens läge (infallsvinkeln).
- o Transmitterad strålning från sol, himmel och mark summeras. Detta sker halvtimmesvis för den 15 de i varje månad.

#### 4.2 Genomsnittlig instrålning

Den för klart väder beräknade instrålningen måste reduceras med hänsyn till verklig solskenstid. Detta sker med en faktor, definierad som kvoten mellan av SMHI uppmätt, verklig solskenstid och astronomiskt möjlig solskenstid. Den för klart väder beräknade himmelsstrålningen korrigeras därefter, så att globalstrålningen överensstämmer med uppmätta värden.

TAB. 1. Tabellen visar för Malmö, Stockholm och Luleå resultatet av en uppdelning på direkt solstrålning och globalstrålning (enl. SMHI). För jämförelse redovisas även globalstrålningen beräknad för klart väder. Beräkningarna gäller den 15:de i resp. månad.

Genomsnittlig, månatlig instrålning i  $\text{Wh/m}^2$ , dygn mot horisontell yta.

Månad	MALMÖ			STOCKHOLM			LULEÅ		
	Direkt sol <sup>a</sup>	Globalstrålning <sup>b</sup> Verkl. lig <sup>c</sup>	Klart <sup>b</sup>	Direkt sol <sup>a</sup>	Globalstrålning <sup>b</sup> Verkl. lig <sup>c</sup>	Klart <sup>b</sup>	Direkt sol <sup>a</sup>	Globalstrålning <sup>b</sup> Verkl. lig <sup>c</sup>	Klart <sup>b</sup>
1	100	440	890	70	350	480	10	130 <sup>d</sup>	60
2	390	1010	2080	350	930	1550	120	690	810
3	1080	2320	3890	1120	2410	3360	820	2060	2540
4	2150	3760	6180	2290	3700	5790	1900	3440	5150
5	3450	4900	7710	3450	4980	7490	2690	4890	7160
6	3690	5910	8640	4140	5990	8550	3200	5560	8450
7	3420	4950	8260	3700	5300	8120	3250	5260	7920
8	2620	4070	6740	2780	3980	6420	2020	3420	5910
9	1700	2930	4610	1520	2630	4130	1040	1930	3380
10	580	1460	2760	580	1180	2220	360	730	1410
11	140	540	1220	110	410	760	30	190	220
12	50	290	650	30	210	290	0	30 <sup>d</sup>	10

<sup>a</sup> Beräknad andel direkt solstrålning med ledning av uppgift om verklig solskenstid.

<sup>b</sup> Beräknat för klart väder = direkt solstrålning + diffus himmelsstrålning vid resp. latituder.

<sup>c</sup> SMHI:s månadsvärden dividerade med antalet dygn i månaden.

<sup>d</sup> På grund av det låga solståndet blir direktstrålningen mot horis.

yta liten. Himmelsstrålningen vid klart väder är mindre än vid genomsnittlig molnighet. Detta är anledningen till att globalstrålningen är större vid genomsnittliga förhållanden än vid klart väder.

#### 4.3 Beräkningsfall

##### 4.3.1 Beteckningar och förutsättningar

$A_f$	fönsteryta bestämd av karmyttermått	$m^2$
$A_g$	"glasad yta" = fönsteryta som transmitterar strålning	$m^2$
$o_D$	graddagtal, klimatfaktor = värmebehov per månad för viss ort = summan (över månaden) av differensen $t_i - t_u$ multiplicerad med månadens dagantal	$^{\circ}C \text{ dagar/ månad}$
$Q$	värmeförbrukningstal = graddagstal multiplicerat med antal timmar per dygn dividerat med $10^3$	$^{\circ}C \text{ h } 10^{-3}/ \text{ månad}$
$N$	antal dagar per månad	
$n_f$	tid, exponerade fönster	$\text{h/dygn}$
$n_l$	tid, stängda luckor	$\text{h/dygn}$
$Q_f$	värmeförbrukningstal, exponerade fönster ( $^{\circ}D n_f$ )	$^{\circ}C \text{ h } 10^{-3}/ \text{ månad}$
$Q_l$	värmeförbrukningstal, stängda luckor ( $^{\circ}D n_l$ )	$^{\circ}C \text{ h } 10^{-3}/ \text{ månad}$

Vid beräkning av transmissionsförluster genom fönster bör hänsyn tas till att radiator vanligen är placerad under fönster. Längs fönsterytan stryker en luftström med några grader högre temperatur än rumsluften. Med hänsyn till detta förhållande väljs

$$t_i = \underline{22}^{\circ} \text{ C}$$

Med stöd av föregående diskussion (3.3) väljer vi som genomsnittliga, praktiskt tillämpbara värden:

för 2-glasfönster i befintligt byggnadsbestånd  $k_{t,1} = \underline{4,0}$   
W/m<sup>2</sup>K

för nya, väl tätade 2-glasfönster  $k_{t,1} = k_t = \underline{3,0}$  W/m<sup>2</sup>K

för 2-glasfönster med isolerande fönsterluckor  $k_{t,1} = \underline{0,7}$   
W/m<sup>2</sup>K

Anm. k-värden med hänsyn till transmission och luftläckage hänförs till fönsteryta ( $A_f$ ). Beräkning av transmitterad solstrålning, liksom dess andel av resulterande k-värde ( $k_{t,1,s}$ ) grundas på "glasad yta" ( $A_g$ ).

#### 4.3.2. Beräknade alternativ

Datorberäkningen ger nettoenergiflöde ("energialdo") d.v.s. summan av transmissionsförluster och genom fönster transmitterad, total instrålning i kWh/månad, resp. år och m<sup>2</sup> ( $A_g$ ). Beräkningen avser Malmö, Stockholm, Luleå, åtta fönsterriktningar (N-NO-O-SO-S-SV-V-NV) och följande fönsteralternativ:

Alt. 1. Fönsterluckor alltid stängda (ingen instrålning). Detta motsvarar från energisynpunkt en vägg med samma värmemotstånd som fönster + luckor eller  $k_{t,1} = \underline{0,7}$  W/m<sup>2</sup>K vilket ungefär torde motsvara genomsnittligt värde för ytterväggar i befintligt byggnadsbestånd.

Alt. 2. Luckor aldrig stängda (endast dekorativ funktion),  $k_{t,1}$   
 $= 4,0$  alternativt  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Alt. 3. Luckor stängda "på natten". Mer preciserat, luckorna öppna 8 - 22, när det finns förutsättning att få in direkt solstrålning (när solen kan lysa på fasaden). Med denna förutsättning kan luckorna vara öppna även under viss tid då värmeförlusterna är större än värmevinsten genom instrålning.

Alt. 4. Luckor stängda när detta ger energibesparing (nettoenergiflöde  $E_{t,1,s} > 0$ ). Luckorna må öppna vid värmevinst eller negativt energisaldo. Från energi-ekonomisk synpunkt innebär detta optimal användning av luckorna. Fönstrets resulterande k-värde,  $k_{t,1,s}$  alltid  $< 0,7$  (stängda luckor).

#### 4.3.3 Resultterande energiflöde

Värdet för genom fönstret transmitterad solenergi (I) grundas på beräkning av total instrålning under 15. dygnet i resp. månader. Vi betecknar detta dygnsvärde  $\bar{I}$ . För alt. 3 och alt. 4, med luckor stängda under natten, erhålls nettoenergiflödet eller resulterande energiflödet

$$E_r = E_{t,1,s} = \underbrace{k_{t,1} (t_i - t_u) n_1 N}_{\text{natt}} + \underbrace{k_{t,1} (t_i - t_u) n_f N}_{\text{dag}} - \bar{I} N \text{ Wh/m}^2 \text{ månad}$$

Anm. Värdena för  $\bar{I}$  blir enligt förutsättningarna något olika för alt. 3 och 4. Likaså skiljer sig nattvärdet för  $t_u$  något från dag- och dygnsvärden. Nattemperaturen har förutsatts vara  $1^\circ \text{C}$  lägre än genomsnittsvärdet för dygnet.

Med förutsatta värden erhålls

$$E_r = 0,7 (22 - t_u) n_1 N + k_{t,1} (22 - t_u) n_f N - \bar{I} N \text{ Wh/m}^2 \text{ månad}$$

För alt. 1 (luckor alltid stängda) bortfaller 2. och 3. termerna.

För alt. 2 (luckor aldrig stängda) bortfaller 1. termen.

Vid datorberäkningen integreras energiflödena enligt de regler som gäller för resp. alternativ.

TAB.2 sammanfattar datorberäkningens resultat för  $k_{t,1} = 4,0$  för enbart fönster (alt. 2). Motsvarande diagram FIG. 8, 9 och 10 visar energiflödet månadsvis. TAB. 3 visar energiflödet när fönstrets k-värde =  $3,0 \text{ Wm}^2/\text{K}$  (rel. nya väl tätade fönster).

TAB. 2. Resulterade energiflöden i  $\text{kWh/m}^2$  (glasad fönsteryta) under perioden september - maj för alt. 1 - 4 enligt datorberäkning. Fönstrets k-värde =  $4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Positiva tabellvärden anger förlust (värmeunderskott) medan negativa värden anger värmevinst

Ort	Alt.	N	NÖ/NV	Ö/V	SÖ/SV	S
Luleå	1	115,0	115,0	115,0	115,0	115,0
Luleå	2	556,6	524,3	440,7	354,1	319,1
Luleå	3	115,3	118,7	87,6	13,2	-41,9
Luleå	4	107,6	81,4	14,4	-51,5	-75,8
Stockholm	1	90,1	90,1	90,1	90,1	90,1
Stockholm	2	412,3	370,9	267,9	166,1	127,9
Stockholm	3	92,1	88,8	29,7	-68,2	-133,1
Stockholm	4	79,3	45,1	-42,8	-123,9	-152,1
Malmö	1	81,5	81,5	81,5	81,5	81,5
Malmö	2	358,1	318,2	222,9	136,1	109,0
Malmö	3	84,7	75,3	9,8	-76,7	-121,6
Malmö	4	66,1	31,8	-49,8	-119,2	-139,3

TAB. 3. Resultterande energiflöden i kWh/m<sup>2</sup> (glasad fönsteryta) under perioden september - maj för alt. 2 och 4 enligt datorberäkning. Fönstrets k-värde = 3,0 W/m<sup>2</sup>K. Positiva tabellvärden anger förlust (värmeunderskott). Negativa värden anger värmevinst.

Ort	Alt.	N	Ö/V	S
Luleå	2	392,3	276,4	154,8
Luleå	4	95,5	-8,4	-112,0
Stockholm	2	283,6	139,4	-1,1
Stockholm	4	65,1	-66,0	-189,2
Malmö	2	241,4	106,0	-7,6
Malmö	4	49,3	-74,2	-175,2

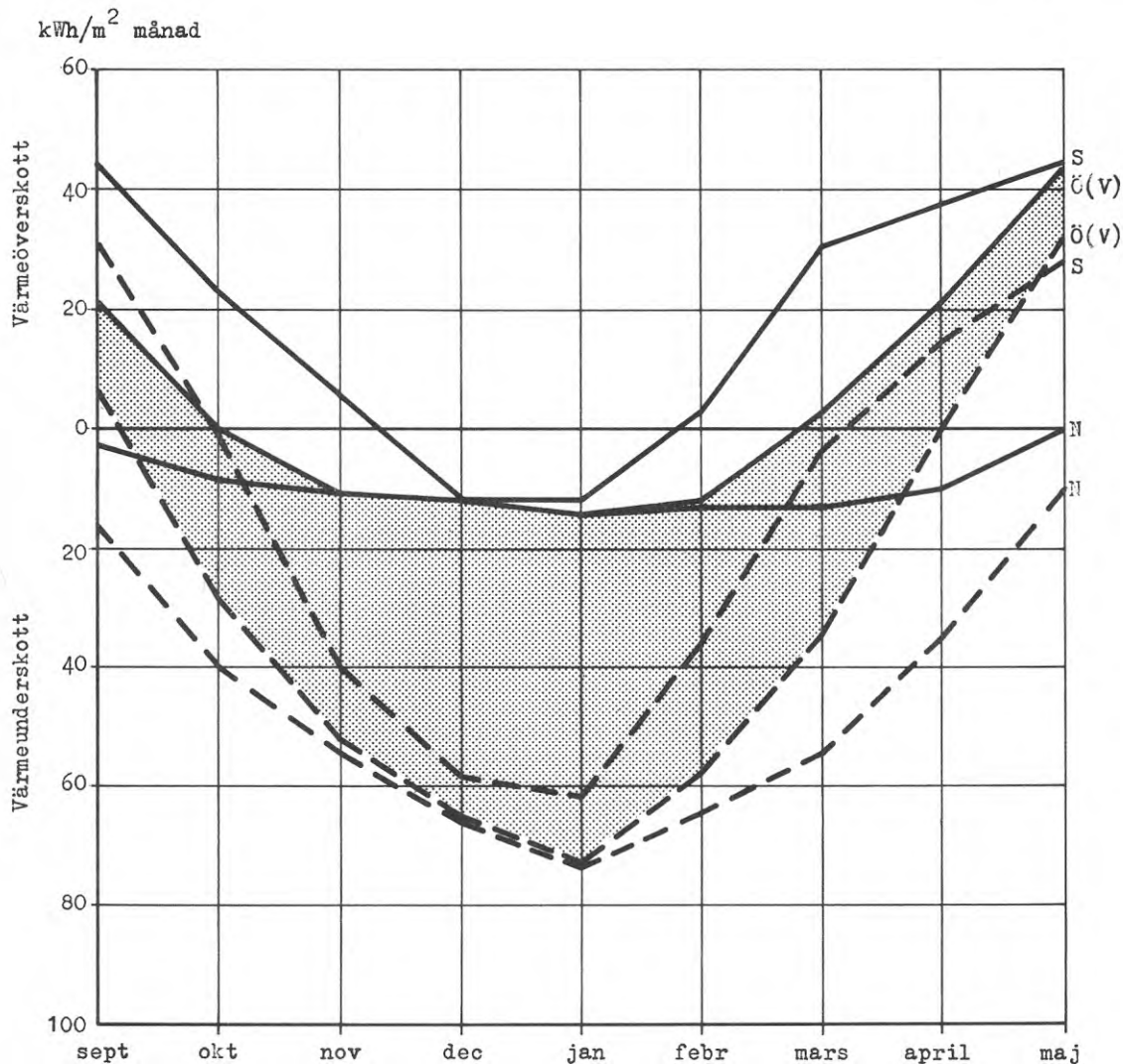


FIG. 8 Energibalans (energialdo) för 2-glasfönster med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning ( $E_{t,l,s}$ ) enligt datorberäkning. Heldragna kurvor: med fönsterluckor (optimal användning = alt. 4). Streckade kurvor: utan luckor (alt. 2). Värdena gäller Stockholm (latitud  $59^{\circ}$ ). Väderstreck N, S, Ö (V). Skuggad yta = energivinst med luckor Ö (V).



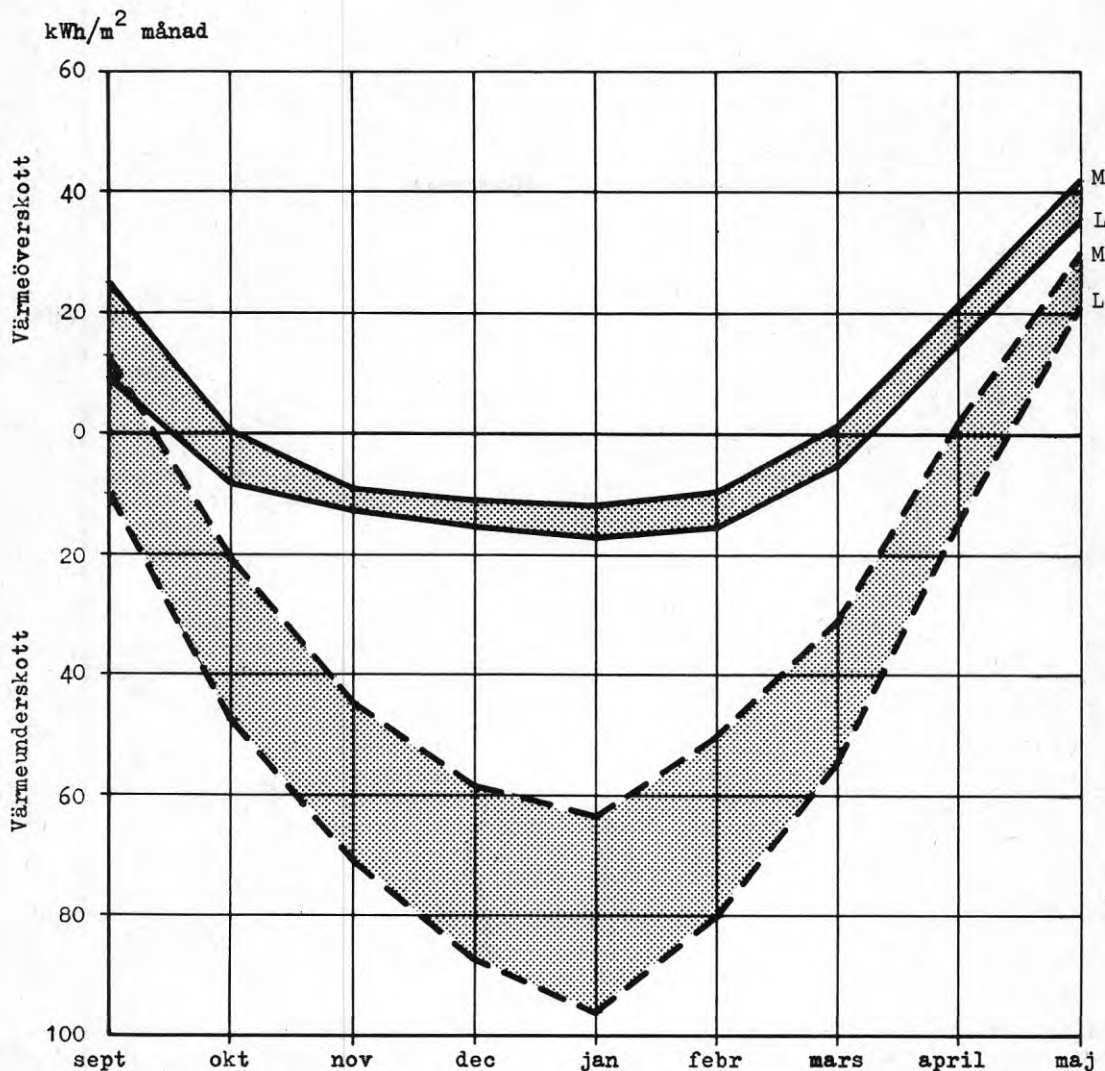


FIG. 9 Energibalans (energialdo) för 2-glasfönster med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning ( $E_{t,1,s}$ ) enligt datorberäkning. Heldragna kurvor: med fönsterluckor (optimal användning = alt. 4). Streckade kurvor: utan luckor (alt. 2). Kurvorna gäller Luleå och Malmö, väderstreck Ö (V). Skuggad yta = skillnad i energibehov Luleå - Malmö, med resp. utan fönsterluckor.

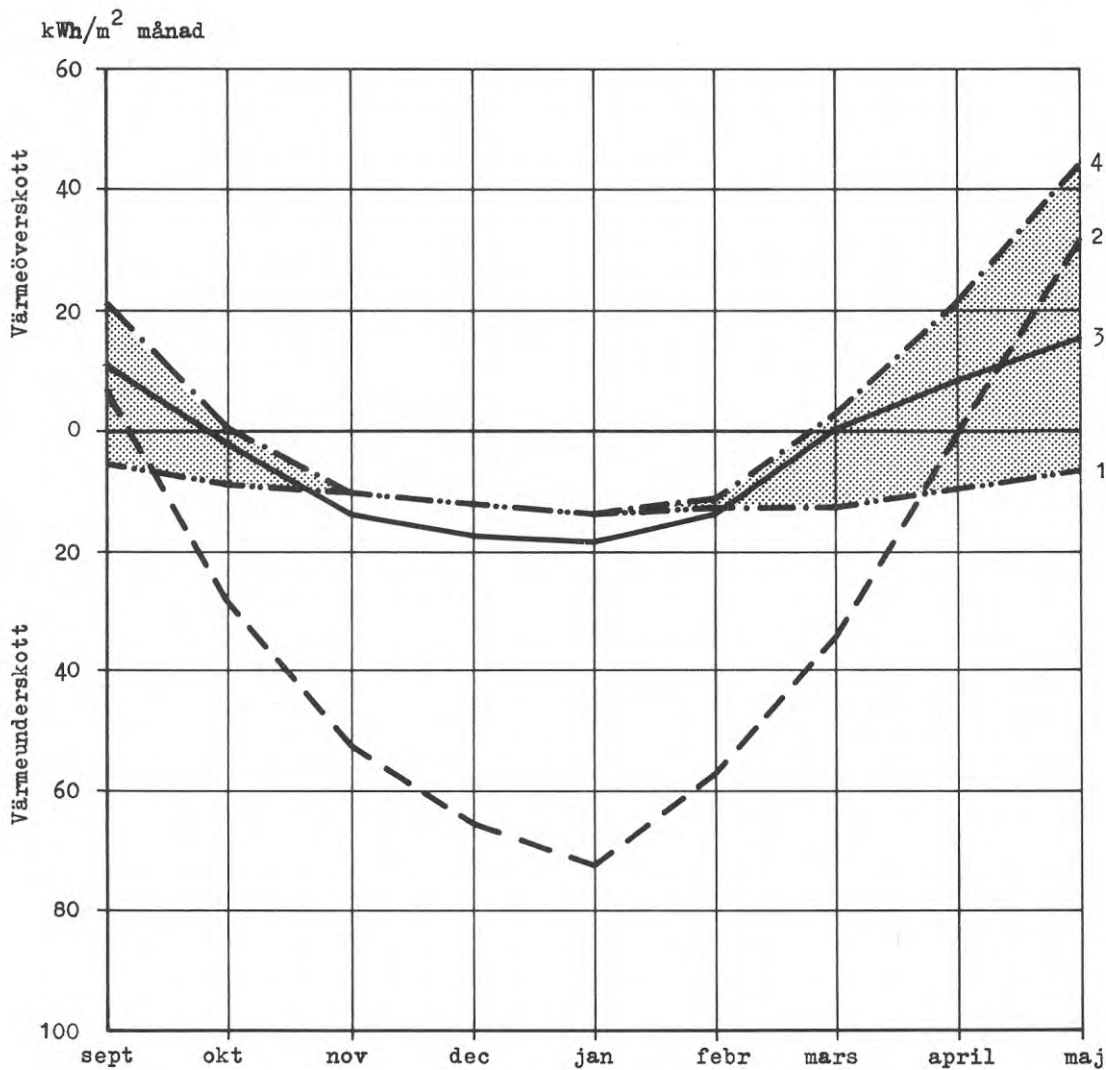


FIG. 10 Energibalans för 2-glasfönster enligt datorberäknade alternativ. 1 = luckorna alltid stängda ( $k = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), 2 = enbart 2-glasfönster, 3 = luckorna stängda "på natten", 4 = luckorna optimalt brukade. Kurvorna gäller Stockholm, väderstreck Ö (V). Skuggad yta = energivinst med luckor (alt. 4) jämfört med vägg  $k = 0,7$  (alt. 1).

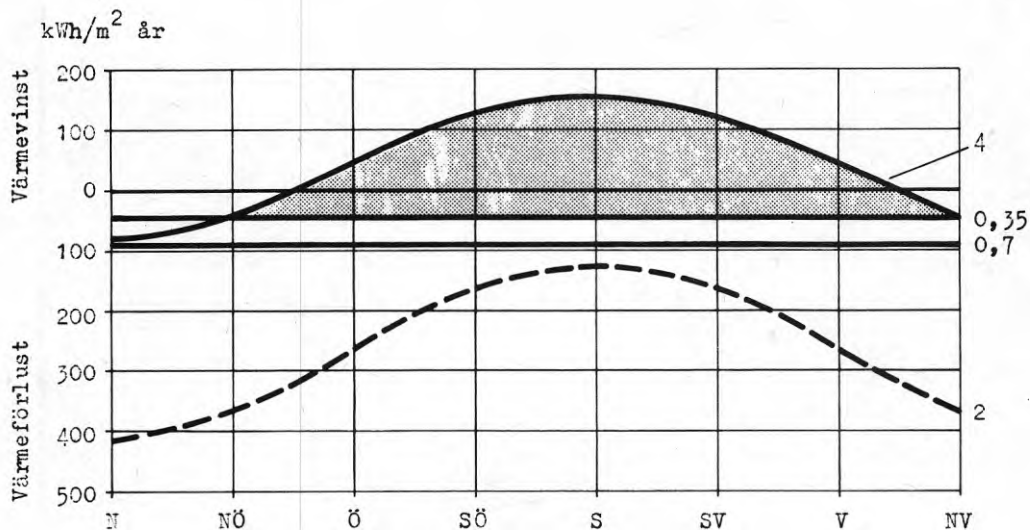


FIG. 11 Energibalans (energialdo) för 2-glasfönster med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning ( $E_{t,l,s}$ ) enligt datorberäkning. Heldragen kurva: med fönsterluckor (alt. 4). Streckad kurva: utan luckor (alt. 2). För jämförelse visas även kurvorna för två väggar,  $k$ -värde = 0,7 resp. 0,35 W/m<sup>2</sup>K. Samtliga kurvor avser Stockholm (latitud 59°) och eldnings-säsongen (sept.-maj).

## 4.4 Sammanfattning och slutsatser

TAB. 2 och FIG. 11 visar fönsterorienteringens och fönsterluckornas inverkan på fönsters energibalans. För Stockholm gäller t.ex. att den sammanlagda energiförlusten för enbart fönster  $k_{t,1} = 4,0$  (alt. 2) mot norr är mer än 3 ggr så stor som förlusten mot söder (412/128). Även med fönsterluckor (alt. 4) får man viss förlust i norr (79), men vinst i söder (152). Alt. 4 ger värmeöverskott för Stockholm och Malmö i riktningar utom NO/NV och N.

Det framgår av TAB. 2 och FIG. 11 att alt. 4 (fönsterluckor) i varje väderstreck är gynnsammare än alt. 1 (vägg:  $k = 0,7$ ) som i sin tur är gynnsammare än alt. 2 (enbart fönster). Detta förhållande ändras inte nämnvärt om  $k$ -värdet för alt. 1 sänks från 0,7 till ca  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tilläggas bör att detta gäller jämförelse från rent termisk synpunkt.

Det visar sig att luckorna, från energiekonomisk synpunkt, alltid borde vara stängda (även mot söder) under december i Malmö och Stockholm, därtill under november och januari i Luleå.

Utom månadsvärden för nettoenergiflöde redovisar datorberäkningen även motsvarande spec.flöden för resp. alternativ och väderstreck m a o resulterande  $k$ -värden (månadsmedelvärden). För alt. 1 samt alt. 3 och 4 vid stängda luckor, gäller därvid enligt föruts.  $k_{t,1} = k_r = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . I övrigt varierar värdet för  $k_r$  från + 4,0 (Luleå, alt. 2 i december) till - 6,8  $\text{W/m}^2\text{K}$  (Malmö, alt. 4 mot söder i september). FIG. 12 visar för Stockholm och februari, resp. april "resulterande  $k$ -värde" för beräknade alternativ och väderstreck.

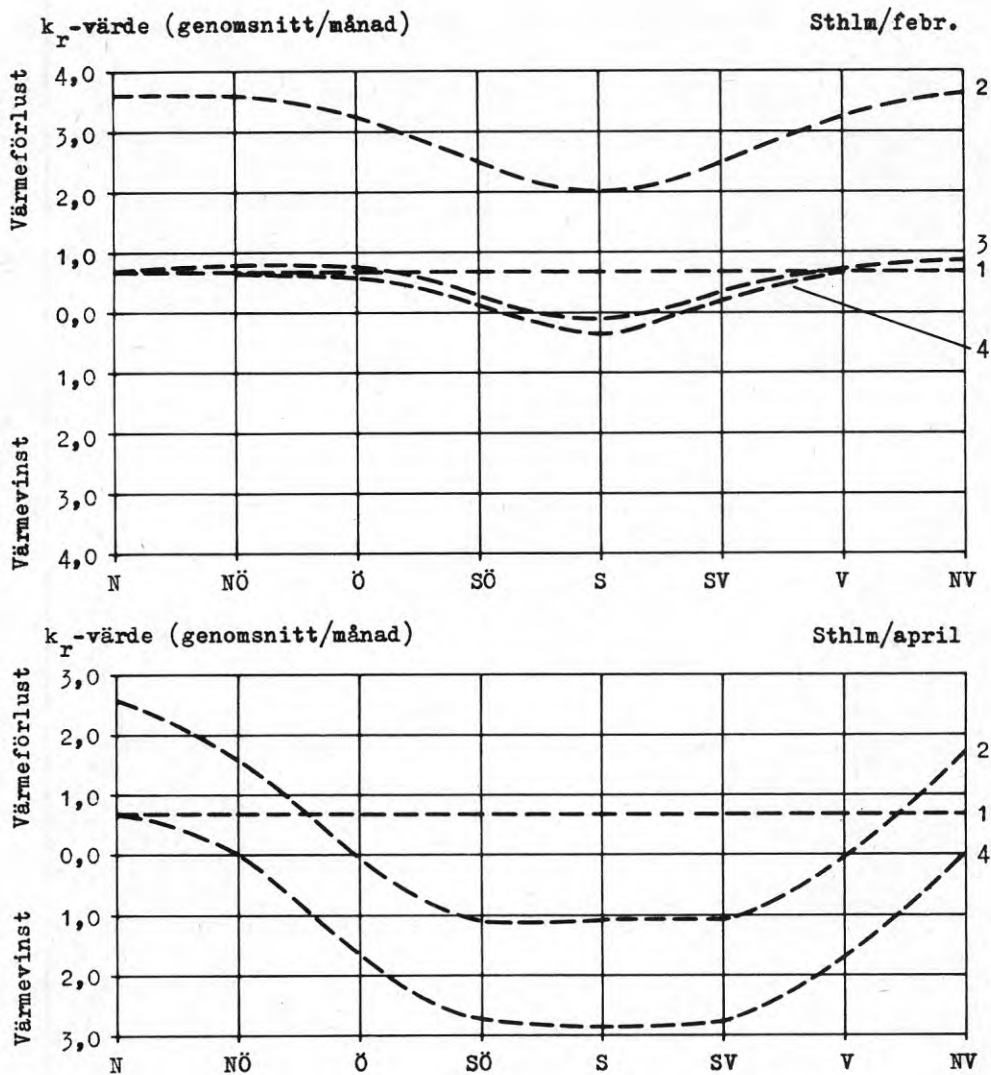


FIG. 12 "Resulterade  $k$ -värden" ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) för datorberäknade alternativ (1-4). Kurvorna avser månadsmedelvärden ( $\bar{k}_{t,1,s}$ ) för februari, resp. april i Stockholm.

FIG. 13 visar inverkan av fönstrets k-värde på energibalansen. Diagrammet gäller Stockholm riktning öster/väster. Det framgår att skillnaden mellan kurvorna för  $k = 4,0$  resp.  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  är liten, särskilt under vintermånaderna vid användning av luckor (alt. 4). Utan luckor (alt. 2) ger k-värdet  $3,0$  en energivinst = 25 å 30 % av värdet för  $k = 4,0$ .

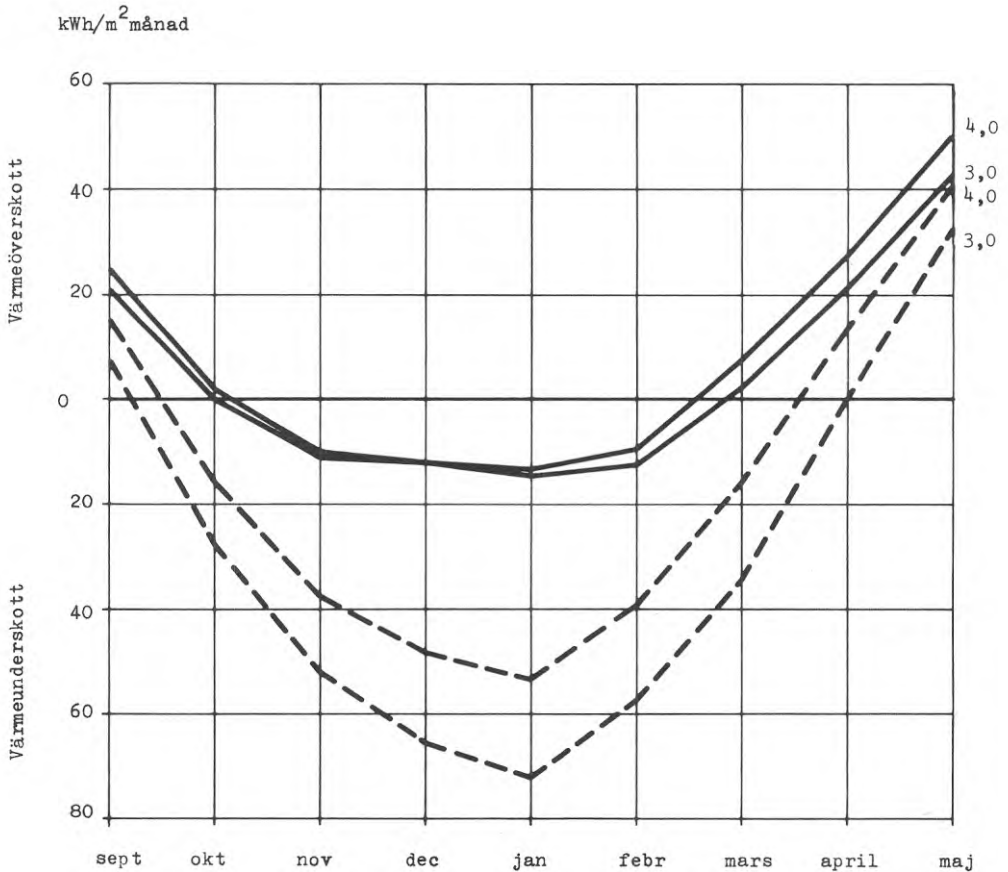


FIG. 13 Energibalans för 2-glasfönster med hänsyn till transmission, luftläckage och instrålning enligt datorberäkning. Heldragna kurvor: med fönsterluckor (alt. 4). Streckade kurvor: utan luckor (alt. 2). Fönstrets k-värde (utan instrålning):  $k_{t,1} = 4,0$  resp.  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Kurvorna gäller för Stockholm (latitud  $59^\circ$ ), riktning öster/väster.

Möjlig energibesparing med isolerande fönsterluckor framgår av TAB. 4. Värden för öster/väster kan betraktas som medelvärden för samtliga väderstreck, användbara vid överslagsmässiga beräkningar. Härvid måste dock fönstrens fördelning på väderstrecken uppmärksammas.

TAB. 4. Energibesparing med fönsterluckor, jämförelse alt. 2 och alt. 4, kWh/m<sup>2</sup> år (sept-maj). För fönstret gäller  $k_{t,1} = 4,0$  W/m<sup>2</sup>K. Procentuell vinst: Ö/V = (alt.2 - alt.4) 100/alt. 2.

Ort	N	S	Ö/V
Luleå	449	395	426 90 %
Stockholm	333	280	<u>311</u> 115 %
Malmö	292	248	273 124 %

Värdena för energibesparing enligt TAB. 4 gäller  $k_{t,1} = 4,0$  W/m<sup>2</sup>K för själva fönstret. För  $k = 3,0$  (rel. nya, väl tätade fönster) reduceras tabellens värden med genomgående ca 1/3 (till 66 å 68 % av tabellens värden).

## 5 FÖNSTERLUCKOR SOM ENERGIFAKTOR

## 5.1 Fönsters betydelse för energiåtgången

Energiåtgången i byggnader bestäms av olika anläggnings- och driftsfaktorer av vilka fönstren är en av de mest betydelsefulla. De för energiåtgången avgörande faktorerna uppvisar emellertid betydande variationer t.ex. ifråga om isoler- och ventilationsteknisk standard. Lägg därtill stora variationer ifråga om fönstrens termiska funktion.

Mot denna bakgrund är det vanskligt att ange värden för fönstrens betydelse som energifaktor. Med stöd av beräkningar avseende enskilda byggnadsobjekt och med viss hänsyn till luftläckage svarar fönstren uppskattningsvis, genomsnittligt för 20 á 25 % av nyttiggjord energi (för lokaluppvärmning). Resten fördelas ungefär lika på övrig transmission (genom väggar, tak etc.), luftomsättning och varmvatten. Nämda %-tal för fönstren avser enbart värmeförluster (utan hänsyn till transmitterad solvärme). Inom ramen för ett aktuellt forskningsprojekt redovisas fönstrens andel av den årliga värmebalansen för olika lägenhetstyper och energiteknisk standard (Adamsson, 1974).

TAB. 5. Fönstrens beräknade andel (kWh) av den årliga värmebalansen för två typlägenheter i Stockholm. Eftersträvad rumstemp. 21<sup>o</sup> C.

	Alt. A <sup>a</sup>			Alt. B <sup>b</sup>			Alt. C <sup>c</sup>		
	Bort	Till	Diff.	Bort	Till	Diff.	Bort	Till	Diff.
Småhus 125 m <sup>2</sup>	6000	1000	-5000	6000	4000	-2000	4000	6000	+2000
Lägenhet 75 m <sup>2</sup>	2900	-	-2900	2900	1800	-1100	1900	1800	-1000

<sup>a</sup> Medelgod standard, ingen termostatregering, därför begränsade möjligheter att utnyttja värmeöverskott t.ex. solvärme



<sup>b</sup> Rumstermostater möjliggör utnyttjande av solvärmeöverskott

<sup>c</sup> 3-glasfönster, huvudsakligen åt söder

Det framgår att för Stockholm ger 3-glasfönster, huvudsakligen åt söder värmeöverskott. Med isolerande fönsterluckor alt. 4 enligt TAB. 2 ernås ytterligare värmevinster. Även fönster öster/väster ger värmevinst i Stockholm, liksom fönster sydost/sydväst i Luleå.

Med isolerande fönsterluckor får man m a o ökade möjligheter till värmevinster genom instrålning.

## 5.2 Energibesparing med fönsterluckor

### 5.2.1. Statistiskt underlag

Det föreligger inte någon officiell statistik som redovisar fönsterytor i befintligt byggnadsbestånd. I TAB. 6 angivna genomsnittsvärden ( $m^2/lgh$ ) grundas på analyser av byggnaders värmeekonomi utförda inom Bostadsstyrelsen.

TAB. 6. Uppskattad specifik och total fönsteryta för landets bestånd av uppvärmda lokaler (exkl. industribyggnader).

Lokaltyp	Antal <sup>a</sup> lgh	Fönsteryta	
		$m^2/lgh$	$m^2$ totalt
Bostadshus flerf.	$2,0 \times 10^6$	10	$20,0 \times 10^6$
Bostadshus småhus	$1,4 \times 10^6$	20	$28,0 \times 10^6$
Övriga lokaler <sup>b</sup>	$1,8 \times 10^6$		$25 \times 10^6$
Fritidshus <sup>c</sup>	$0,6 \times 10^6$		$6,4 \times 10^6$
		Summa	$79,4 \times 10^6$

<sup>a</sup> Enligt EPU (DS I 1973:2)

<sup>b</sup> Avser skolor, kontor, affärshus o. likn. Uppskattning med stöd av total byggnadsvolym (DS I 1973:2 tab. 8:3)

<sup>c</sup> Av åretruntstandard

Medräknas även uppvärmda verkstäder och andra industrilokaler torde totala fönsterytan bli åtminstone  $100 \times 10^6 \text{ m}^2$  varav ca hälften i bostadshus.

### 5.2.2 Energibesparing per lägenhet

Antag fönsteryta per lägenhet enligt TAB. 6. Är fönstren likformigt fördelade runt huset kan värden enligt TAB. 4 för Ö/V betraktas som medelvärden. För Stockholms breddgrad blir då möjlig besparing med luckor för ett ordinärt småhus

$$\Delta E \approx 20 \times 310 \approx \underline{6200} \text{ kWh/år, hus.}$$

Detta gäller räknat på nyttiggjord energi (nettoenergi). Med t.ex. oljeeldning och en verkningsgrad = 65 % erhålls motsvarande mängd tillförd energi  $\Delta E \approx 6200/0,65 \approx \underline{10.000} \text{ kWh/år, hus.}$

För flerfamiljshus

$$\Delta E \approx 10 \times 310 \approx \underline{3100} \text{ resp. } 3100/0,80 \approx \underline{3900} \text{ kWh/år, lgh.}$$

Med EPU:s värden för genomsnittlig energiåtgång (SOU 1974:64 s. 141)

Småhus 26.900 kWh/år (netto) = ca 40.000 kWh/år (brutto)

Flerf.hus 17.500 kWh/år (netto) = ca 20.000 kWh/år (brutto)

erhålls procentuell besparing med luckor, räknat på total energiåtgång, för:

$$\text{Småhus } \Delta E \approx 10.000 \times 100/40.000 \approx \underline{25} \%$$

$$\text{Flerf.hus } \Delta E \approx 3.900 \times 100/20.000 \approx \underline{20} \%$$

Med ökad andel av fönsterytan mot nordliga riktningar blir besparingen något större, mot sydliga något mindre. Detta gäller alltså energibesparing med luckor (under natten). En förskjutning av fönsterfördelningen mot sydliga riktningar betyder däremot ökad värmevinst genom instrålning under dagen (TAB. 2). Anm. För lägenheter med relativt nya, väl tätade fönster ( $k_t = 3,0$ ) reduceras ovan anförda värden för energibesparing med ca 1/3.

### 5.2.3. Total energibesparing

För uppskattad total fönsteryta (5.2.1) och genomsnittlig besparingseffekt med isolerande luckor (TAB. 4) erhålls teoretiskt möjlig, total energibesparing  $\Delta E_{\text{tot}} \approx 100 \times 10^6 \times 310 \approx 31 \times 10^9$  kWh/år.

Av olika skäl kan givetvis inte alla fönster förses med isolerande luckor. Men även om detta sker i begränsad omfattning och successivt uppnås dock energibesparingar som får anses betydelsefulla som led i allmänna insatser för bättre energihushållning.

Låt oss anta att hälften av fönsterytan i beståndet av uppvärmda lokaler förses med isolerande luckor och att detta sker successivt med 10 % om året. Vid en nyproduktion av 80.000 lgh/år, varav hälften förses med fönsterluckor samt oljeuppvärmning med genomsnittlig verkningsgrad = 75 % erhålls årlig besparing av tillförd energi.

$$\Delta E_{\text{tot}} \approx 1,5/0,75 + 10^{-9} (20.000 \times 10.000 + 20.000 \times 3.900)$$

TWh/år

$$\Delta E_{\text{tot}} \approx 2,3 \text{ TWh/år}$$

Härtill kommer för andel av nyproduktion avseende andra uppvärmda lokaler uppskattningsvis 0,2 TWh/år

$$\Delta E_{\text{tot}} \approx \underline{2,5} \text{ TWh/år}$$

Som jämförelse kan nämnas följande värden enligt EPU

Bostadshus total energiåtgång (brutto 1972) 106,7 TWh/år

Total energiåtgång i fritidshus (1972) 2,4 TWh/år

Hälften av alla småhus förses med 3-glasfönster 1,35 TWh/år

Tilläggsisolering med 9 cm mineralull av alla befintliga stenväggar med k-värden = 0,75 - 0,90 W/m<sup>2</sup>K 2,6 TWh

Låt oss uppmärksamma att med isolerande fönsterluckor, liksom vid tilläggsisolering, är det fråga om årliga tillskott. Energibesparingen växer år för år. I föreliggande fall blir den t.ex. med fönsterluckor, vid bibehållna förutsättningar, under 5. året = 12,5 TWh

#### 5.2.4 Inverkan på dimensionerande effekt

Det bör vara av intresse att klarlägga isolerande fönsterluckors inverkan på dimensionerande effekt m a o på dimensioneringen av de för lokaluppvärmning erforderliga energisystemen. Detta har dock ansetts falla utom ramen för det aktuella uppdraget. (Sambandet energiåtgång resp. energibesparing och dimensionerande effekt är inte en frågeställning som aktualiseras speciellt av ifrågavarande forskningsuppgift). En antydning om storleken av den effektbesparing det kan vara fråga om ger följande exempel. Man kan bortse från solinstrålningen och ta hänsyn endast till skillnaden i k-värden ( $k_{t,1}$ ) för 2-glasfönster med och utan isolerande luckor. För ett ordinärt småhus med fönsteryta 20 m<sup>2</sup> och dimensionerande utetemperatur - 18° C erhålls:

$$\text{Effektbesparing} = 20 \times 40 (4,0 - 0,7) = \underline{2.640} \text{ W}$$

För hela byggnadsbeståndet, om hälften därav förses med isolerande fönsterluckor, erhålls total, teoretiskt möjlig effektbesparing  $50 \times 10^6 \times 40 (4,0 - 0,7) 10^{-6} \underline{6.600} \text{ MW}$

6	EKONOMISK BEDÖMNING	
6.1	Beteckningar och definitioner	
$K_e$	energikostnad	kr/m <sup>2</sup>
$E_p$	energipris	öre/kWh
$K_a$	anläggningskostnad (investering), fönsterluckor	kr/m <sup>2</sup>
A	annuitetsfaktor	%
n	amorteringstid	år
N	brukstid	år
P	kapitalränta (låneränta, internt förräntningskrav)	%
R	förräntning på anläggningskostnad	%

Följande samband gäller

$$A = \Delta K_e \cdot 100 / K_a = \Delta E \cdot E_p \cdot 0,01 \cdot 100 / K_a = \Delta E \cdot E_p / K_a \quad \%$$

Värden för  $\Delta E$  = energibesparing med luckor erhålls ur TAB. 4.

## 6.2. Tekniska förutsättningar

På nuvarande stadium av teknisk utveckling ställs man inför vissa problem när det gäller bedömning av isolerande luckors lönsamhet. Marknadspriset påverkas givetvis av efterfrågan. Någon löpande produktion förefinns emellertid ännu inte varför tillverknings- och monteringskostnad måste bedömas med stöd av förkalkyler. Härvid finns anledning skilja mellan följande fall.

### Luckor för befintliga hus

En anpassning måste ske till byggnadsobjektens förutsättningar, d.v.s. till fönstrens format, placering och konstruktion liksom till vägg- och fasadmateriäl. En preliminär undersökning visar att spridningen av fönsterformat inte behöver vara något hinder för tillverkning av långa serier av samma format. Några få fönsterdimensioner är nämligen klart dominerande.

Anpassningen till befintlig bebyggelse gäller inte bara tekniskt utan även miljömässigt. Å andra sidan bör isolerande luckor - med lämplig utformning och färgsättning i många fall - kunna bli ett stimulerande inslag i gatubilden.

### Samproduktion av fönster och luckor

kommer i första hand ifråga för nya hus men även vid montering av nya fönster i befintliga hus. Samproduktion ger gynnsamma möjligheter att från början anpassa luckorna - tekniskt och estetiskt - till fönster- och väggkonstruktion liksom till fasadutformningen. Också från ekonomisk synpunkt bör samproduktion ge klara fördelar.

### Projektering för luckor

Vid användning av isolerande fönsterluckor är det önskvärt att dessa planeras in redan på projekteringsstadiet bl.a. med hänsyn till erforderligt utrymme för luckorna.

## 6.3      Energipriset

Energipriset har avgörande effekt på lönsamheten. Principiellt bör hänsyn tas till förväntad prisutveckling eftersom den ekonomiska bedömningen bör grundas på genomsnittligt energipris under luckornas brukstid. Energipriset påverkas, utom av energins direkta produktionskostnad, även av en rad andra faktorer alltifrån allmän prisutveckling (inflation) till miljöhänsyn och resursbegränsning.

#### 6.4 Effektbesparing

Luckornas inverkan på dimensionerande effekt (marginalkostnad) bör uppmärksammas i samband med nyproduktion, liksom vid utbyte av värmesystem, resp. övergång till nytt uppvärmningssätt i befintlig bebyggelse. I princip bör minskning av effektbehov och anläggningskostnad som uppnås med isolerande luckor slås ut per  $m^2$  fönsteryta ( $A_f$ ) och anläggningskostnaden ( $K_a$ ) minskas därmed. Med anknytning till vad som anförts under 5.2.4 bortses dock här från denna effekt. Vid mer omfattande användning av isolerande fönsterluckor, liksom vid tilläggsisolering i allmänhet, torde man dock uppnå effektvinster som bör beaktas, i samband med energiprognoser och vid översiktlig energiplanering.

#### 6.5 Nyttoeffekter utöver energibesparing

Med isolerande fönsterluckor uppnås även andra gynnsamma verkningar vid sidan om energi- och effektvinster. I många fall kan t.ex. krav på bättre ljusisolering vara det primära, krav som aktualiseras bl.a. av trafikbullerutredningens betänkande (SOU: 60, 1974). Vanliga, enkla fönsterluckor har i de flesta fall enbart dekorativ funktion som bör kunna uppnås även med isolerande luckor. I sammanhanget kan också nämnas bullerdämpning i gaturummet, mörkläggnings och solavskärmning. Sådana önskvärda sidoeffekter bör om möjligt beaktas vid lönsamhetsbedömning.

I de fall isolerande luckor i första hand motiveras av bullerskyddskrav bör sålunda ekonomiska jämförelser mellan olika tekniska lösningar (som tillgodoser kravet på bullerskydd) ta hänsyn också till energivinster och ev. andra från kostnadsynpunkt relevanta funktioner. I andra fall kan energibesparing vara av primärt intresse men luckorna även tillgodose önskemål om bättre bullerskydd.

I den mån luckorna ersätter annan erforderlig utrustning, t.ex. persienner eller mörkläggningsgardiner, kan luckornas anläggningskostnad reduceras med motsvarande belopp. Detsamma gäller



för ev. effektvinster. Verknningar som bättre ljudisolering, ökad säkerhet mot inbrott och vid brand bör, om de kan värderas ekonomiskt, principiellt kunna räknas samman med årlig energibesparing. Det har ansetts falla utom ramen för uppdraget att närmare analysera betydelsen av här berörda sidoeffekter. I det följande redovisade beräkningsfall grundas sålunda enbart på energivinster enligt datorberäkningen (TAB. 4).

#### 6.6 Energivinst och lönsamhet - beräkningsexempel

Man har studerat själva fönstrets ekonomi och därvid bl.a. jämfört 2- och 3-glasfönster (B. Adamsson och I. Höglund, 1957 m.fl.). I föreliggande undersökning jämförs 2-glasfönster utan och med isolerande luckor, alltså alt. 2, 3 och 4 enl. datorberäkningen (4.3.2). Årlig energibesparing med luckor erhålls ur TAB. 4. För fönstret gäller alltså  $k_{t,1} = 4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Det försätts fri horisont (ingen skuggning).

FIG. 14 visar lönsamhet med luckor vid optimal användning av dessa, (jämf. alt. 4 och 2). Lönsamheten uttryckt som annuitetsfaktor (A) erhålls som funktion av energipriset. R-skalan ger mot annuiteten svarande förräntning på investerat kapital ( $K_a$ ) vid en antagen brukstid = 30 år, n-skalan ger den tid som behövs för att amortera investerat kapital vid en räntesats = 5%.

Anm. Fr.o.m. 1975 är annuiteten för hyres- och bostadsrättshus 4 % (1. året) enligt Bostadsfinansieringsförordningen. Det försätts att annuiteten ökar långsamt i takt med inflationen. Om bränslepriset följer den allmänna prisutvecklingen (inflationen) innebär detta att lönsamheten håller sig ungefär konstant. Skulle energipriset öka snabbare, vilket ter sig sannolikt, förbättras lönsamheten i motsvarande grad.

Kurvorna avser fönsterorientering Ö/V för Luleå, Stockholm och Malmö. För heldragna kurvor gäller  $K_a = 500 \text{ kr/m}^2$ . Denna kostnad avser monterade luckor i befintligt hyreshus i Stockholm enligt kalkyl utförd inom Stockholmshem AB (dec. 74). Det gäller här - i första hand - ett begränsat antal fönster vilkas ljudisolering

skall förbättras.

Vid löpande produktion och montering av luckor i större serier bör ett lägre pris kunna uppnås, uppskattningsvis  $400 \text{ kr/m}^2$ , svarande mot streckade kurvor i FIG. 14. Ex. för  $K_a = 400$  och  $E_p = 10$  erhålls för Ö/V i Stockholm  $A = 7,8 \%$ ,  $R = \text{ca } 6,5 \%$ ,  $n = \text{ca } 21$  år.

FIG. 15 visar fönsterorienteringens betydelse för Stockholm. Heldragna kurvor avser N, S, Ö/V vid optimal användning av luckorna (alt. 4). Streckade kurvor avser N och S enligt alt. 3 d.v.s. med något kortare stängningstid för luckorna än vid alt. 4. För samtliga fall gäller  $K_a = 400 \text{ kr/m}^2$ .

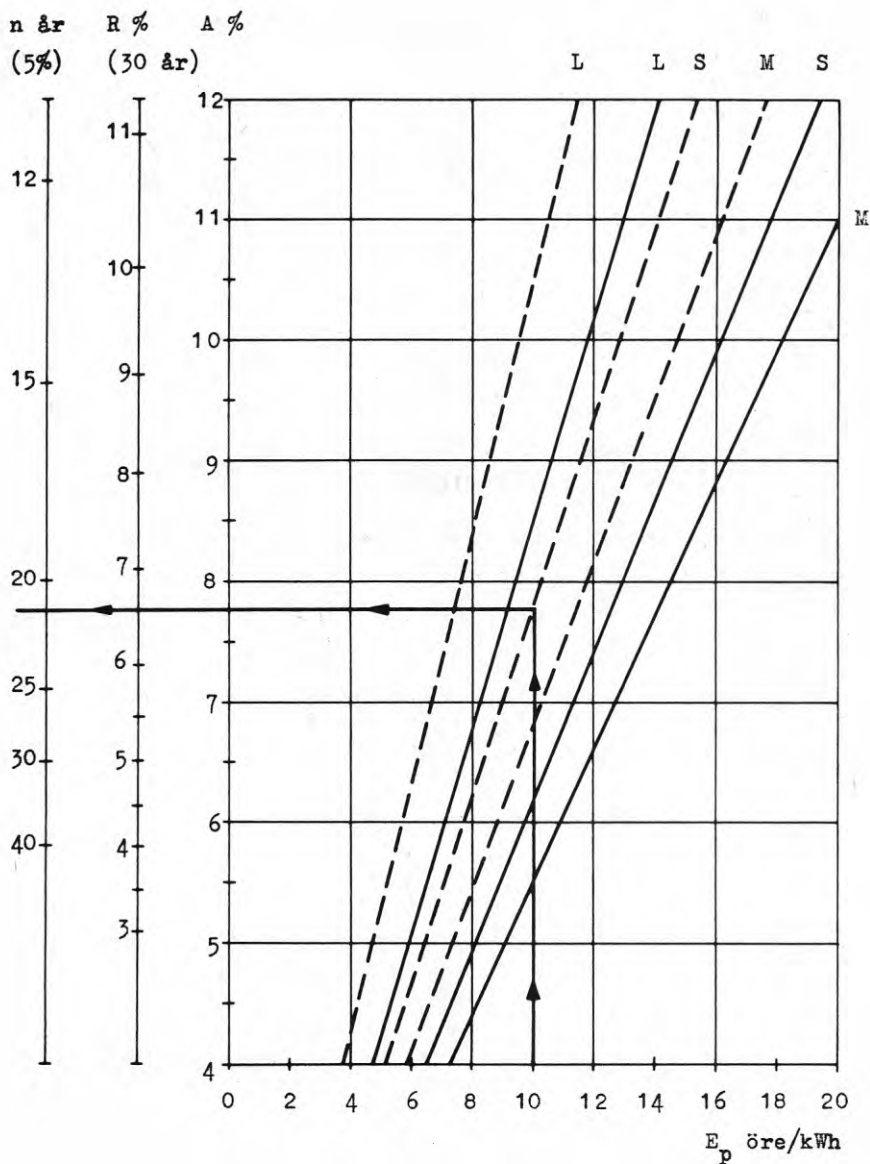


FIG. 14

Fönsterluckors lönsamhet med hänsyn till energibesparing som funktion av energipriset ( $E_p$ ). Jämförelse mellan alt. 2 och 4 enligt datorberäkning. Kurvorna gäller montering i befintligt hus i Luleå (L), Stockholm (S) och Malmö (M). Väderstreck Ö (V). Heldragna kurvor  $K_a = 500 \text{ kr/m}^2$ , streckade kurvor  $K_a = 400 \text{ kr/m}^2$ .

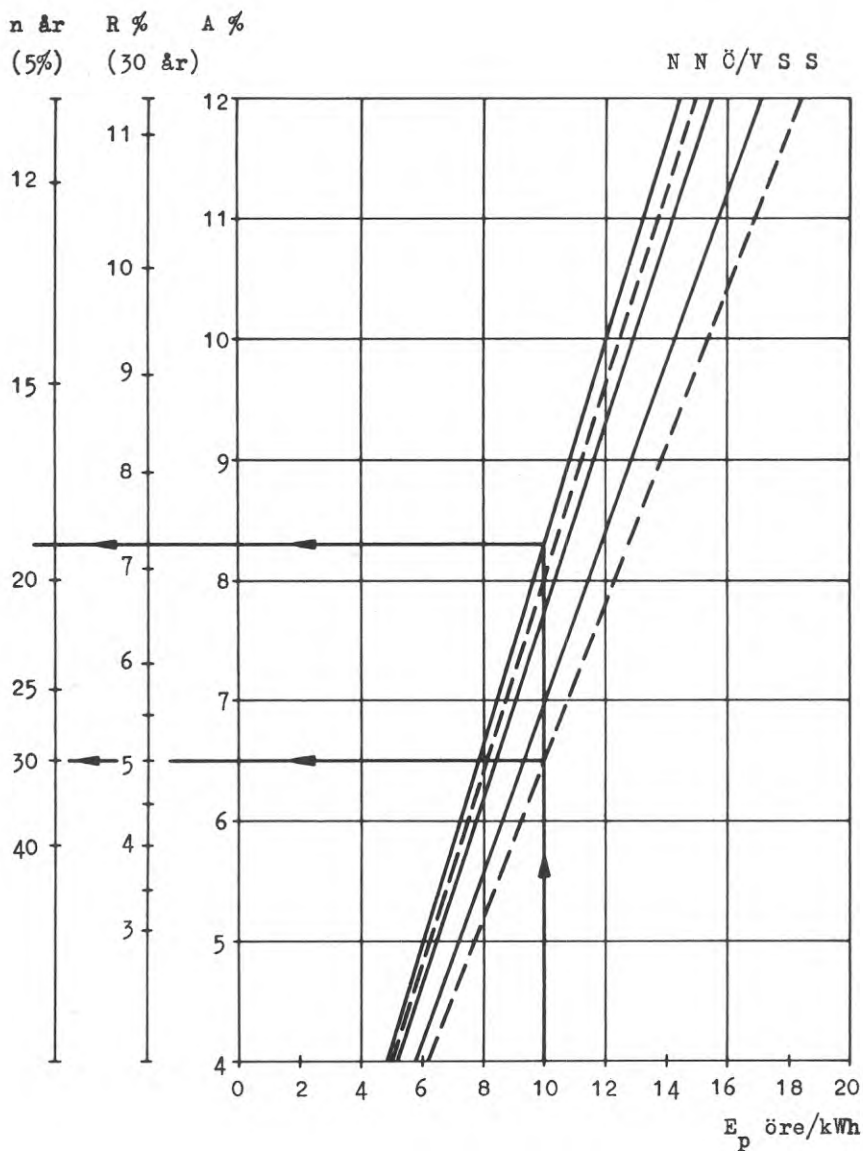


FIG. 15

Fönsterluckors lönsamhet med hänsyn till energibesparing som funktion av energipriset ( $E_p$ ). Heldragna kurvor = alt. 4, väderstreck N, Ö (V), S, visar fönsterorienteringens inverkan. Streckade kurvor = alt. 3. Kurvorna gäller Stockholm och  $K_a = 400 \text{ kr/m}^2$ .

Man finner t.ex. av FIG. 15 att för  $E_p = 10$  gäller för fönster mot:

söder  $A = 7,0$   $R = \text{ca } 5,7$   $n = \text{ca } 26$

norr  $A = 8,3$   $R = \text{ca } 7,3$   $n = \text{ca } 18$

Man finner vidare att för fönster mot söder ökar värdet på A från 6,5 till 7,0, mot norr från 8,0 till 8,3 vid övergång från alt. 3 till alt. 4. Skillnaden i stängningstid mellan dessa alternativ har alltså ingen större inverkan på lönsamheten.

Samproduktion av fönster och luckor i större serier och viss hänsyn till minskat investeringsbehov (6.2.3) ger uppskattningsvis  $K_a = \text{ca } 300 \text{ kr/m}^2$ . För Stockholm Ö/V och energipriset 10 öre erhålls enligt FIG. 16  $A = 10,4 \%$   $R = 9,7 \%$   $n = 13$  å 14 år.

Vid ovannämnda av Stockholms hem utförda beräkning gällde det närmast att tillgodose krav på bättre ljusisolerings. Lönsamheten för samtidig förbättring av värmeisoleringen borde då grundas på beräknad merkostnad för värmeisoleringen som i detta fall inte torde överstiga  $50 \text{ kr/m}^2$ . Vi får med samma förutsättningar som tidigare  $A = \text{ca } 62 \%$  (för kompletterande värmeisolering) vilket ger  $n = 1 \text{ å } 2$  år.

Jämförande kostnadsberäkningar enl. ovan bör verifieras genom efterkalkyler i samband med praktisk utprovning av isolerande fönsterluckor. Jämförande lönsamhetsbedömningar bör så långt möjligt ta hänsyn till alla relevanta kostnader och nyttoeffekter.

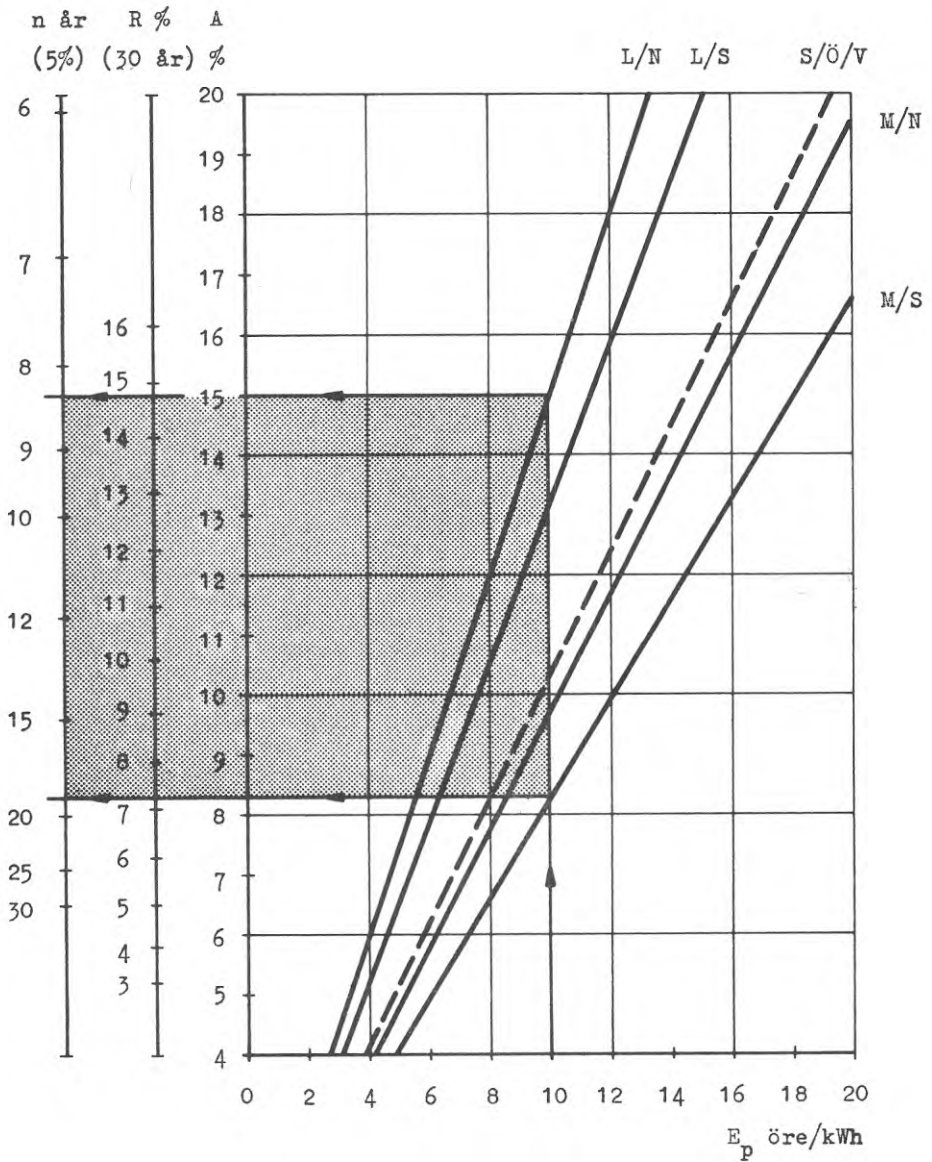


FIG. 16 Fönsterluckors lönsamhet med hänsyn till energibesparing som funktion av energipriset ( $E_p$ ). Jämförelse alt. 2 och 4 enligt datorberäkning. Fönster och luckor förutsätts samproducerade,  $K_a = 300 \text{ kr/m}^2$ . Heldragna kurvor Luleå, resp. Malmö. Streckad kurva Stockholm. Väderstreck Ö (V).

I rapporten analyseras inledningsvis fönsters och fönsterluckors termiska funktioner. Dessa konstateras vara beroende av ett flertal varierande, delvis osäkra faktorer: fönstrens tekniska utformning och kvalitativa standard, fönstertyornas orientering, ventilationsprincip, omgivande bebyggelse och topografi (kan påverka instrålningen), geografiskt läge m.m.

I rapportens huvudavsnitt belyses och diskuteras isolerande fönsterluckors termiska effekter m a o betydelsen för fönsters värmebalans, för inomhusklimat och energiåtgång. Detta sker med stöd av datorberäknade energiflöden (värmeförluster, instrålning) för olika väderstreck, månader och geografiska lägen (Luleå, Stockholm, Malmö). Beräkningen omfattar förutom enbart 2-glasfönster även väggkonstruktion ( $k = 0,7$ ) och två alt. med fönsterluckor.

Det konstateras att förhållandevis stora energivinster bör vara möjliga med lämpligt utformade, rationellt brukade fönsterluckor. Jämförelse görs med andra åtgärder för energisparande. Därjämte uppnås gynnsamma effekter på inomhusklimatet vilka indirekt kan få återverkan på energiåtgången genom att möjliggöra lägre rumstemperatur.

Avslutningsvis behandlas fönsterluckors ekonomi (lönsamhet). Med stöd av tillgängliga forskningsresultat grundas härvid beräkningarna på ett antaget  $k$ -värde  $= 4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  för 2-glasfönster med hänsyn till transmission (inklusive randförluster) och luftläckage. Det valda värdet bör betraktas som ett genomsnittligt, praktiskt tillämbart värde för fönster i det befintliga byggnadsbeståndet. Avgörande för valet av  $k$ -värde har vidare varit en analys av fönsterluckornas termiska funktioner.

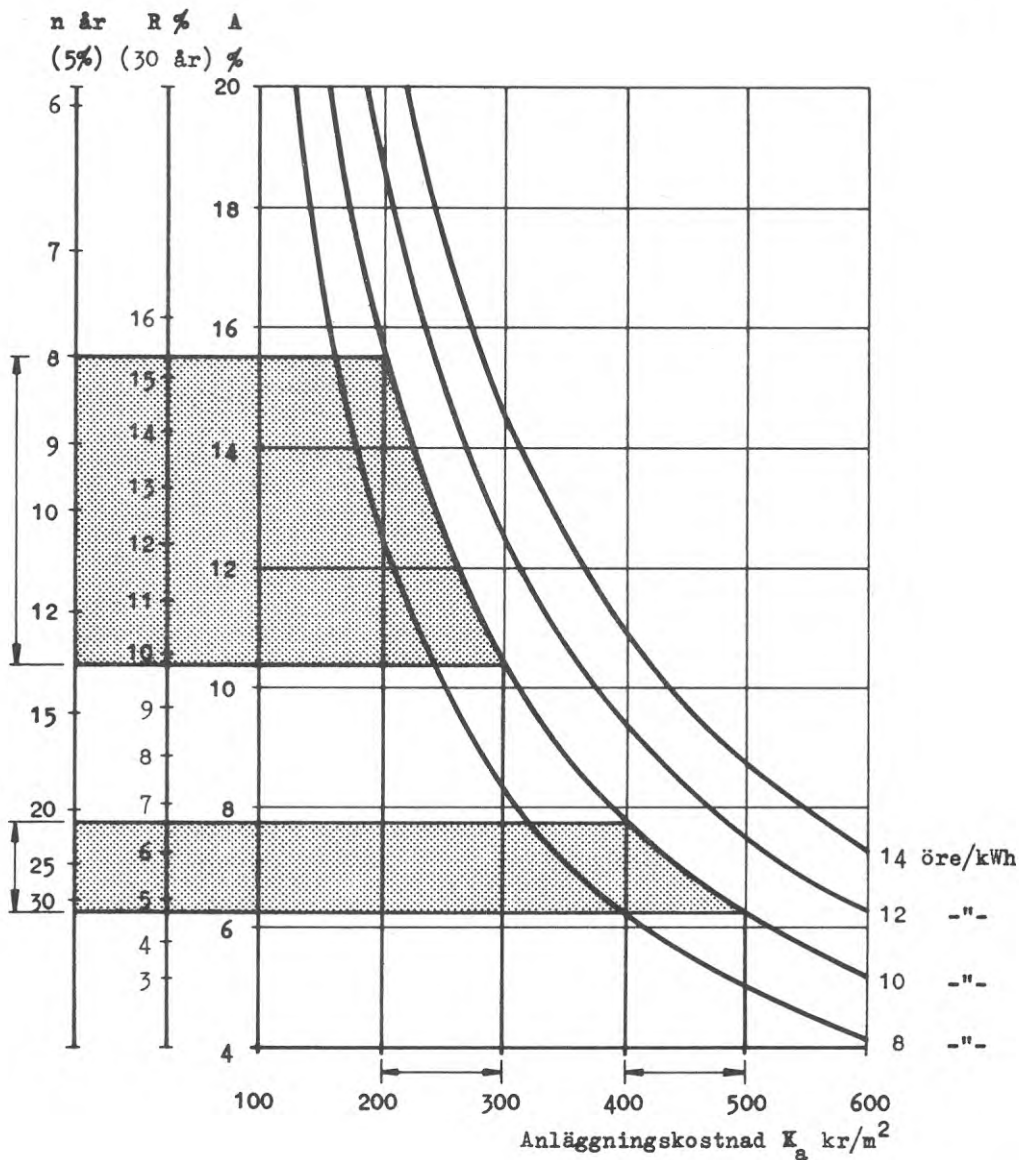


FIG. 17 Fönsterluckors lönsamhet med hänsyn till energibesparing som funktion av anläggningskostnaden ( $K_a$ ) vid olika energipriser ( $E_p$ ). Jämförelse alt. 2 och 4 enligt datorberäkning. Kurvorna avser Stockholm Ö (V) (= ungefärligt medelvärde för landet).



För nya, väl tätade fönster kan man förutsätta ett lägre k-värde säg  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Energivinsten under luckornas stängningstid minskar därmed i motsvarande grad eller till  $(3,0 - 0,7) 100/4,0 - 0,7 =$  ca 70 % av datorberäkningens värden. Emellertid påverkar valet av k-värde för fönster också luckornas stängningstid, därmed instrålningen och fönstrets totala energibalans. Skillnaden i energibesparing med luckor, vid olika k-värden hos fönster, kan därför inte erhållas mer exakt genom enkel proportionering enligt ovan.

En kompletterande datorberäkning har därför utförts för 2-glasfönster med k-värde  $= 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  (TAB. 3). Denna beräkning visar att värmevinsten med luckor (alt. 4/alt. 2) reduceras med ca 1/3 jämfört med de värden som gäller för  $k = 4,0$  (TAB. 4).

Uttrycket för lönsamhet är kvoten mellan beräknad besparing och anläggningskostnad (6.1). Vid samproduktion av (nya) fönster och fönsterluckor bör man enligt en förkalkyl (jan. 75) kunna räkna med lägre kostnad än de värden som förutsatts i diagrammen (FIG. 14 - 17), d.v.s.  $300 - 500 \text{ kr/m}^2$ . En anläggningskostnad  $K_a =$  ca 65 å 70 % av dessa värden eller 200 - 350 kr synes realistisk. Man synes alltså kunna räkna med ungefär samma annuitetsfaktor (A) antingen det gäller befintliga eller nya hus.

Från ekonomisk synpunkt bör man också lönsamheten vid användning av luckor till nya fönster ( $k = 3,0$ ) inte bli sämre än för användning av luckor till befintliga fönster ( $\bar{k} = 4,0$ ). I själva verket torde de ekonomiska förutsättningarna vara gynnsammare vid samproduktion genom bättre möjligheter till anpassning (tekniskt och arkitektoniskt) och möjlig besparing vad gäller anläggningskostnader (dimensionerande effekt, persienner o.d.).

Diagrammen FIG 17 visar hur lönsamheten varierar med anläggningskostnad, energipris, väderstreck och geografiskt läge. Redovisade beräkningsfall bör uppfattas som orienterande och grund för mer fullständiga kostnadsanalyser. Därvid bör om möjligt också andra nyttoeffekter än ren energibesparing tas

med i bilden, liksom energiprisets sannolika utveckling.

Men energisparande är inte bara eller ens främst en privat - eller fastighetsekonomisk angelägenhet. Åtgärder för bättre energihushållning måste bedömas i ett bredare och längre perspektiv där begrepp som försörjningsberedskap, resurshushållning och miljövård ger vidgad innebörd åt begreppet "lönsamhet" (FIG. 18).

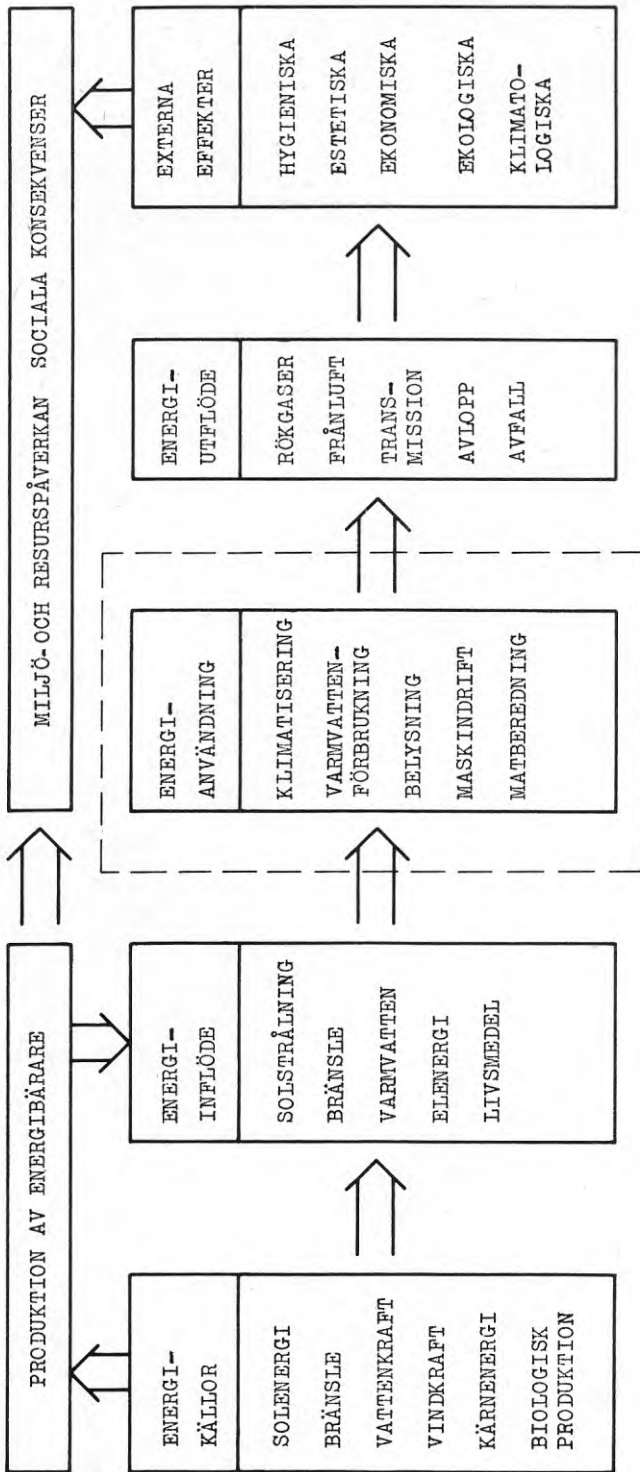


FIG. 18 Begreppsschemat beskriver byggnaden som "energisystem" och dess koppling till omvärlden genom, vanligen irreversibel, miljöpåverkan och resursförbrukning.

Adamsson, B, Boysen, A, Brown, G & Holm, L, 1965, Projektering för och emot solinstrålning. (Svenska teknologföreningen, Kursverksamheten). Stockholm.

Adamsson, B, 1972, Värmetransport genom fönster, Kompendium.

Adamsson, B, 1974, Tekniska möjligheter till energibesparing i byggnader. (Energirådets utfrågning om energihushållning 1974-12-18).

Adamsson, B & Källblad, K, 1975, Dags för treglasfönster. Väg- och vattenbyggaren 1 - 2, 1975. Stockholm.

Backmark, L, 1966. Sidhängda fönster. (HSB:s riksförbund). Stockholm.

Bergvall, L & Dahlberg, E, 1944, Värmeisolering och lufttätethet hos fönster. Byggmästaren, 15, årg. 1944, p. 1-9. Stockholm.

Byberg, M, R, 1970, Vinduers taethed mod vind och regn. Byggeindustrien, 19, okt. årg. 21. Köpenhamn.

Cederholm, J, 1974, Värmebehov och energiförbrukning vid värmeförsörjning av bostäder. (Arbets-PM, Bostadsstyrelsen, Värderingsbyrå 1974-05-15). Stockholm.

Elmroth, A & Höglund, I, 1973, Värmebalans i småhus. (Statens råd för byggnadsforskning). Stockholm.

Energiprognosutredningen, 1974, Energi 1985 2000. (SOU 1974:64 Industridepartementet). Stockholm.

Höglund, I & Stephenson, D, G, 1968, Tabeller för beräkning av solinstrålning mot byggnader. (Statens institut för byggnadsforskning). Rapport 49:1968. Stockholm.

Höglund, I & Åhlgren, B, 1973, Fönsterteknik. (Byggförlaget). Stockholm.

- Höglund, I, 1974, Solenergi för byggnader. VVS, 9. Stockholm.
- Isfält, E, 1974, Optiska och termiska egenskaper hos fönster och solskydd. Stockholm.
- Lyng, O, 1965, Värmetransport genom fönster. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport 15/65. Stockholm.
- Munther, K, E, 1974, Energiförbrukning i småhus. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport 58:1974. Stockholm.
- Petersen, E, 1966, Solinfald gennem vinduer. (Danmarks tekniske højskole, Laboratoriet for varmeisolering). Meddelelse nr. 13. Köpenhamn.
- Pleijel, G, 1954, The computation of natural radiation in architecture and town planning. (Statens nämnd för byggnadsforskning). Medd. 25. Stockholm.
- Pleijel, G, 1959, Fönstrets värmebalans. Byggmästaren, 1, 1959. Stockholm.
- Schüle, S, 1962, Untersuchungen über die Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern. Gesundheits-ingenieur, 6, p. 153-184.
- Seifert, E & Froelich, H, 1974, Messungen der Luftdurchlässigkeit von Fenstern verschiedener Bauarten in bewohnten Wohnungen. (Österreichisches Institut für Bauforschung). Forschungsbericht 117/2. Wien.
- Wigen, R, 1963, Vinduer tekniske og økonomiske synspunkter. (Norges byggeforskningsinstitutt). Håndbok 15. Oslo.













**R43:1975**

TEKNISKA HOGSKOLEN I LUND  
SEKTIONEN FÖR VÄRME OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

**Denna rapport avser anslag 730468-1 från Statens råd för  
byggnadsforskning till Folke Hagman, Skövde.  
Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm  
Grupp: installation**

**Pris: 18 kronor + moms**