



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

R7:1973

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Värmebalans i småhus

Arne Elmroth

Ingemar Höglund

Byggforskningen

Värmebalans i småhus

Teoretiska och experimentella undersökningar avseende ett mineralullsisolerat regelhus

Arne Elmroth & Ingemar Höglund

Målsättningen för denna undersökning har varit att belysa de faktorer som påverkar i första hand ett småhus värmebalans. För den skull har fullskaleförsök i ett särskilt provhus genomförts. Vad man behöver känna till i praktiken har oftast ett sådant samband både med hur materialen appliceras i konstruktionen och hur byggnaden skall fungera att man inte enbart kan bestämma detaljfunktionerna var för sig. Noggranna bestämmingar av värmeisoleringsegenskaperna hos det omslutande yttre skalet till ett hus är därför nödvändiga för att kunna bedöma och jämföra olika konstruktioner och material.

De flesta bostadshus uppvärms med olja. Även den energi som utnyttjas för eluppvärmning produceras till stor del i oljeeldade värmekraftverk. Det är därför såväl av samhällsekonomiska skäl som från miljövårdssynpunkt av stort intresse att begränsa energiförbrukningen för uppvärmningsändamål. Undersökningarna i det aktuella provhuset utgör en fortsättning och utvidgning av tidigare undersökningar som utförts vid institutionen för byggnadsteknik, KTH.

Försökshus och försöksmetodik

Försökshuset är ett enplanshus med inredningsbar vind. Våningsytan är ca 104 m². Det är ett trähus med regelkonstruktion. Värmeisoleringen utgörs i ytterväggarna av 12 cm tjocka mineralullsskivor och i vindsbjälklaget av 2 x 10 cm mineralullsskivor plus 2 x 2,5 cm mineralullsmattor, se FIG. 1. Den yttre randzonen — inom 1 m från yttervägg — av golvet har 2 x 4 cm mineralullsmattor medan resten av golvet har isolerats med enbart 1 st 4 cm mineralullsmatta. Samtliga fönster innehåller tre glasrutor. Från värmeekonomisk synpunkt har huset i det närmaste optimal isolergrad.

Vid projekteringen av huset har avsikten varit att på bästa sätt tillvarata mineralullens värmeisoleringsförmåga. Speciell omsorg har bl a lagts vid att få ett så tätt hus som möjligt.

Undersökningarna har omfattat en noggrann bestämning av klimatet såväl inne i huset som utanför detsamma. Energiförbrukningen har bestämts både för dag och natt samt för hela dygn i varje rum under en eldningsssäsong. Värmeflöden genom väggar, golv och tak har kontinuerligt bestämts. Den ofrivilliga ventilationen har bestämts vid olika ytterklimat.

Värmemotstånd hos olika byggnadsdelar

Värmeöverföring i mineralullsisolerade konstruktioner behandlas ingående. En rad forskare har studerat och bestämt hur värmeöverföringen sker i själva mineralullen. Betydligt färre undersökningar föreligger däremot av hur värmeöverföringen sker i mineralullsisolerade byggnadskonstruktioner i praktiken. Framför allt konvektionens inverkan på värmeöverföringen beror på en hel rad mer eller mindre svårbestämda konstruktionsfaktorer, såsom inverkan av bristande utfyllnad hos isoleringen, springor och spalter mellan mineralull och omgivande väggdelar, otätheter i vindskydd, inverkan av installationer i konstruktionerna etc.

För att få en god värmeisolering i en byggnad erfordras

- ett isolermaterial med lämpliga tekniskt-fysikaliska egenskaper,
- väl anpassad projektering avseende såväl den byggnadstekniska utformningen som installationerna,
- riktigt arbetsutförande och noggrann kontroll.

Ytterväggarnas värmemotstånd har kontinuerligt bestämts på nivån 1,6 m över golv. Om man bortser från värmeflödets variation i höjddled hos de

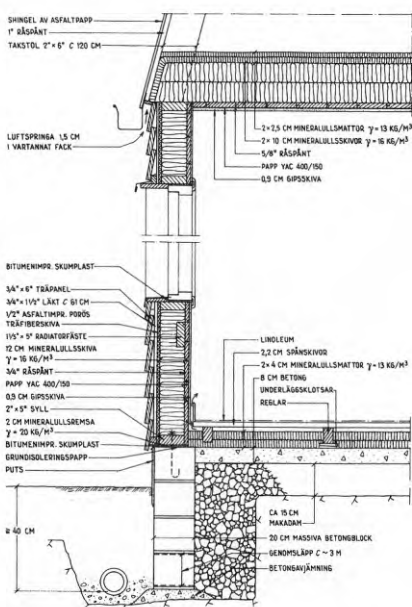


FIG. 1 Vertikalsektion genom ytterväggskonstruktionen i regelhuset omfattande även anslutningar mot fönster, vindsbjälklag och yttertak, samt golv och grund. I samtliga fall har mineralullsisoleringen varit av typ glasull (Gullfiber).

Bygghforskningen Sammanfattningar

R7:1973

Nyckelord:

småhus, värmebalans, fullskaleförsök, värmemotstånd, ventilation, solvärmeinläckning, energiförbrukning

Rapport R7:1973 avser anslag C 575 från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm.

UDK 69.001.5
697.003
697.133
699.86
728.3

SfB A
ISBN 91-540-2107-3

Sammanfattning av:

Elmroth, A & Höglund, I, 1973, *Värmebalans i småhus*. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R7:1973, 144 s, ill. 25 kr.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

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

aktuella ytterväggarna är de bestämda värmemotstånden mycket höga – så höga att det beräknade värmeledningstalet för mineralullen skulle vara lägre än $0,035 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$, se FIG. 2. Detta värde tillämpas för närvarande för mineralull av kvalitetsgrupp A medan kvalitet B använts vid provhuset. Emellertid har värmeflödet för de undersökta ytterväggarna varierat betydligt i höjdled. Detta beror på smärre köldbryggor vid golv och tak men i ännu högre grad på makrokonvektion ("konstruktionskonvektion") inuti resp vägg. Beräknas genomsnittliga värmegenomgångstal för hela vägghöjden – aktuellt vid värmebehovsberäkningar – överstiger dessa utom för norrväggar dem som kan beräknas för mineralull av kvalitetsgrupp B enligt SBN 67 dvs med $\lambda = 0,040 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$.

De bestämda värmemotstånden för vindsbjälklaget har något överstigit de enligt SBN 67 beräknade.

Värmeflödet genom golvet har varit väsentligt mindre än beräknat enligt normernas anvisningar. I husets mitt har värmeflödet endast varit ca hälften så stort som intill ytterväggarna.

Ofrivillig ventilation

Den ofrivilliga ventilationen kan normalt inte i någon nämnvärd grad påverkas av de boende. Storleken av denna ventilation beror främst på konstruktionstyp, utförande och klimatförhållanden. I rapporten redogörs utförligt för hur olika faktorer påverkar ventilationen. Sambandet mellan antalet luftomsättningar, n , vindhastigheten, v , och temperaturskillnaden inne–ute, $\Delta\theta$, i regelhuset kan uttryckas med ekv. $n = 0,15 + 0,012 \Delta\theta + 0,077 v$. Vintertid har temperaturskillnadens och vindhastighetens inverkan på den ofrivilliga ventilationen varit av samma storleksordning. Den angivna ekvationen har legat till grund för beräkning av värmeförlusterna på grund av ofrivillig ventilation. Som riktvärde på luftomsättningen bör $0,5$ – $0,7$ ggr/h kunna tillämpas för flertalet småhus. Detta resultat har styrkts av flera andra refererade undersökningar. Resultaten visar entydigt att huvuddelen av luftläckningen sker genom skorstenar, ventiler och springor vid fönster och dörrar.

Solinläckning genom fönster

Beräkningsmetodik för bestämning av solinläckning genom olika orienterade fönster har utförligt redovisats. På basis av uppgifter om solens läge på

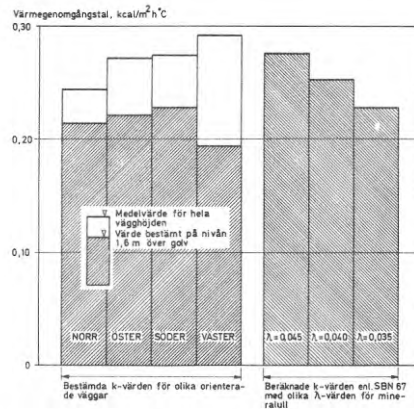


FIG. 2 Jämförelse mellan bestämda värmegenomgångstal (k -värden) för regelhusets fyra ytterväggar och motsvarande beräknade värmegenomgångstal enligt SBN 67. I det senare fallet har beräkningen baserats på praktiskt tillämpbara värmeledningstal för mineralull med $0,045$, $0,040$ och $0,035 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$. Bestämda k -värden avser dels värdet bestämt ca $1,6 \text{ m}$ över golv – fyllda staplar – dels beräknade medelvärden för hela vägghöjden – den övre begränsningen hos staplarna. Konvektion och ev. inverkan av köldbryggor har medfört att k -värdet i medeltal för hela vägghöjden är väsentligt högre än på nivån $1,6 \text{ m}$ över golv.

himlen och kända samband mellan solinstrålningsintensiteter och solhöjder under året samt med kännedom om hur fönstrens transmissionsfaktor varierar med infallsvinkeln, har diagram utarbetats som visar storleken på solinläckningen vid olika klockslag under året. I detta avsnitt visas också hur solbelysta glasytor beräknats. Hänsyn till molnighetsvariationer har tagits genom att jämföra uppmätt strålningsintensitet med beräknad sådan för klara dagar. I ett exempel visas hur man kan ta hänsyn till att horisonten avskärmat den direkta solinstrålningen.

Värmebalansen i försökshuset

Värmetillskottet har uppdelats på värmeavgivning från uppvärmningssystemet och på solinläckning genom fönster. Värmeförlusterna har i sin tur uppdelats på transmissionsförluster genom alla omgivande byggnadsdelar och på ventilationsförluster.

Energiförbrukningen i huset kan allmänt sägas ha varit låg. Under hösten och våren har ett betydande värmetillskott erhållits genom solinstrålning. Detta framgår tydligast om energiförbrukningen för dag och natt studeras. Under vintern har dag- och nattförbrukningen varit nära densamma men under våren och i viss mån även

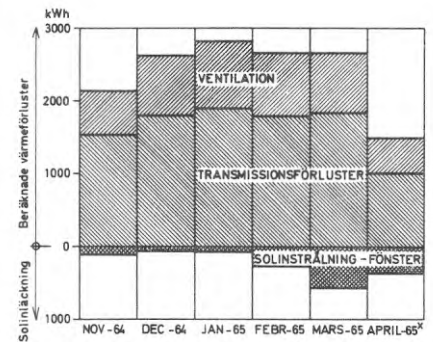


FIG. 3. Det beräknade totala värmebehovet fördelat på ventilations- och transmissionsförluster. Ventilationsförlusternas andel av de totala värmeförlusterna är relativt konstant, ca $1/3$, under hela eldningssäsongen. I figuren har också visats hur stor andel av de totala värmeförlusterna som kompenseras av värmetillskottet p.g.a. solinstrålning genom fönster. Under mars och april utgör solvärmetillskottet ca $1/5$ av det totala energibehovet.

under februari har dagförbrukningen varit mindre än nattförbrukningen. I mars t.ex. har dagförbrukningen i genomsnitt uppgått till 70 – 75 % av nattförbrukningen.

Det helt dominerande värmetillskottet på grund av solinstrålningen erhålls genom fönstren. En betydande del av transmissionsförlusterna genom fönstren kompenseras nämligen av solvärmetillskottet. Under våren har detta värmetillskott genom söderorienterade fönster varit lika stort eller to m större än värmeförlusterna genom desamma. För att den positiva effekten av solinstrålningen skall kunna tillvaratas får dock inte uppvärmningssystemet ha alltför stor tröghet.

Värmeförlusterna på grund av ventilation har varit högst betydande. Beräkningarna visar att drygt $1/3$ av energiförbrukningen erfordras för att täcka ventilationsförlusterna, se FIG. 3.

Energi kan sparas genom bättre isolering

Jämförelse mellan uppmätt energiförbrukning och beräknade värmeförluster samt värmetillskott visar god överensstämmelse. Överensstämmelsen i värmebalansen visar också att en högre isolergrad hos olika byggnadsdelar också leder till en lägre energiförbrukning.

Heat balance in single-family houses

Theoretical and experimental studies of a timber-frame house insulated with mineral wool

Arne Elmroth & Ingemar Höglund

The aim of this study was to establish what factors are the first to affect heat balance in single-family houses. Full-scale experiments were therefore conducted in a special test house. In practice, what we generally need to know bears such a relationship both to how the materials are used in the structure and to the performance expected of the building as a whole that it is sometimes impossible to determine the individual functions of the different details. Meticulous study of the heat insulating properties of the outer skin of a house is therefore essential in order to be able to judge and compare different designs and materials.

Heating of Swedish dwellings consumes a tremendous supply of energy, which in terms of value can be estimated at Sw. Kr. 1500 million. Hence, from a purely economic point of view domestic heating constitutes a heavy burden on the balance of payments, since imported oil is used as fuel. All the forecasts suggest that this will be the case also in the future. It is easily seen that heat insulation of our dwellings is of major economic importance, since it would reduce the energy costs and relieve the pressure on the trade balance. One frequently neglected factor is also the necessity of reducing the energy consumed in domestic heating for the purpose of protecting the environment. The investigations carried out in the test house used in this case were a continuation and extension of earlier investigations carried out at the Department of Building Technology of the Royal Institute of Technology in Stockholm.

Test house and testing methods

The test house¹ was a single-storey structure with an attic which could be converted into residential space. The house is a timber-frame structure with a floor area of approximately 104 m². Thermal insulation in the external walls consisted of 120 mm thick slabs of mineral wool and in the attic floor of 2 x 100 mm mineral wool slabs plus 2 x 25 mm mineral wool mats (see FIG. 1). The outer edge zone, i.e. within 1 m of the external walls, of the floor was insulated with 2 x 40 mm mats of mineral wool, while the rest of the floor had only one layer of 40 mm mineral wool matting. All windows were triple-glazed. This house had more or less the optimum degree of insulation from the point of view of heat economy.

In designing the house, the aim was to

make the best possible use of the thermal insulation capacity of mineral wool. Special care was, for example, taken to seal all gaps as well as possible.

The investigations included careful study of the climate both indoors and outside the house. The amount of energy consumed was recorded for the daytime and nighttime periods and for the full 24-hour period throughout the season during which the house was heated. Continuous measurements were taken of the heat flows through walls, floors and ceilings. The natural ventilation was also determined under varying weather conditions.

Heat resistance in different parts of the building

Heat transfer in structures insulated with mineral wool is discussed in detail. A number of researchers have studied this subject and have established how heat transfer takes place in the mineral wool itself. On the other hand, there have been far fewer investigations of the way in which heat transfer actually occurs in structures insulated with mineral wool. The influence of convection on heat transfer in particular is dependent upon a series of design factors which are relatively difficult to determine, e.g. effect of deficiencies in the filling of gaps and spaces between the mineral wool insulation and the surrounding walls, faults in wind-proofing, effect of installations on structures and so on.

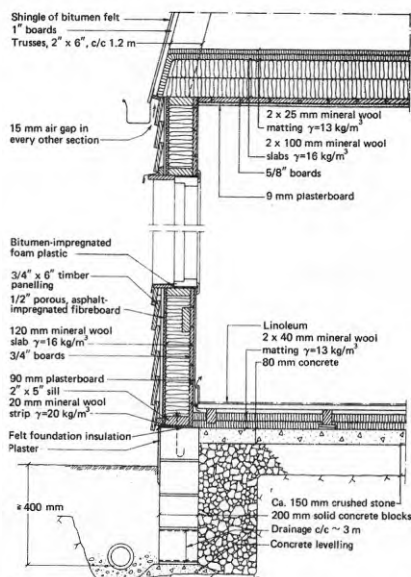


FIG. 1 Vertical section through external wall in the timber frame house including window surrounds and seals between attic floor and roof and ground floor and foundations. In all cases, insulation consisted of mineral wool (Gullfiber).

National Swedish Building Research Summaries

R7:1973

Key words:

single-family houses, heat balance, full scale experiments, heat resistance, natural ventilation, solar heat gains, energy consumption

Report R7:1973 has been supported by Grant C 575 from the Swedish Council for Building Research to the Division of Building Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm.

UDC 69.001.5
697.003
697.133
699.86
728.3

SfB A
ISBN 91-540-2107-3

Summary of:

Elmroth, A & Höglund, I, 1973, *Värmebalans i småhus*. Heat balance in single family houses. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R7:1973, 144 p., ill. Sw. Kr. 25.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

¹ Situated outside Stockholm (latitude 60° N).

Good thermal insulation in a building is dependent upon the following:

- insulating material having suitable technical and physical properties
- design properly adapted to the structural aspects of the building and to its installations
- skilled workmanship and meticulous control

Continuous checks were made on the heat resistance present in the external walls 1.6 m above the floor. If we disregard vertical variations in heat flow through these particular external walls, the amount of thermal resistance recorded will seem very high, so high in fact that the calculated coefficient of thermal conductivity for the mineral wool would be less than 0.035 kcal/(m·h·°C). This value applies at present for mineral wool of Grade A. Grade B was, however, used in the test house. Considerable vertical variations were recorded, however, in the heat flow for the external walls studied. This was due to the presence of small cold bridges at floor and ceiling level, and still more to macroconvection ("structural convection") inside the respective walls. If we calculate the average heat transmission coefficients for the full height of the wall (as must be done in calculating heat requirements), we find that these exceed those that can be calculated for Grade B mineral wool according to the Swedish Building Norm 67 (SBN 67), i.e. by $k=0.040$ kcal/(m·h·°C), except in the case of north-facing walls.

The degrees of thermal resistance recorded in the attic floor slightly exceeded those calculated in accordance with SBN 67.

The heat flow through the floor was, on the other hand, considerably less than that calculated in accordance with SBN 67. In the centre of the house the heat flow was only about half as great as it was in the immediate vicinity of the external walls.

Natural ventilation

Natural ventilation cannot normally be influenced to any notable degree by the occupants. The magnitude of this form of ventilation depends mainly upon the design, the workmanship and the climatic conditions. The report gives a detailed account of how different factors affect the ventilation. The correlation between the number of air changes (n), wind velocity (v) and the difference between indoor and outdoor temperature, $\Delta\theta$, in this timber frame house can be expressed as

$$n = 0.15 + 0.012 \Delta\theta + 0.0077 v.$$

In winter, the effect of difference in temperature and wind velocity was of the same order for the normal ventilation. The above equation was used as basis for calculating heat losses due to natural ventilation. It should be possible to use 0.5–0.7 times/h as a standard value for air change in most

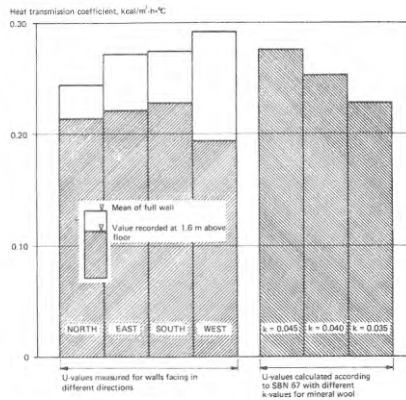


FIG. 2 Comparison of the heat transmission coefficients (U-values) determined for the four external walls of the timber-frame house and the corresponding heat transmission coefficients calculated according to SBN 67. In the latter case, calculations were based on the thermal conductivity which can be applied in practice for mineral wool with 0.045, 0.040 and 0.035 kcal/(m·h·°C). The U-values refer to the value recorded at a height of 1.6 m above floor level (shaded columns) and to the calculated means for the full height of the wall (the upper limit of the columns). Convection plus the effect of any cold bridges have caused the U-value mean for the full wall height to be considerably higher than that for a level 1.6 m above the floor.

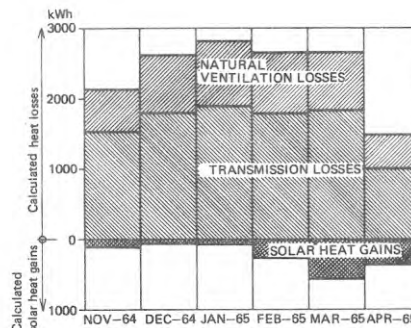


FIG. 3 The total calculated heat requirement divided between ventilation and transmission losses. The figure shows that the heat losses due to natural ventilation are about 1/3 of the calculated total heat losses. In March and April solar heat gains compensated for most of the ventilation losses due to natural ventilation. In December and January on the other hand, solar heat gains were negligible.

single-family houses. This result has been confirmed by several other studies referred to. The results in fact show quite clearly that most air leakage takes place via chimneys, vents and cracks around windows and doors.

Solar heat gains through windows

The methods used for calculating the amount of solar heat gains through windows of varying orientations have been dealt with exhaustively. Diagrams have

been produced showing the amount of solar heat gains through windows at different hours of the day throughout the year. These diagrams are based on data on the position of the sun in the sky and known correlations between intensity of solar radiation, the height of the sun in the sky throughout the year and knowledge of how the transmission factor of windows varies with the angle of incidence. This section describes how calculations were made for glazed areas exposed to solar radiation. Variations in the amount of cloud were taken into account by comparing the intensity of radiation recorded with the calculated intensity on clear days. One example illustrates how the fact that the horizon screens off the direct solar radiation can be taken into account.

Heat balance in the test house

The heat surplus was divided into heat emission from the heating system and solar heat gains through windows. Heat losses were likewise divided into transmission losses through all peripheral parts of the building and natural ventilation losses.

Generally speaking, the energy consumption for this house can be said to have been low. There was a considerable heat surplus in autumn and in spring due to solar heat gains through the windows. This is most clearly apparent if the amounts of energy consumed during the day and night respectively are studied. Consumption during the day and at night remained the same in winter, but in spring and to a certain extent even in February daytime consumption was lower than nighttime. In March, for instance, daytime consumption was on average 70–75 % of nighttime consumption.

The predominant heat surplus due to solar radiation derived from solar heat gains through windows, the surplus of solar heat gains compensating for a considerable amount of the transmission losses through windows. In the spring, this heat surplus via south-facing windows was as great and even greater than heat losses through them. The heating system should not, however, be too inert if advantage is to be derived from the positive effect of solar radiation.

The heat losses due to ventilation proved to be significant. Calculations show that about 1/3 of the energy consumed is needed to cover losses due to ventilation (see FIG. 3).

Energy consumption can be reduced by good building insulation

Comparisons of measured amounts of energy consumed, calculated heat losses and heat surplus show good agreement. The agreement in the heat balance also shows that a higher level of insulation in various parts of a building are accompanied by lower energy consumption.

Rapport R7:1973

VÄRMEBALANS I SMÅHUS

Teoretiska och experimentella undersökningar
avseende ett mineralullsisolerat regelhus

HEAT BALANCE IN SINGLE-FAMILY HOUSES

Theoretical and experimental studies of
timber frame houses with mineral wool insulation

av Arne Elmroth & Ingemar Höglund

Denna rapport hänför sig till anslag C 575 från Statens råd för
byggnadsforskning, till institutionen för byggnadsteknik, KTH,
Stockholm.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2107-3

Rotobekman AB, Stockholm 1973

INNEHÅLL

FÖRORD	5
BETECKNINGAR	6
1 ÄNDAMÅL MED UNDERSÖKNINGARNA	7
2 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSHUS OCH FÖR- SÖKSMETODIK	9
2.1 Beskrivning av regelhuset	9
2.2 Konstruktionsdata och beräknade värmegenom- gångstal	12
2.3 Försöksanordning och mätningar	13
2.3.1 Uppvärmningsanordningar och bestämning av värmebehov	13
2.3.2 Temperaturbestämningar	17
2.3.3 Värmeflödesmätningar	17
2.3.4 Bestämning av ofrivillig ventilation	20
2.3.5 Registrering av vindhastighet och vindriktning	20
2.3.6 Registrering av instrålning	20
2.3.7 Övriga undersökningar	21
2.4 Beräkningar	21
2.5 Tid för undersökningarna	21
3 VÄRMEMOTSTÅND HOS OLIKA BYGGNADSDELAR	22
3.1 Värmeöverföring i mineralullsisolerade byggnads- konstruktioner	22
3.2 Resultat av bestämningar av värmemotstånd, värmeflöden och värmegenomgångstal	25
3.2.1 Ytterväggar	25
3.2.2 Vindsbjälklag	32
3.2.3 Platta på mark	34
4 OFRIVILLIG VENTILATION	45
4.1 Faktorer som påverkar den ofrivilliga ventilationens storlek	45
4.1.1 Vindens inverkan	45
4.1.2 Temperaturens inverkan	46
4.1.3 Samtidig inverkan av temperatur och vind	48
4.2 Bestämningar av ofrivillig ventilation	48
4.3 Resultat och analys av bestämningarna	51
4.3.1 Ventilation av bostadsdelen	51
4.3.2 Ventilation av vindsutrymmet	51
4.4 Jämförelse mellan ventilationsgraden i regelhuset och i andra småhus	53
4.5 Riktlinjer för beräkning av värmebehov för ofrivillig ventilation	56
5 SOLINLÄCKNING GENOM FÖNSTER	59
5.1 Beräkningsmetodik	59
5.2 Bestämning av belysta fönsterytor	63

5.3	Solinläckning genom fönster	68
6	VÄRMEBALANSEN I FÖRSÖKSHUSET	78
6.1	Värmebalansens sammansättning	78
6.2	Beräkning av värmebalansen	79
6.3	Klimatet under försöksperioden. Jämförelse med "normalåret" 1931-1960	81
6.3.1	Temperaturer	81
6.3.2	Solinstrålning och antal soltimmar	86
6.3.3	Vindhastigheter	88
6.3.4	Snödjup	88
6.4	Energiförbrukning	88
6.5	Fönstrens värmebalans	102
6.6	Transmissionsförluster genom omgivande byggnadsytor	107
6.7	Ventilationsförluster orsakade av luftväxling inne-ute	110
6.8	Jämförelse mellan uppmätt energiförbrukning och beräknade värmeförluster samt värmetillskott. . . .	113
7	SLUTSATSER OCH PRAKTISKA KONSEKVENSER.	118
7.1	Förhållandet mellan uppmätta och beräknade värmeförbrukningar	118
7.2	Värmemotstånden hos olika byggnadsdelar	118
7.3	Inverkan på värmebehovet av direkt och diffus solinläckning	119
7.4	Den ofrivilliga ventilationens storlek	120
	BILAGOR	122
	LITTERATUR	128
	CAPTIONS	133

FÖRORD

I denna rapport redovisas en teoretisk och experimentell undersökning av värmebalansen i ett småhus. Försökshuset har byggts av Gullfiber AB, och ställts till förfogande för Statens råd för byggnadsforskning. Rådet har låtit Institutionen för byggnadsteknik, KTH disponera huset för undersökningar under en hel eldningssäsong och även lämnat ekonomiskt bidrag till undersökningen.

Till här nämnda och till alla andra som lämnat välvillig hjälp framföres ett varmt tack.

Stockholm i augusti 1972

Ingemar Höglund

BETECKNINGAR

a, b, c	= konstanter
a	= solens asimut, $^{\circ}$
ρ	= densitet, kg/m^3
A	= yta, m^2
V	= volym, m^3
t	= tid, h
θ	= temperatur, $^{\circ}\text{C}$
v	= vindhastighet, m/s , väggnormalens asimut, $^{\circ}$
n	= antal luftomsättningar per timme
P_v	= vindtryck, kp/m^2 (N/m^2)
C_p	= tryckkoefficient
P_{θ}	= lufttrycksskillnad p. g. a. temperatur, kp/m^2 (N/m^2)
k	= värmegenomgångstal, $\text{kcal}/\text{m h}^{\circ}\text{C}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
W	= värmemängd, Mcal (kWh)
s	= standardavvikelse
Q	= överförd värmemängd per dygn, $\text{Mcal}/24 \text{ h}$ ($\text{kWh}/24 \text{ h}$)
I	= total intensitet hos kortvågig strålning, $\text{kcal}/\text{m}^2, \text{ h}$ (W/m^2)
T	= transmissionsfaktor för fönsterglas
i	= den kortvågiga strålningens infallsvinkel, $^{\circ}$
h	= höjd m, solhöjd, $^{\circ}$
S, l	= längdmått, m
r	= korrelationskoefficient
λ	= värmeledningstal (värmeledningsförmåga), $\text{kcal}/\text{m h}^{\circ}\text{C}$ ($\text{W}/\text{m K}$)
α_i	= inre värmeövergångstal (värmeövergångskoefficient), $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
α_y	= yttre värmeövergångstal (värmeövergångskoefficient), $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^{\circ}\text{C}$ ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
q	= värmeflöde, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$ (W/m^2)

1 ÄNDAMÅL MED UNDERSÖKNINGARNA

Många byggnadstekniska dimensioneringsproblem fordrar för optimal lösning noggrann bestämning av samtliga värmeförluster och värmetilskott d. v. s. värmebalansen. Hur stort det verkliga värmebehovet är har under senare tid fått ökande intresse i och med att dyrare energislag såsom elvärme i allt högre grad utnyttjas till bostadsuppvärmning - i synnerhet till småhus. Noggranna bestämningar av värmeisoleringssegenskaperna hos det omslutande yttre skalet till ett hus är också nödvändiga för att på ett rättvisande sätt kunna bedöma och jämföra olika konstruktioner och material.

För att rätt bedöma exempelvis ett isolermaterials värmeisoleringssegenskaper kan det vara vilseledande att enbart använda de värden som kan bestämmas genom teoretiska och laboratoriemässiga undersökningar av materialet. De värden man behöver i praktiken har nämligen ett sådant samband både med hur materialet appliceras i konstruktionen och med hela byggnadens funktion, att man inte enbart kan bestämma detaljfunktionerna var för sig. I de praktiskt tillämpbara värmeledningstal som anges för byggnadsvaror i Svensk Byggnorm innefattas vissa tillslag som kompensation för de brister som föreligger vid normalt utförande, liksom också inverkan av fukt och i vissa fall av ofrånkomliga köldbryggor. (Rönning, M, 1967.) För att bl. a. kunna bedöma storleken på dessa tillslag är det därför nödvändigt att undersöka värmeisoleringssegenskaperna hos en byggnad även fullskaleförsök under praktiska förhållanden, varvid utförande och klimatbetingelser samtidigt noggrant analyseras.

Den ofrivilliga ventilationen och solvärmeinläckningen har också mycket stor inverkan på det totala värmebehovet under en eldningssäsong. Den ofrivilliga ventilationen beror på huskonstruktionerna, vindhastigheterna och riktningarna samt på temperaturförhållandena. Solvärmeinläckningen beror på husets läge och orientering, fönster och fönsterstorlekar samt på årstid och molnighet. Endast genom samtidiga bestämningar av yttre klimatfaktorer och energiförbrukningar är det möjligt att med omfattande teoretiska analyser studera inverkan av värmeisoleringsgraden, ventilationens storlek och solvärmeinläckningen på den totala värmebalansen. Endast vid väl kända och definierade randvillkor - utan störningar av boendevanor etc. - är det möjligt att genomföra meningsfyllda analyser.

Vid institutionen för Byggnadsteknik, KTH, pågår sedan år 1961, med anslag från Statens råd för byggnadsforskning, en mycket omfattande undersökning av värmebalansen m. m. i en serie av försökshus. De två första försökshusen ligger i Skövde och har ytterväggar av mineralullsisolerade hålmurar av tegel. Resultaten från dessa undersökningar har publicerats av Höglund (1963) i en handling från Byggnadsforskningen. De två följande försökshusen - det tredje och fjärde - är belägna i Barkaby omedelbart utanför Stockholm och är uppförda i gasbetong. Det ena har ytterväggar av Siporex lättlement och det andra av låsfogad Ytong-stav. Undersökningarna i dessa har utförts under åren 1963 och 1964 och vissa delundersökningar har fortgått ända

fram till och med vintern 1965/66. Delresultat från dessa hus har publicerats i ett flertal uppsatser (Höglund & Elmroth, 1964; Elmroth & Höglund, 1965; Elmroth, 1966). Det femte försökshuset är beläget i Nälsta, som är en av Stockholms förorter, och det är ett mineralullsisolerat regelhus som utvändigt är beklätt med träpanel. Huvuddelen av undersökningarna i detta hus utfördes under eldningssäsongen 1964/65 (Elmroth & Höglund, 1965).

De olika provhusen har i flera avseenden väsentligt olika konstruktionsutföranden. Ytterväggarnas konstruktion varierar således från de tunga isolerade hålmurarna av tegel till den relativt lätta regelkonstruktionen. Detta innebär att ytterväggarna i de olika husen har olika värmekapacitet och olika tidsfördröjning hos temperatursvängningarna. Ytterväggarna av tegel har beräknats ha en fördröjning av ca 12 timmar, medan träväggar har en fördröjning av 4-6 timmar. Även konstruktionsutformningen i övrigt har varierats. "Tegelhusen" är försedda med hel källare, och "gasbetonghusen" med grundläggning av två olika typer av kryprum. "Regelhuset" däremot har grundläggning med betongplatta direkt på marken.

Fönsterarean, som i tegelhusen är relativt liten, har i gasbetonghusen ett ganska normalt omfång, medan den i regelhuset främst på söderväggen är mycket stor. Det sistnämnda huset har treglasfönster, medan de övriga husen har tvåglasfönster. I fråga om takutformning skiljer sig regelhuset från de övriga genom att det har inredningsbart vindsutrymme.

I denna serie av småhus är således de vid sådana hus vanliga konstruktions- och materialtyperna representerade. De samlade resultaten från undersökningarna kan därför anses gälla och vara representativa för en stor del av småhusbeståndet.

Vid försöken i regelhuset har sammanfattningsvis avsikten varit att bestämma följande

- 1) Förhållandet mellan uppmätta och beräknade värmeförbrukningar.
- 2) Värmemotstånden hos olika byggnadsdelar.
- 3) Inverkan på värmebehovet av direkt och diffus solinstrålning.
- 4) Den ofrivilliga ventilationens storlek.
- 5) Temperaturvariationer i marken under huset.
- 6) Temperatur- och värmeflödesfördelning på golven.

Försökshuset har varit obebott och omöblerat under den tid försöken pågått för att undvika svårbestämbara och okontrollerbara värmetillskott från människor med deras olika boendevanor. Fönster och dörrar har under samma tid hållits stängda medan däremot normala friskluftventiler i exempelvis kök och badrum varit öppna.

2 BESKRIVNING AV FÖRSÖKSHUS OCH FÖRSÖKSMETODIK

2.1 Beskrivning av regelhuset

Regelhuset i Nälsta, som har uppförts av Gullfiber AB, har ställts till institutionens för Byggnadsteknik förfogande för undersökning av värmebalans m.m. Nälsta ligger inom Stockholms stad och är ett villaområde med delvis kuperad skogsterräng.

Försökshuset är ett 1-planshus med inredningsbar vind. Det har kvadratisk form med planmått 10,20 x 10,20 m och våningsytan 104 m². Bottenplanet innehåller kök, vardagsrum, två sovrum samt en klädkammare som även kan utnyttjas som dressingrum. FIG. 1.

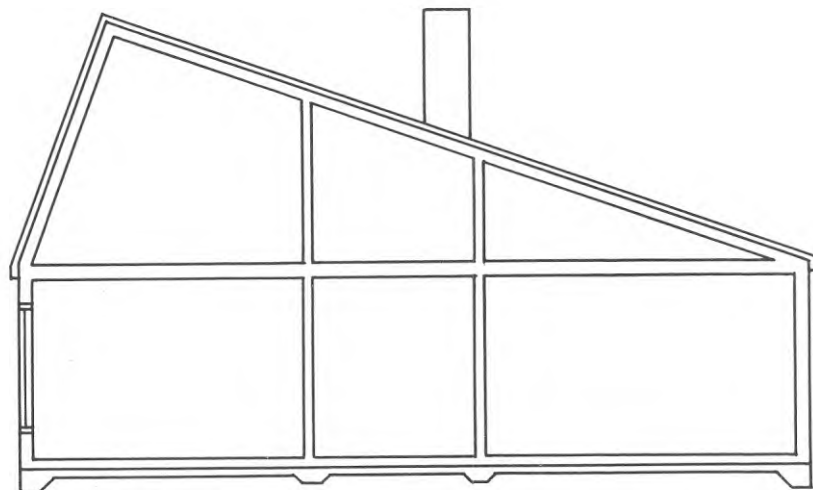
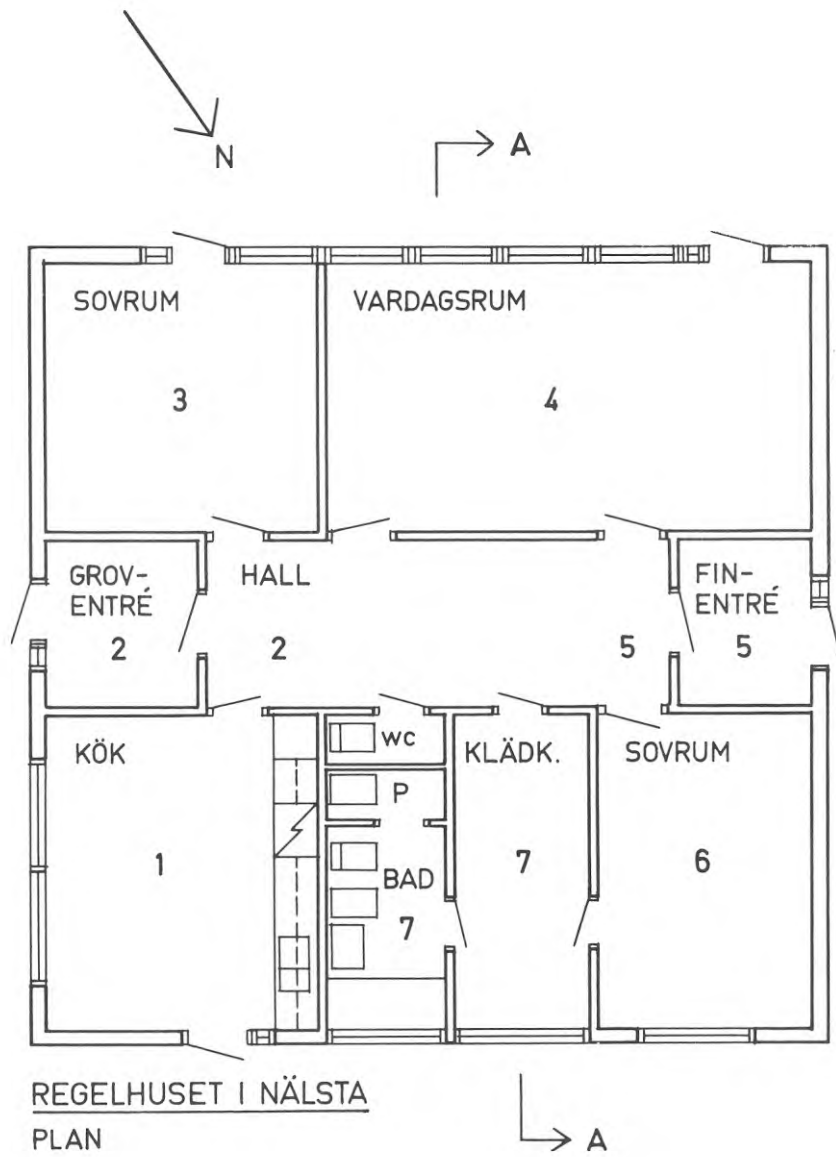
Badrum, pannrum, WC och diskbänksväggen i köket har fabriks-tillverkats och levererats till byggnadsplatsen som ett helt färdigt volymelement ett s.k. hjärta. Se FIG. 3. Den ordinarie uppvärmningen sker med gas varför utrymmet för gaspanna och varmvattenberedare kunnat göras mycket litet.

Huset har efter försöken kompletterats med ett garage vid ena gaveln och ett varmförråd som även innehåller ett hobbyrum vid den andra. På så sätt har en väl skyddad uteplats erhållits längs söderfasaden.

Huset ingår numera med mindre modifieringar både vad beträffar konstruktion och planlösning bland de typhus som en av de större småhusfabrikanterna erbjuder.

Vid utformningen av huset har speciell omsorg ägnats åt värmeisoleringsfrågor. Avsikten har varit att genom rätt anpassade konstruktionslösningar optimalt kunna utnyttja mineralullens goda värmeisoleringsförmåga. För att avsedd värmeisoleringsförmåga skall erhållas måste mineralullen skyddas med ett effektivt vindskydd som förhindrar luft att tränga in i eller genom materialet. Vindskyddet skall täcka hela ytan och skarvar skall utföras så att luftläckning förhindras. Skivmaterial som använts i detta fall har därför skarvats mitt för reglar. Om i stället papp använts som vindskydd måste den skarvats med överlappning mitt för reglar.

Uppkomsten av s.k. makrokonvektion, dvs. konvektion i konstruktionen som allvarligt kan nedsätta isoleringsförmågan, är främst beroende av noggrannheten vid monteringen av mineralullen. Denna skall därför monteras så att den helt utfyller det för isoleringen avsedda utrymmet och tillskärningen skall ske så att springor eller håligheter inte uppstår mellan isoleringen och de anslutande konstruktionsdelarna. Vid perfekt arbetsutförande dvs. vid helt utfyllande isolering med mineralullsskivor i en tät konstruktion har bl. a. Höglund (1963, 1964) visat att värmeöverföringen på grund av makrokonvektion utgör en ytterst ringa del av den totala värmeöverföringen och kan jämfört med denna till och med försummas. Ett fullgott arbetsutförande underlättas avsevärt om projekteringen genomförs konsekvent så att exempel-



SEKTION A-A

FIG. 1. Plan och sektion av försökshuset. Köksingången har inte varit helt komplett vid försöken. I den relativt rymliga hallen har plats förberetts för en trappa till övre våningen. Siffrorna avser rumsnummer.

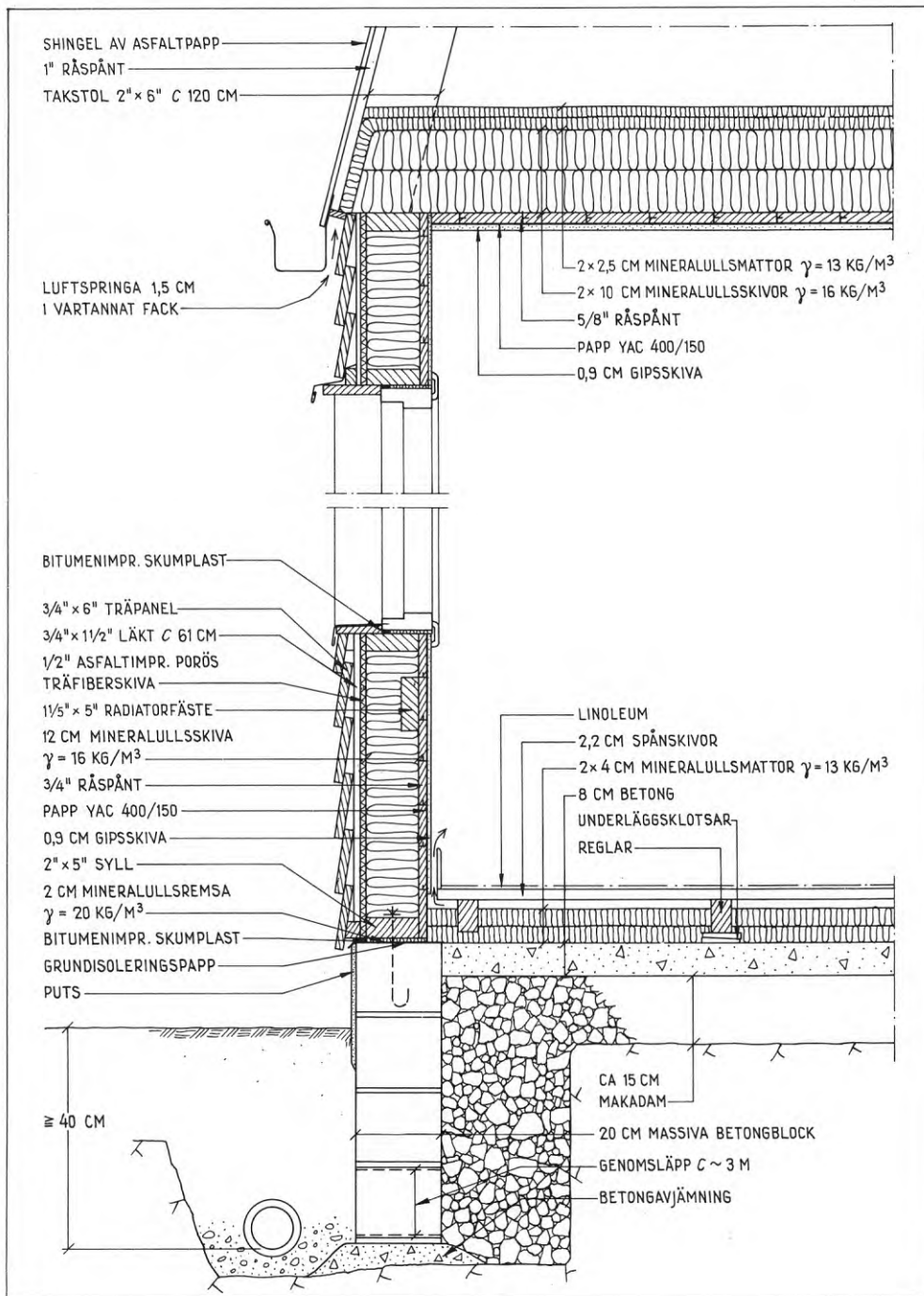


FIG. 2. Vertikalsektion genom ytterväggskonstruktionen i regelhuset omfattande även anslutningar mot fönster, vindsbjälklag och yttertak, samt golv och grund.

vis regelavstånd noggrant anpassas till skivbredder för såväl mineralull som beklädnadsmaterial. Ledningar för el och VVS skall byggas in på lämpligt sätt så att de exempelvis alltid är parallella med reglarna. Anslutningen vid takfoten utformas så att "ventilering" av isoleringen med säkerhet undviks, dvs. ventilationsluften skall tvingas förbi isoleringen utan att negativt påverka dess värmeisoleringsförmåga etc.

Vid projektering och uppförandet av regelhuset har ovanstående enkla men viktiga regler tillämpats så långt det varit möjligt.

2.2 Konstruktionsdata och beräknade värme genomgångstal

Vägg- och bjälklagskonstruktioner med anslutningar framgår av FIG. 2.

Ytterväggar. Regelkonstruktion med följande material och dimensioner utifrån räknat: 3/4" liggande träpanel, 3/4" luftspalt, 1/2" asfaboard, 12 cm skiva av mineralull, kvalitetsgrupp B, (Gullfiber $\gamma = 16 \text{ kg/m}^3$), 3/4" råspont, diffusionstät papp, 9 mm gipsskivor. Reglar 1 1/2" x 5", c 61 cm. Värme genomgångstal enligt Svensk Byggnorm 67 inkl. inverkan av träreglar, $k = 0,27 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

Vindsbjälklag. Innertakbeklädnad av 9 mm gipsskivor, 5/8" råspont, 2 x 10 cm skivor av mineralull, kvalitetsgrupp B, (Gullfiber $\gamma = 16 \text{ kg/m}^3$), 2 x 2,5 cm mineralullsmattor, kvalitetsgrupp C, (Gullfiber $\gamma = 13 \text{ kg/m}^3$). Bjälkar 2" x 8". Värme genomgångstal (SBN 67) inkl. inverkan av träreglar, $k = 0,16 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

Yttertak. 1" råspont, taktäckning av asfaltshingel. Takstolar 2" x 6", c 120 cm.

Golv. 10 cm betong på 15-80 cm singel. I yttre randzonen 2 x 4 cm och i inre 4 cm mineralullsmatta, kvalitetsgrupp C, (Gullfiber $\gamma = 13 \text{ kg/m}^3$), 22 mm spånskivor på reglar och linoleum. Värme genomgångstal (SBN 67) $k = 0,33$ i yttre randzonen och $k = 0,41 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ i den inre zonen.

Fönster. Kopplade tre-glasfönster utan avskärmningsanordningar. Värme genomgångstal enligt SBN, $k = 1,5-1,7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

Ytterdörrar. Enkla fyllnadsdörrar. Värme genomgångstal, $k = 0,7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$.

Vid projekteringen av huset har speciell omsorg lagts vid att få ett så tätt hus som möjligt för att på ett optimalt sätt kunna utnyttja mineralullens värmeisoleringsförmåga. Ytterväggarna har således försetts med ett effektivt vindskydd på yttersidan av 1/2" asfaboard. Alla skarvar mellan skivorna ligger mitt för reglar och med läkt på utsidan, varför mycket god täthet kan påräknas. Ett skivmaterial torde vara att föredra framför papp som vindskydd, eftersom det inte så lätt skadas. Skivor har dessutom en viss styvhet som medför mindre deformationer vid vindtryck (ev. "pumpverkan"). Eftersom regelavståndet har an-

passats så att skarvarna i asfaboarden ligger mitt för reglarna har mineralullsskivorna måst tillskärnas i ena kanten. De senare hade inte när huset byggdes dimensioner som var anpassade till normalt regelavstånd. FIG. 4 och 5. Med ledning av erfarenheter från bl. a. undersökningar vid institutionen har måtten hos mineralullsskivor som avses användas till regelkonstruktioner ändrats så att särskild tillskärning av dessa inte skall vara nödvändig. Särskild noggrannhet har också iakttagits i konstruktionsanslutningarna för att minska inverkan av köldbryggor och för att få mycket god tätning. I konstruktionen ingår förhållandevis mycket trä för att höja husets totala värmekapacitet och för att öka ytterväggarnas förmåga att fördröja en temperaturvågs inträngning, vilket är särskilt betydelsefullt soliga dagar, om innetemperaturen inte skall påverkas alltför mycket.

Huset byggdes vintern och våren 1964. Byggnadsarbetet som noggrant övervakats och kontrollerats har från isoleringssynpunkt bedömts vara mycket gott. FIG. 6 och 7.

Som framgår av konstruktionsbeskrivningen ovan har huset mycket god värmeisolering med exempelvis 12 cm mineralull i ytterväggarna och sammanlagt 25 cm i vindsbjälklaget. Detta i förening med tre-glasfönster ger en mycket hög värmeisoleringsgrad, vilket är motiverat vid uppvärmning av bostäder med relativt dyrbara energiformer som el. och gas.

2.3 Försöksanordning och mätningar

En sammanställning av utförda registreringar och mätningar redovisas i TAB. 1.

2.3.1 Uppvärmningsanordningar och bestämning av värmebehov

De i huset installerade uppvärmningsanordningarna - gaseldad panna med varmvattenradiatorer - har inte använts p.g.a. att dels är verkningsgraden svår att bestämma dels kan inte på ett enkelt sätt energitillförseln till resp. rum regleras så att konstant rumstemperatur erhålles. I stället har uppvärmningen skett med elektriska fläktelement i varje rum så att individuell rumsuppvärmning erhållits. Verkningsgraden hos fläktelementen är mycket nära 100 %, varför den tillförda energin noggrant kan bestämmas.

De ifrån de elektriska fläktelementen i varje rum avgivna värmemängderna har bestämts med noggrant kalibrerade kWh-mätare, som mätt den till fläktelementen levererade elektriska energin. Den sammanlagda tillförda energin i hela huset har dessutom mätts med en huvudmätare, vars utslag således också utgjort ett visst kontrollvärde på värmeförbrukningen i hela huset. Strömförbrukningen för instrument som använts vid undersökningarna har uppmätts med en särskild kWh-mätare. Strömförbrukande instrument har varit placerade i köket. Energiförbrukningen för dessa har därför adderats till värmeförbrukningen i övrigt i köket, eftersom praktiskt taget all denna energi utgör värmeförluster.

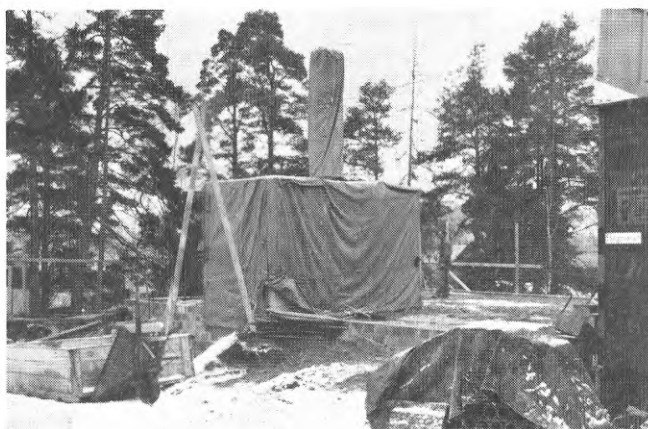


FIG. 3. Hela våtrumsdelen av huset tillverkades på fabrik och levererades komplett med installationer och invändig ytbehandling till byggnadsplatsen. På bilden ses det väl emballerade "hjärtat" uppsatt på den färdiga grunden

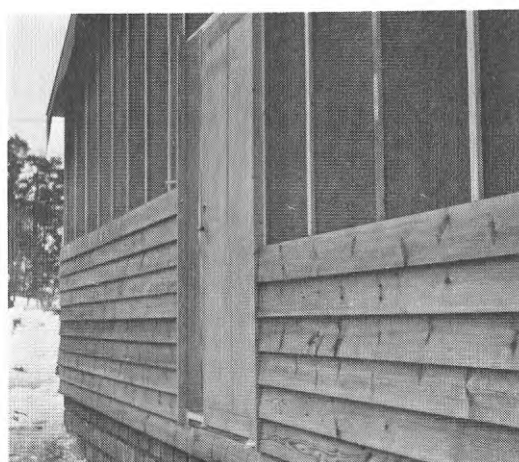


FIG. 4. Ytterväggarna har ett vindskydd av en träfiberskiva (1/2" asfaboard). Varje skarv mellan skivorna är belägen mitt för en regel och är utvändigt täckt av läkt som samtidigt utgör underlag för den utvändiga fjällpanelen.

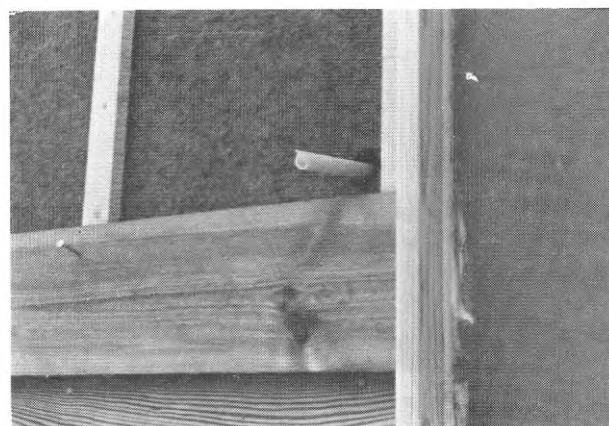


FIG. 5. Detalj av fjällpanelens anslutning till en dörrkarm. Bilden visar också hur en el-ledning dragits genom träfiberskivan och att håltagningen för ledningen är tilltagen alltför stor med försämring av vindskyddet som följd. Exemplet illustrerar de praktiska problem som håltagningar för bl. a. ledningar innebär.



FIG. 6. Det färdiga huset sett från norr. Instrumenten på väggarna registrerade den totala solinstrålningen mot respektive fasad. På den särskilda träbryggan på taket var bl. a. en vindmätare uppsatt.

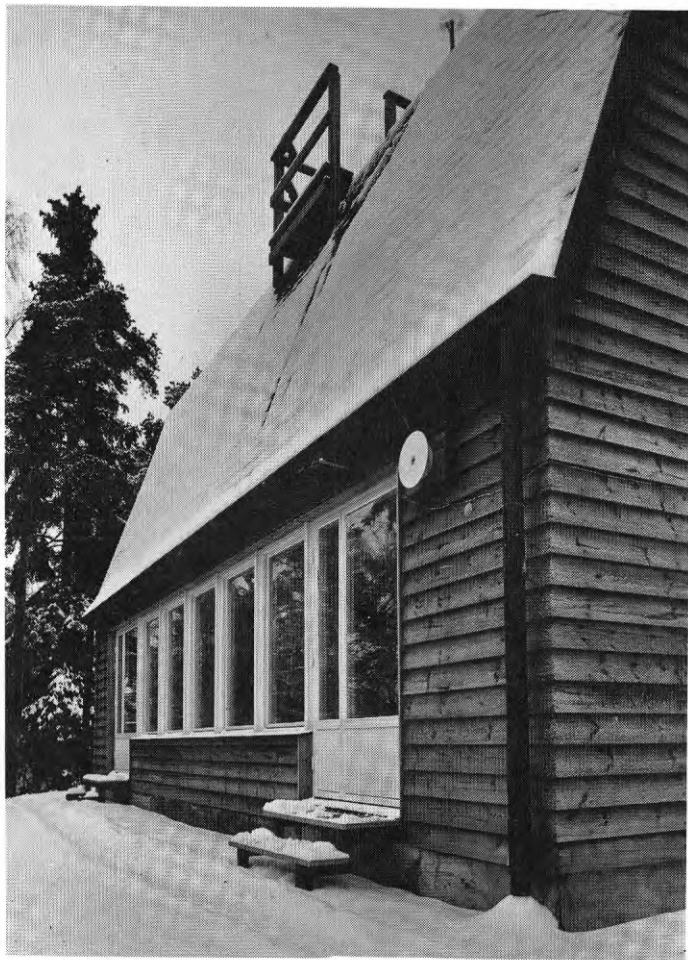


FIG. 7. Söderfasaden.

TAB. 1. Sammanställning av registreringar och mätningar vid regelhuset.

Bestämning av	Plats	Mätmetod	Avläsningsintervall
Värmeförbrukning	Varje rum + Totalt	kWh-mätare + fotograferingsutrustning	kl. 00, 06, 18 varje dygn
Lufttemperatur	Varje rum Utomhus Vindsutrymme	Termoelement och kompensations skrivare	Kontinuerligt
Temperaturer	I marken under btg-plattan och i marken utomhus	Termoelement	Ca 1 gång per vecka
Vindhastighet Vindriktning Vindväg	Utomhus ovan taket	Vindmätare	Kontinuerligt
Solinstrålning	Mot norr fasad öster -"- söder -"- Mot taket	Solarimeter och fallbygelskrivare	Kontinuerligt
Luftfuktighet	Två rum Utomhus Vindsutrymme	Termohygrograf	Kontinuerligt
Luftomsättningar	Bostadsdel Vindsutrymme	Spårgasmetod	12 bestämmingar
Fuktkvoter	Trä i vindsutrymme	Elektrisk fuktkvotsmätare	Sporadiskt

kWh-mätarna har avlästs med hjälp av automatisk fotografering med en robotkamera tre gånger per dygn: klockan 0, 06 och 18. FIG. 8. På detta sätt har värmebehovet bestämts för varje dygn. Det är också möjligt att bestämma värmebehovet på natten respektive på dagen, vilket bl. a. är av intresse vid eluppvärmning med såväl direktverkande som ackumulerande system. Rumstemperaturen har hållits konstant vid +22°C med hjälp av kontakttermometrar som styrt värmeförseln från fläktelementen. Dessa är känsligare och går att reglera bättre och noggrannare än sedvanliga termostater.

2.3.2 Temperaturbestämningar

Lufttemperaturer har mätts med strålningsskyddade termoelement av kopparkonstantan. Dessa har varit kopplade till elektroniska kompensationskrivare (Honeywell - Brown). På så sätt har temperaturer registrerats i varje rum, i vindsutrymmet och utomhus. Utomhus har termoelementen varit placerade i en speciell mätbur av SMHI:s¹ modell som skydd mot strålning varför dess inverkan eliminerats. Vidare har temperaturer i marken mätts med nedgrävda termoelement. Dessa s. k. marktemperaturer har avlästs med hjälp av kompensationskrivare en gång i veckan. Yttertemperaturerna på in- och utsidan av samtliga ytterväggar har uppmätts med hjälp av termistorer och registrerats med hjälp av de s. k. elektrolytmätare som använts tillsammans med värmeflödesmätare typ Brown (Brown, 1959). Med dessa har medeltemperaturerna för 5-7 dagars perioder bestämts.

2.3.3 Värmeflödesmätningar

Värmeflöden genom samtliga fyra ytterväggar på nivån ca 1,6 m över golv har mätts med integrerande instrument typ Brown. Värmeflöden genom golv och tak har bestämts med termoelektriska flödesmätare. FIG. 9 och 10. Mätning av värmeflöden genom golvet har gjorts i ett antal punkter, belägna dels längs ena fasaden från ytterhörn in mot fasadens mitt dels från fasadens mitt in mot centrum av huset. På så sätt har variationen i värmeflödet med avståndet från husets centrum kunnat bestämmas. FIG. 11. Värmeflöden genom vindbjälklaget har bestämts dels i närheten av ena fasaden dels mitt inne i huset.

För att bestämma värmeflödesfördelningen i höjddled för resp. yttervägg har relativa bestämningar gjorts med termoelektriska värmeflödesmätare.

För att bestämma inverkan av dels den kortvågiga solinstrålningen dels den långvågiga nettoutstrålningen mot omgivningen har förutom värmeflödet genom samtliga ytterväggar också som ovan nämnts temperaturen på ytterväggarnas yttersidor registrerats med termistorer.

¹ SMHI = Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut.

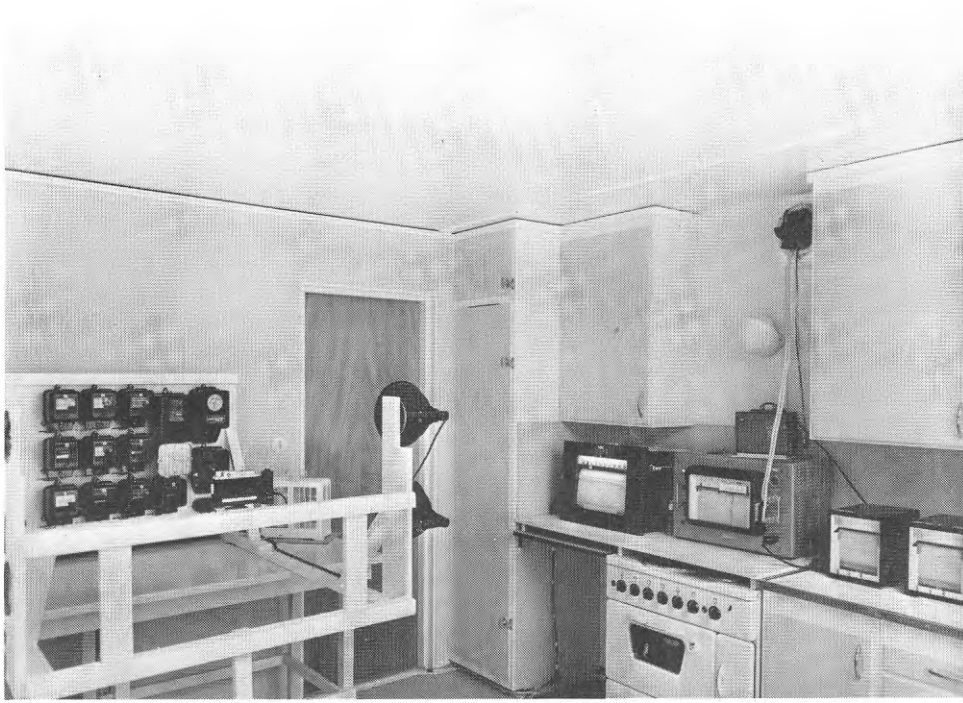


FIG. 8. Köket tjänstgjorde vid undersökningarna som mättrum, där en stor del av registreringarna skedde. Till vänster syns kWh-mätarna och en kamera för automatisk fotografering på bestämda tider av energiförbrukningen i varje rum. Till höger på köksbänken finns automatiska registreringsinstrument för temperatur, vindhastighet och vindriktning samt för solinstrålning.

Denna försöksuppläggning - med programmerad registrering av tusentals data - medförde, förutom en rad praktiska fördelar, att större noggrannhet uppnåts genom att inga personer med korta mellanrum behövde göra manuella avläsningar.

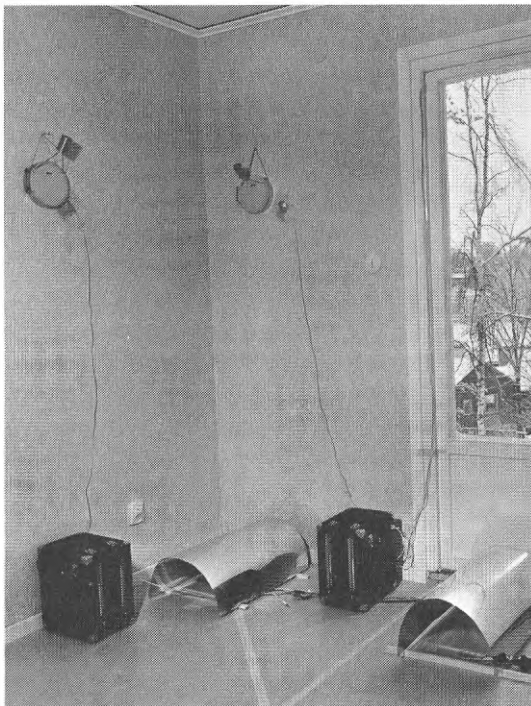
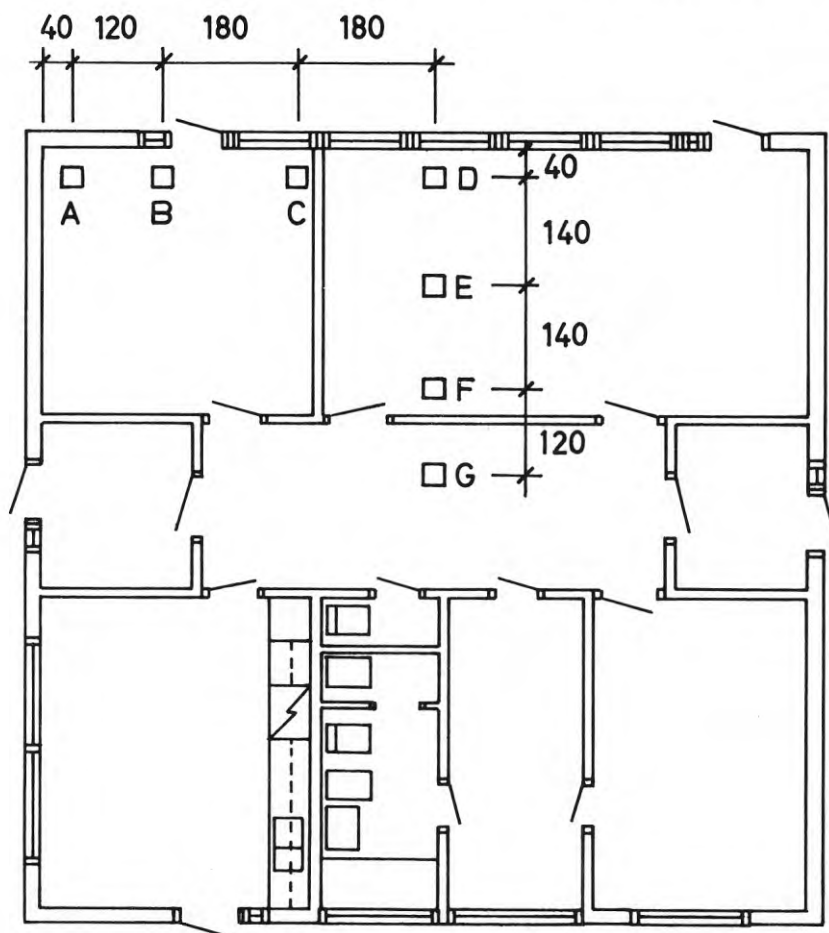


FIG. 9. På de två ytterväggarna i hörnrummet sitter instrument, s. k. Brownmätare, för bestämning av värmefflöde och termistorer för bestämning av yttemperaturen. På golvet finns bl. a. två strålningsskyddade termoelektriska värmefflödesmätare.



FIG. 10. Interiör av vardagsrummet när undersökningarna pågick. Där syns bl. a. instrument för bestämning av värmeflöden genom golv och tak, termohygrograf för bestämning av temperatur och relativ fuktighet och fläktelement med regleranordning för uppvärmningen.



A, B, C, D, E, F, G = Värmeflödesmätare belägna på golv. Mått i cm.

FIG. 11. Lägen för termoelektriska värmeflödesmätare på golvet

2.3.4 Bestämning av ofrivillig ventilation

Antalet luftomsättningar i huset har bestämts med den s. k. spårgasmetoden. Vid denna släpps vätgas ut i huset till en koncentration av ca 0,3 volymprocent. Gasen får diffundera fritt i rummet under fläktning i ca 15 minuter varefter mätningen påbörjas. För mätningen har använts en gasanalysator som mäter gaskoncentrationen. Ändringen i gaskoncentration vid olika tidpunkter är proportionell mot luftomsättningens storlek (Eriksson, 1967).

Den ofrivilliga ventilationens storlek har bestämts dels med tätade fönster- och dörrspringor, ventilationskanaler etc. dels utan tätningar och med öppna ventiler. I det förstnämnda fallet har en lufttät maskeringstejp använts som extra tätning. I det senare fallet har t. ex. endast vanliga yllepacklistor funnits som fönstertätning. Antalet bestämningar utan särskilda tätningar har uppgått till 7 stycken i bostadsdelen vid varierande yttre klimatiska förhållanden såsom vindhastighet, vindriktning, temperatur m. m. Dessutom har fyra bestämningar gjorts av ventilationens storlek i vindsutrymmet.

Av mättekniska skäl har ventilationsbestämningarna gjorts med alla innerdörrar öppna medan vid försöken i övrigt varje rum hållits tillstängt.

2.3.5 Registrering av vindhastighet och vindriktning

Vindhastighet och vindriktning har registrerats med en vindmätare av Lambrechts fabrikat. Mätvärden har erhållits från en kombinerad givare för både hastighet och riktning. Denna har varit placerad på en särskild brygga på taket till försökshuset. FIG. 6 och 7

Vindmätaren fungerar på så sätt att vinden åstadkommer en rotation hos ett skovelhjul som i sin tur driver en generator. Spänningen som därvid alstras är proportionell mot vindhastigheten och har registrerats av en s. k. linjeskrivare.

Vindriktningen överförs från vindflöjeln med ett elektriskt givar- och mottagarsystem till linjeskrivaren. På samma papper har samtidigt vindvägen registrerats. Denna har dessutom integrerats fram av ett mekaniskt räkneverk.

2.3.6 Registrering av instrålning

Instrålningsintensiteten har mätts med 4 solarimetrar av typ Moll-Gorczyński från Kipp och Zonen. Den horisontala komponenten av den totala instrålningen har bestämts mot de tre faser som innehåller fönster. En av solarimetrarna har dessutom varit placerad på husets tak för att registrera den vertikala strålningskomponenten. Instrumenten fungerar i princip på så sätt att en rund svart platta uppvärms av solstrålningen varvid den får högre temperatur än omgivningen. Denna övertemperatur bestäms med en serie termoelement och är ett direkt mått

på strålningsintensiteten. Solarimetrarna har anslutits till två fallbygelskrivare som har registrerat den av strålningsintensiteterna orsakade termospänningen.

Solarimetrarna inkl. registreringsinstrument och ledningar har kalibrerats av SMHI.

2.3.7 Övriga undersökningar

Relativ fuktighet liksom även lufttemperaturer har registrerats med hjälp av termohygrografer. Registreringen har gjorts i två rum, i vindsutrymmet samt utomhus. Termohygrograferna har haft en veckas gångtid.

Fuktkvoten i trävirket i vindsutrymmet har registrerats med hjälp av en fuktmätare av märket Gant. Mätaren registrerar elektriskt motstånd mellan två mätelektroder som slås in i träet. Med vissa förutsättningar kan träets fuktkvot bestämmas som en funktion av det elektriska ledningsmotståndet. Mätaren har två skalor som är graderade från 4 till 30 respektive 0 - 100 % fuktkvot.

Förekomsten av ytkondens på insidan av yttertakpanelen har registrerats med en särskild apparatur som konstruerats vid institutionen och tidigare beskrivits av Nylund (1963). Instrumentet som kan användas för kvalitativ registrering är kopplat till ett räkneverk som dels anger antalet tillfällen med kondens dels hur lång tid kondens förelegat. Vid kalibrering av instrumenten har det visat sig att en kondensmängd av $0,3 \text{ g/m}^2$ är tillräcklig för att registreringen skall ske. Denna mängd kondens motsvarar en vattenfilm med en tjocklek = $0,0003 \text{ mm}$.

2.4 Beräkningar

Undersökningarna har även omfattat ingående teoretiska beräkningar av exempelvis värmemotstånd, solinläckning och totalt värmebehov.

Analyser har företagits av t. ex. samband mellan ventilationsgrad och såväl vindhastighet som temperaturskillnad inne-ute.

Beräkningsförutsättningar och beräkningsmetodik behandlas under resp. avsnitt.

2.5 Tid för undersökningarna

Försöken påbörjades i full omfattning den 15 okt. 1964 och pågick till och med april 1965 dvs. huvuddelen av eldningssäsongen 64-65. Vissa bestämningar fortsatte även under större delen av maj 1965.

3 VÄRMEMOTSTÅND HOS OLIKA BYGGNADSDELAR

3.1 Värmeöverföring i mineralullsisol- rade byggnadskonstruktioner

I torr mineralull överförs värme genom ledning, i såväl fibrer som i den inneslutna luften, strålning och konvektion. Dessa överföringsformer är intimt förbundna och svåra att isolera från varandra även på experimentell väg. Ledning genom den inneslutna luften i hålrummen är den dominerande överföringsformen vid väl utförda mineralullsisoleringar. Den är i stort sett oberoende av volymvikten (avtar något med volymvikten). Ledning genom fibrerna är däremot vanligen obetydlig vid de volymvikter som används vid byggnadsisoleringar. Med sjunkande volymvikt ökar den totala värmeöverföringen främst på grund av att strålningsdelen ökar.

Den goda isolerförmågan hos en väl utförd mineralullsisolerad byggnadskonstruktion förutsätter att den inneslutna luften är relativt stillastående. Därvid är värmeöverföringen p. g. a. konvektion praktiskt taget försumbar. Luftens värmeledningstal och materialets struktur kan då vara av avgörande betydelse för materialets skenbara värmeledningstal.

Beteckningarna "värmeledningstal" och "värmeledningsförmåga" används i teknisk betydelse för en kombination av värmeledning, konvektion och strålning. Vid icke homogena material kan detta vara både inkorrekt och vilseledande. Det har därför föreslagits att denna kombination bör ges benämningen "skenbar värmeledningsförmåga" eller "ekvivalent värmeledningsförmåga" eller att något annat lämpligt namn borde väljas för att ange den mängd värme som överförs vid dessa material. I det följande används begreppet "skenbart värmeledningstal". (Se även Höglund, 1963.)

I Svensk Byggnorm används uttrycket "praktiskt tillämpligt värmeledningstal". Detta tal avses avspegla den skenbara värmeledningsförmågan hos ett material då det är anbringat i en konstruktion med en viss "säkerhetsmarginal". Vid bestämning av de praktiskt tillämpliga värmeledningstalen tas därför även viss hänsyn till ofullkomligheter i konstruktionen, trots att dessa ofullkomligheter egentligen inte är rena materialegenskaper (Värmeledningstal för mineralull. SBN-G 33-23. Statens Planverk, publ. nr 7, Stockholm 1968) (Rönning, 1967).

Värmeöverföring i porösa isolermaterial främst mineralull, har studerats av en rad forskare. Några av deras publicerade arbeten anges i litteraturförteckningen. Se bl. a. Allcut & Ewens (1939), Bankvall (1970 och 1972), Verschoor & Greebler (1952), Cammerer (1962), Calvet (1963), Gasquet (1963), Klarsfeld (1970), Levecque (1963), Martin & Haselden (1963), Mumaw (1968), Lotz (1964), Fournier et al. (1966 och 1967), Wolf (1966), Wolf et al. (1966).

Vad avser mineralullsisolrade byggnadskonstruktioner har

Höglund (1963) och Höglund & Hansson (1964) uppdelat egenkonvektionen i s. k. mikro- och makrokonvektion enligt ett förenklat betraktelsesätt. Med mikrokonvektion avses därvid de luftrörelser som kan försiggå i materialets enskilda hålrum. Värmeöverföringen på grund av mikrokonvektion kan därför anses vara materialberoende och ingår i det skenbara värmeledningstal som provningsmässigt kan bestämmas i exempelvis en plattapparat. Att isolera mikrokonvektionen från de övriga värmetransportsätten är således med denna definition inte nödvändigt. Motsvarande uppdelning används numera av flera andra forskare. Cammerer (1962) använder exempelvis uttrycken "Porenkonvektion" och "Freien Konvektion".

Med makrokonvektion avses de luftrörelser i sammanhängande hålrum som kan omfatta t. o. m. hela konstruktionsenheter och som kan sägas överlagra mikrokonvektionen (Höglund, 1963) utan att påverka denna (Martin & Haselden, 1963). Bland de faktorer som påverkar makrokonvektionen är isolermaterialens luftgenomsläpplighet och temperaturförhållandena. En variation av temperaturskillnaden på ömse sidor om en med mineralull isolerad yttervägg och en variation av medeltemperaturen hos samma vägg påverkar båda var för sig väggens värmeisoleringsförmåga men i motsatt riktning, se Höglund (1963). Detta betyder praktiskt att värmegenomgångstalet (k-värdet) för en väl mineralullsisolerad konstruktion i stort sett är oförändrat vid normala temperatursvängningar utomhus. Makrokonvektionen är inom byggnadstekniken speciellt beroende av material- och konstruktionstyp samt av arbetsutförande.

Makrokonvektion inne i en mineralullsisolerad vägg har visat sig vara koncentrerad till ytskikten närmast isoleringens begränsningsytor (Höglund, 1964). Redan mycket tunna spalter mellan isolering och begränsningsyta medför en så stor ökning av makrokonvektionen att den påverkar såväl temperatur- som värmeflödesfördelningen över väggen. Vid konstruktioner med luftspalter som kommunicerar med varandra inne i väggen kan inverkan av makrokonvektion bli mycket ogynnsam. Detta förhållande kan lätt inträffa om mineralullen inte har tillräcklig tjocklek i förhållande till det avsedda utrymmet och om den appliceras så att springor mellan skivorna uppstår. Även om spalter och otätheter som är mycket små möjliggör luftcirkulation som nedsätter den totala värmeisoleringsförmågan. Vid en tät konstruktion där isoleringen ligger väl an mot alla begränsningsytor är inverkan på såväl värmeflödes- som temperaturfördelningen av makrokonvektion emellertid inte påvisbar (Höglund, 1964). I sådana fall bör praktiskt taget samma skenbara värmeledningstal kunna erhållas för mineralullen som vid laboratoriebestämning av dess värmeledningstal (λ_{10} enligt Svensk Byggnorm).

Beträffande inverkan av makrokonvektion sammanfattar Höglund (1964) i "On Thermal Insulation Properties of External Multi-layer Walls" resultaten på följande sätt

"With air tight walls and with proper positioning of the mineral wool slabs, the laboratory investigations have shown that heat transfer by macroconvection was less important. When insulation was carried out in this way,

any macroconvection which occurred, was mainly concentrated within the surface layers close to the boundary surfaces of the insulation and the very thin air spaces near these surfaces.

The occurrence of air spaces inside a construction unit, however, has considerable effect upon the existence of macroconvection even with air-tight walls. Appreciable deterioration of the thermal insulation properties due to air spaces was shown both with insulation layers of mineral wool and of corrugated board and cellular plastics - even though the latter material has virtually zero air permeability. The air spaces can be either there by design or they may be unplanned in the form of narrow and irregular air spaces between wall surfaces and insulation layers.

Increased macroconvection with consequent appreciable deterioration of the insulation properties of air-tight walls, is obtained when air spaces on both sides of the insulation material are in communication with each other, particularly at the bottom and top edges of the wall, when for example, there is a bad fit between the insulation material and the surrounding wall material"...

Dessa resultat har också ytterligare verifierats av Lotz (1964), Wolf (1966) och Wolf, Solvason & Wilson (1966).

Wolf et al. sammanfattar sina slutsatser

"...convective air flow effects were negligible when the insulation was isolated from the air spaces by an impermeable membrane, or when at least one of the air spaces was eliminated, for example, by installing the insulation firmly against the sheathing. When installed against the sheathing in a realistic manner, some small convective effects were noted. This emphasizes the desirability of careful installation, especially when the material does not completely fill the stud space. If it is not possible to ensure that air spaces will not occur on both sides of the insulation, an air-tight membrane in contact with the insulation should be used..."

"...Good agreement was obtained between convective air flow effects derived from the wall heat flow measurements and those predicted from the theory presented in the companion paper."

Vid ASHRAE "Seventythird Annual Meeting 1966" framhöll Lotz i diskussionen bl. a. :

"Mr Wilson, Mr Wolf and Dick Solvason are to be congratulated on a fine paper. The information presented in this paper is a welcome extension to the paper I published in 1964 and the work published by I. Höglund in 1963 and 1964."

"... The conclusions developed from your research agree with those reached by myself and those of Höglund on the effects of air currents in fibrous thermal insulation..."

"As your paper and several other papers have shown, the thermal performance of permeable fibrous insulation is highly dependent on the building design and the insulation application technique."

Påtvingad konvektion, som orsakas av yttre störningar, bl. a. vindens inverkan, kan öka värmeflödet genom väggen i hög grad. För att undvika sådana extra störningar måste konstruktionen ha ett effektivt vindskydd som omöjliggör sådant luftläckage som kan påverka luftcirkulationen inne i väggen. Motsvarande gäller också för bjälklags- och takkonstruktioner. Som vi tidigare nämnt måste bl. a. isoleringen närmast ventilationsspringan vid takfoten skyddas mot yttre luftrörelser. På stort avstånd från takfoten är lufthastigheten ovan isoleringen sannolikt så låg att kraven på särskilt vindskydd hos isoleringen kan minskas.

För att få en god värmeisolering i en byggnad erfordras därför sammanfattningsvis

- 1) Ett isolermaterial med lämpliga tekniskt-fysikaliska egenskaper.
- 2) Väl anpassad projektering avseende såväl den byggnadstekniska utformningen som installationerna.
- 3) Riktigt arbetsutförande.
- 4) Noggrann kontroll.

Vid projektering och utförande av regelhuset har som tidigare redovisats under avsnittet "Beskrivning av försöks- och försöksmetodik" ovanstående regler tillämpats så långt som det varit praktiskt möjligt.

3.2 Resultat av bestämningar av värmemotstånd, värme- flöden och värmegenomgångstal

3.2.1 Ytterväggar

Värmemotstånd (exkl. övergångsmotstånd) har bestämts på varje yttervägg, dvs. en på vardera söder-, väster-, norr- och österväggen, ca 1,6 m över golv. I bestämningarna, som gjorts med Brown-mätare, har hänsyn inte tagits till reglarnas inverkan. De bestämda värmemotstånden liksom yttemperaturer och beräknade k-värden anges som medelvärden för månadslånga perioder i TAB. 2 och 3. De bestämda medelvärdena av värmemotstånden för hela mätperioden - vintern 1964/65 - varierar mellan 4,19 och 4,97 m²h⁰C/kcal. I dessa värden, som är höga, ingår inte övergångsmotstånden vid väggarnas begränsningsytor. Värdena har inte heller korrigerats med hänsyn till ojämn värme-
flödesfördelning över vägghöjden.

Det enligt anvisningarna i Svensk Bvgnorm 67 beräknade vär-

ammanställning av ytemperaturer, värmeflöden, värmemotstånd och k-värden för ytterväggar mot norr och öster.

ärdena är medelvärden från månadslånga mätperioder och avser bestämmningar på nivån ca 1,6 m över golv. orrigering för snedheter i värmeflödena har inte gjorts.

tid	Yttervägg mot norr					Yttervägg mot öster				
	y	i	q	m _{yy} ¹⁾	k	y	i	q	m _{yy} ¹⁾	k
	°C	+°C	+°C	$\frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$	°C	+°C	kcal/m ² h	$\frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}$
29/10	+4,9	20,4	15,5	4,43	0,216	+5,8	21,0	3,39	4,48	0,214
1/12	+0,8	19,9	19,1	4,37	0,219	+1,7	20,4	4,31	4,34	0,221
28/12	+0,6 ⁽²⁾	19,9 ⁽²⁾	19,3 ⁽²⁾	4,40 ⁽²⁾	0,218 ⁽²⁾	-0,6	20,2	4,91	4,24	0,226
29/1	-3,1	19,7	22,8	4,97	0,209	+0,1	19,9	5,27	3,76	0,253
27/2	-5,0	19,5	24,5	4,53	0,212	-3,3	20,1	5,14	4,55	0,212
29/3	-3,2	19,7	22,9	4,51	0,213	-1,0 ⁽³⁾	20,8 ⁽³⁾	4,97 ⁽³⁾	4,39 ⁽³⁾	0,218 ⁽³⁾
26/4	+3,4	20,2	16,8	4,15	0,241	+4,4 ⁽⁴⁾	20,4 ⁽⁴⁾	3,95 ⁽⁴⁾	4,05 ⁽⁴⁾	0,241 ⁽⁴⁾
24/5	+8,0	21,1	13,1	2,99	0,218	+9,5 ⁽⁵⁾	22,4 ⁽⁵⁾	2,58 ⁽⁵⁾	5,00 ⁽⁵⁾	0,193 ⁽⁵⁾
n för tiden	+0,1	20,0	19,9	4,43	0,214	+1,3	20,6	4,46	4,33	0,221

1 m_{yy} avser värmemotstånd exkl. övergångsmotstånd

2 Avser tiden 1/12-19/12

3 Avser tiden 27/2-8/3 och 15/3-29/3

4 Avser tiden 29/3-20/4

5 Avser tiden 26/4-3/5 och 10/5-24/5

TAB. 3. Sammanställning av ytttemperaturer, värmeflöden, värmemotstånd och k-värden för ytterväggar mot söder och väster.

Värdena är medelvärden från månadslånga mätperioder och avser bestämmningar på nivån ca 1,6 m över golv. Korrigering för snedheter i värmeflödena har inte gjorts.

Mätperiod	Yttervägg mot söder				Yttervägg mot väster			
	y °C	i +°C	q kcal/m ² h	$\frac{m_{yy}}{k}$ $\frac{m^2 h^{\circ}C}{kcal}$	y °C	i +°C	q kcal/m ² h	$\frac{m_{yy}}{k}$ $\frac{m^2 h^{\circ}C}{kcal}$
1964 16/10-29/10	+6,5	20,9	3,53	4,08	+5,6	20,3	3,02	4,87
29/10- 1/12	+1,7	20,4	4,56	4,10	+1,7	19,9	3,66	4,97
1/12-28/12	-1,0	20,2	5,24	4,05	-0,9	19,8	4,11	5,04
1965 28/12-29/1	-2,6	19,9	5,67	3,97	-2,7 ⁽²⁾	20,2 ⁽²⁾	4,43 ⁽²⁾	5,13 ⁽²⁾
29/ 1-27/2	-5,2	19,0	5,81	4,27	-4,0	19,4	4,63	5,05
27/ 2-29/3	-0,3	20,9	5,10	4,16	-2,4	19,7	4,55	4,86
29/ 3-26/4	+4,6 ⁽³⁾	20,0 ⁽³⁾	3,73 ⁽³⁾	4,13 ⁽³⁾	+3,5 ⁽⁴⁾	20,4 ⁽⁴⁾	3,63 ⁽⁴⁾	4,57 ⁽⁴⁾
26/ 4-24/5	+10,0	22,8	2,99	4,28	+7,8	21,2	2,75	4,87
Medelvärden för hela mätperioden	+0,9	20,7	4,73	4,19	+0,2	19,9	3,96	4,97
			0,228	0,228			0,197	0,194

1 m_{yy} avser värmemotstånd exkl. övergångsmotstånd

2 Avser tiden 28/12-23/1

3 Avser tiden 28/ 3-12/4

4 Avser tiden 29/ 3-20/4

memotståndet utan hänsyn till reglarnas inverkan och exkl. övergångsmotstånd är $3,75 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$, varvid värmeledningstalet för mineralull i enlighet med anvisningarna antagits till $0,040 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$ (kvalitetsgrupp B). Detta motsvarar ett värmege-nomgångstal av $k = 0,25 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$. Såväl luftspalten mellan den utvändiga träfiberskivan och träpanelen som den yttre trä-panelen har medräknats i värmemotståndet. Detta kan anses motiverat eftersom för luftspalter med begränsningsytor med normalt höga emissionstal gäller att måttlig ventilation av luftspalten endast medför en relativt obetydlig försämring av spaltens värmemotstånd vid vintertemperaturförhållanden. Detta är i synnerhet fallet om spalten är placerad nära konstruktionens kalla sida och konstruktionsdelen utanför luftspalten har ett lågt värmemotstånd i förhållande till konstruktionsdelen innanför luftspalten (Riktlinjer för värmeisoleringsbestämmelser. NKB-skrift nr 8, 1967). Om mineralullens skenbara värmelednings-tal i stället antas ha värdena $0,035$ resp. $0,045 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$ - kvalitetsgrupp A resp. C enligt SBN 67 - blir väggens värmemotstånd $4,18$ och $3,42 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ om beräkningen i övrigt göres på samma sätt som ovan. Jämför även FIG. 12 och 13.

Beroende på inverkan av köldbryggor och av värmetransport genom makrokonvektion i ytterväggarna samt i någon utsträckning av värmeövergångstalets variation i höjddled och av temperaturgradient i rummet varierar emellertid värmeflöden och yttemperaturer betydligt över väggytan. Se FIG. 14 a och b. För att kunna bedöma hela väggens isolerförmåga måste därför hänsyn tas till dessa variationer. För att bestämma variationerna har särskilda värmeflödes- och yttemperaturbestämningar gjorts, dels i form av enklare mätningar under huvudförsöken 1964-65 dels i form av en grundlig bestämning 1971.

På västväggen har 1971 på den plats där Brown-mätaren varit placerad, värmeflödet och de invändiga yttemperaturerna bestämts på 5 olika nivåer över golvet med termoelektriska värme-flödesmätare resp. termoelement. Mätperioden har omfattat tiden 25.3 - 14.4 1971 - dvs. nära tre veckor. Vid kartering av värme-flödesfördelningen över övriga väggytor har en mindre, termoelektrisk värme-flödesmätare använts. Så snart mätaren stabiliserat sig har ca 10 avläsningar med 10 sek. mellanrum gjorts, varefter medelvärdet beräknats. Motsvarande mätningar har också gjorts på västväggen varvid värme-flödesfördelningen blev nära densamma som under den längre registreringsperioden. Korttidsavläsningarna kan sålunda användas för att kartlägga värme-flödesfördelningen.

Resultaten av bestämningarna för västväggen redovisas i FIG. 14. Därav framgår att värme-flödet är lägst på nivån 165 cm över golv dvs. på den nivå Brown-mätaren varit placerad vid långtidsregistreringarna. Värme-flödet är större såväl närmare tak som närmare golv. 17 cm över golv har värme-flödet varit nära 3 gånger och 43 cm över golv drygt 2 gånger så stort som 165 cm över golv. Om värdet på nivån 165 cm sätts lika med 100 % fås i genomsnitt för hela vägghöjden 151 %. Görs motsvarande beräkning för de övriga väggarna blir medelvärdet för norrväggen 114 %, för österväggen 123 % och för söderväggen 121 %.

Analys av variationerna i värme-flöden över vägghöjden ger vid

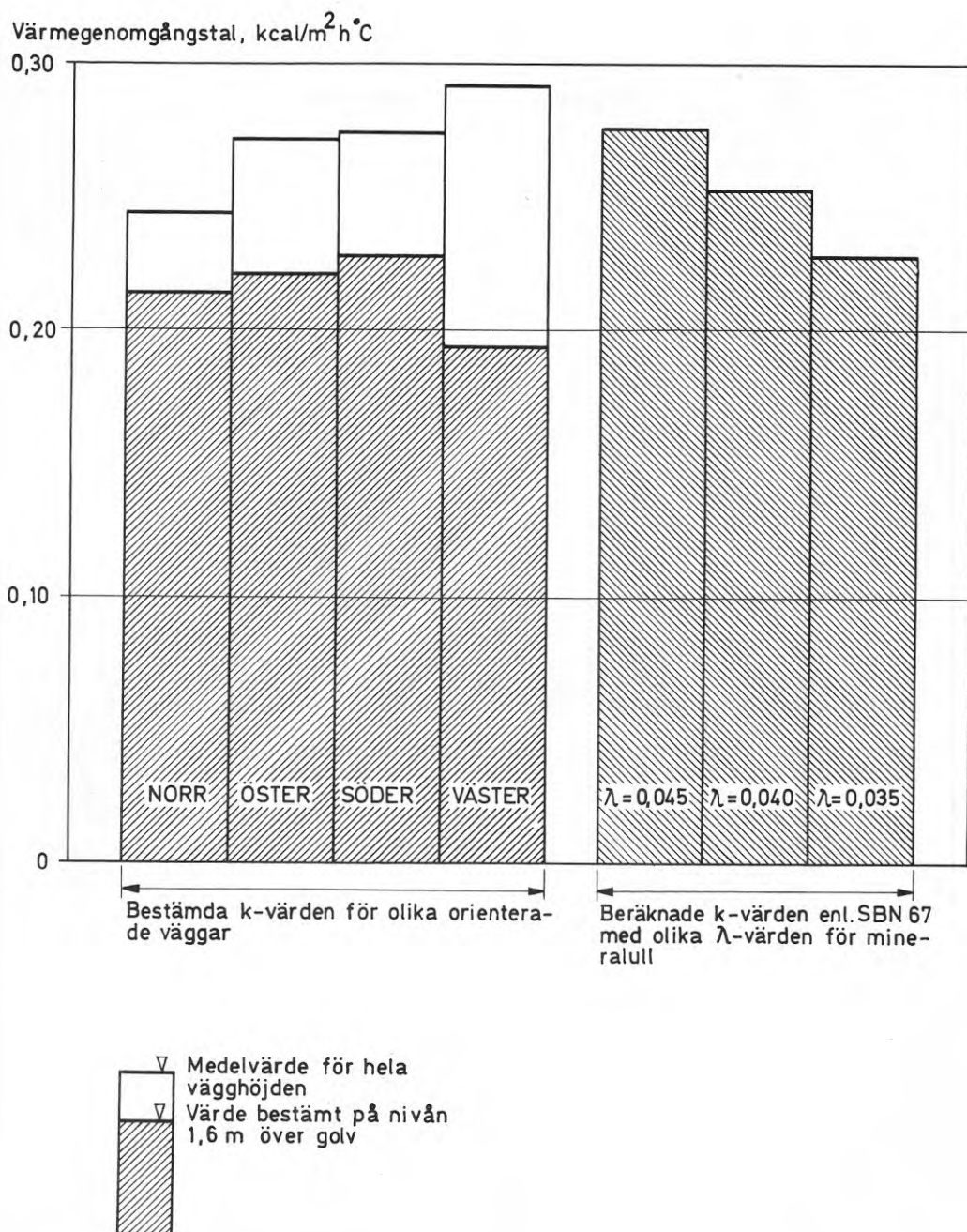


FIG. 12. Jämförelse mellan bestämda värmegenomgångstal (k-värden) för regelhusets fyra ytterväggar och motsvarande beräknade värmegenomgångstal enligt Svensk Byggnorm 67. I det senare fallet har beräkningen baserats på praktiskt tillämpbara värmeledningstal för mineralullen av 0,045 kcal/m h°C, 0,040 kcal/m h°C och 0,035 kcal/m h°C. Bestämda k-värden avser dels värdet bestämt ca 1,6 m över golv - fyllda staplar - dels beräknade medelvärden för hela vägghöjden - den övre begränsningen hos staplarna. Konvektion och ev. inverkan av köldbryggor har medfört att k-värdet i medeltal för hela vägghöjden är väsentligt högre än på nivå 1,6 m över golv.

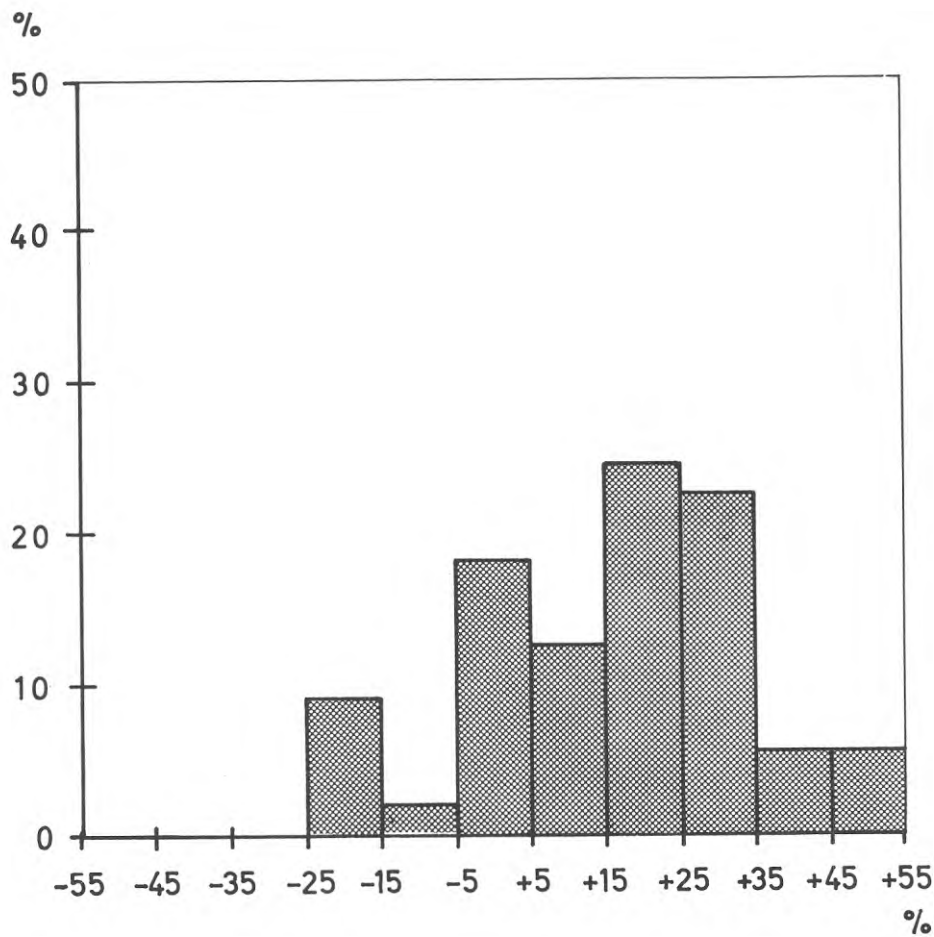


FIG. 13. Vid institutionen för Byggnadsteknik har tidigare värmemotståndet hos ett stort antal ytterväggar bestämts (Höglund, 1963 och 1964). Dessa undersökningar som sammantagna är att betrakta som en totalundersökning av flerskiktsväggar i flerfamiljshus huvudsakligen i Stockholmstrakten uppförda 1954-1958 och isolerade med högisolerande material, omfattar totalt 74 olika väggar. 56 av dessa väggar var isolerade med mineralullsskivor. I frekvensdiagrammet visas skillnaden mellan uppmätta och beräknade värmemotstånd för dessa mineralullsisolerade väggar, uttryckt i procent av beräknat värmemotstånd. Medelvärdet var 16 % bättre än beräknade värden och standardavvikelsen var 18 %. Vid beräkningarna har värmeledningstalet för mineralull antagits vara $0,040 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$ enligt BABS 1960. Värmeledningstal för övriga material i väggarna har också hämtats ur BABS 1960. Ca 23 % av de bestämda värmemotstånden har dock varit lägre än de beräknade, främst till följd av bristfälligheter i konstruktionsutförandet. Medelvärdet av samtliga värmemotstånd motsvarar ett λ -värde för mineralullsskivorna på ca $0,035 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$ under förutsättning att övriga material i väggarna har de värmeledningstal som BABS anger som praktiskt tillämpbart.

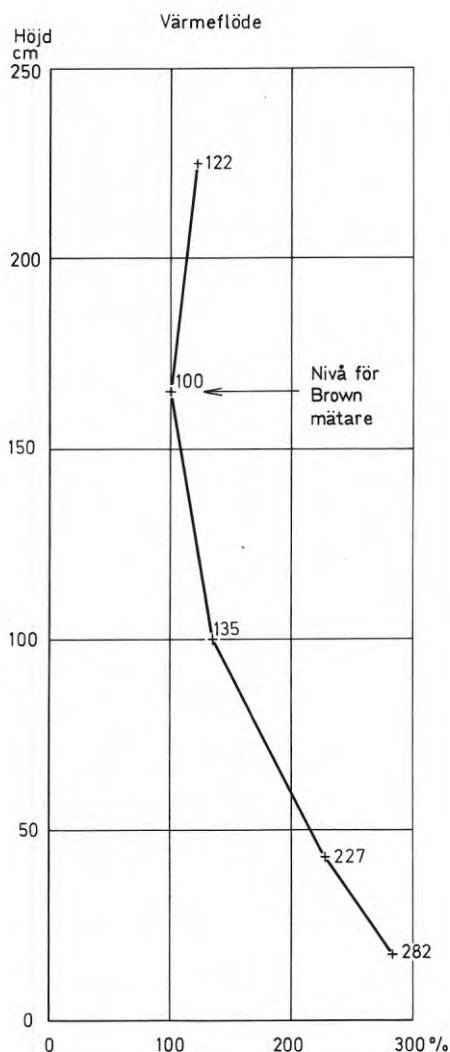


FIG. 14a.

Värmefflödesfördelning i höjded enligt bestämningar för V-väggen under perioden 25. 3. 71-14. 4. 71 med termoelektriska värmefflödesmätare. Värmefflödet på nivån ca 1,6 m över golv har satts lika med 100 % vilket motiveras av att långtidsregistreringarna av värmefflödet med Brown-mätare skett på denna nivå.

Resultaten visar att det genomsnittliga värmefflödet över hela vägghöjden är väsentligt högre än på nivån 1,6 m över golv. Resultaten från långtidsbestämningarna med Brown-mätarna bör därför korrigeras om värdena skall anses gälla för hela vägghöjden.

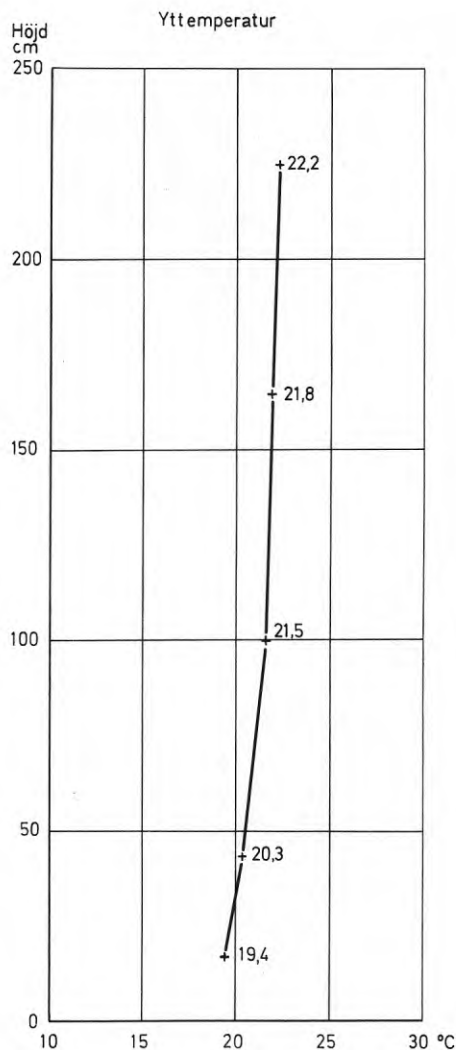


FIG. 14b.

Temperaturfördelning i höjded på V-väggens insida för perioden 25. 3. 71-14. 4. 71. Utelufttemperaturen har under denna period i medeltal varit $+3,5^{\circ}\text{C}$. Trots den relativt höga utetemperatur har yttemperaturen på väggen varit ca 3°C högre nära taket än ca 15 cm ovan golvet.

handen att dessa inte kan förklaras av lokala köldbryggor vid golv och tak och värmeövergångstalets variation. Så som värmeflödet varierar för t. ex. västerväggen kan det endast förklaras av att betydande makrokonvektion förekommer inuti väggen.

På motsvarande sätt har även en variation i yttemperaturen på väggens insida erhållits. Se FIG. 14 b.

Om hänsyn till värmeflödesvariationerna tas vid beräkning av det genomsnittliga värmegenomgångstalet för hela vägghöjden fås följande värden: för vägg mot norr $k = 0,24$, för vägg mot öster och söder $k = 0,27$ och för vägg mot väster $k = 0,29$. FIG. 12. Endast för norrväggen erhålles sålunda ett värmegenomgångstal som är något lägre än vad som kan beräknas enligt Svensk Byggnorm 67. ($k = 0,25$.) För de tre övriga väggarna överskrids de beräknade värdena - för västväggen relativt mycket. Inte någon av de fyra väggarna har så lågt genomsnittligt k -värde att det skulle motsvara ett värmeledningstal av $0,035 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$ för mineralullen (kvalitetsgrupp A).

I väggar isolerade med mineralull som har relativt högt luftgenomsläpplighetstal kan sålunda erhållas en betydande ökning av värmetransporten genom makrokonvektion även vid till synes gott arbetsutförande. Det är sålunda mycket svårt att även vid kontrollerat arbetsutförande undvika tunna springor och spalter i väggar mellan mineralullsskivorna och begränsningsytorna. Korrektion för värmeflödesvariationerna kan ske från olika utgångspunkter. Enbart med hänsyn till storleken på värmetransmissionen bör ett genomsnittsvärde för hela vägghöjden användas. Från hygienisk synpunkt är det å andra sidan väsentligt att känna till högsta möjliga värmeflödet vilket blir dimensionerande för bedömning av bl. a. kondensrisker. Storleken på makrokonvektionen är som påvisats i hög grad beroende på konstruktion, arbetsutförande och kontroll etc. varför en korrektion även bör ta hänsyn till sådana faktorer.

I denna rapport har vi endast syftat till att ge underlag för de tekniska-ekonomiska bedömningar som måste göras vid fastställande av lämpliga korrektioner.

De vertikala reglarna i denna typ av ytterväggar utgör självfallet ofrånkomliga köldbryggor. Värmemotståndet beräknat enligt Svensk Byggnorm för ett snitt genom reglarna uppgår till $1,75 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$. Beräknas ett genomsnittligt värmegenomgångstal för ytterväggen enligt den metod som anges i Svensk Byggnorm, och som för detta fall torde ge relativt gott resultat, blir detta $0,27 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$, Nevander et al. (1961). Därvid har för mineralullen i den övriga delen av ytterväggen använts $\lambda = 0,040 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$. Om med samma förutsättningar ingen hänsyn till reglarna tas, blir värmegenomgångstalet $k = 0,25 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$. I detta fall innebär således reglarna att värmegenomgångstalet ökas med ca 8 %.

3.2.2 Vindsbjälklag

Värmemotståndet hos vindsbjälklaget har bestämts med två termoelektriska värmeflödesmätare, som varit placerade dels nära

takfoten dels mitt inne i huset. Instrumenten har placerats mitt emellan träbjälkarna, varför deras inverkan på värmeströmmen kan försummas. De bestämda värmemotstånden uppgår i genomsnitt under mätperioden till $8,10 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ($k = 0,12 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$). Det enligt Svensk Byggnorm 67 beräknade värmemotståndet för partier mellan bjälkarna uppgår till $6,43 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ($k = 0,15$), varvid λ -värdet för mineralullen antagits till $0,04 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$. Volymvikten hos de använda mineralullsmåtorna är dock något för låg, $13 \text{ kg}/\text{m}^3$, och luftgenomsläpplighetstalet något för högt för att produkten enligt nu gällande regler skall klassificeras i grupp B med ett praktiskt tillämpbart värmeledningstal av $0,04 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$. Senare har volymvikten justerats så att motsvarande produkt numera uppfyller kraven för kvalitetsgrupp B (SBN, 1968). De bestämda värmemotstånden är således för vindsbjälklaget mycket höga. Härtill bidrar i någon mån de extra värmemotstånd som uppkommer på grund av luftlager mellan de olika isoler- och pappskikten.

Används i stället värmeledningstalet $\lambda = 0,035 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$ för hela mineralullsisoleringen och nominell tjocklek, uppgår värmemotståndet till $7,33 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ($k = 0,13$), vilket bättre överensstämmer med mätresultaten. Resultaten visar i detta fall att om reglerna för riktigt isoleringsutförande tillämpas (se sid.), så erhåller man även vid så tjock isolering som 25 cm i praktiken ett värmeledningstal i närheten av de laboratoriebestämda (λ_{10}).

I ett vindsbjälklag uppkommer naturligtvis inga sneda värmeflödesfördelningar som vid ytterväggar varför förutsättningarna att optimalt utnyttja mineralullens egenskaper är bättre vid den horisontella isoleringen. Å andra sidan visar erfarenheter från besiktningar av utförandet av isoleringsarbetena på vindsbjälklag att det finns uppenbara risker för ofrivillig ventilation av isoleringen via luftspringor längs takfoten. Dessutom kan slarv vid tillpassning också leda till försämrade isolerförmåga. Vid en bra bjälklagskonstruktion med gott arbetsutförande kan det dock vara möjligt att tillämpa ett bättre värmeledningstal för mineralullen relativt väggar.

Även för vindsbjälklaget innebär träbjälkarna en försämring av det totala värmegenomgångstalet - köldbryggor. Göres beräkningen på samma sätt som för ytterväggar ökar värmegenomgångstalet från $k = 0,13$ till $k = 0,14 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ på grund av reglarnas inverkan. I detta fall har jämförelsen gjorts med utgångspunkt från att mineralullen har värmeledningstalet $\lambda = 0,035 \text{ kcal}/\text{m h}^\circ\text{C}$.

Den mycket höga isolerförmågan har medfört att lufttemperaturen i vindsutrymmet varit mycket låg under vintermånaderna - mycket nära utetemperaturen. Vid klart väder har den natttid t. o. m. stundtals legat lägre än utelufttemperaturen, vilket bl. a. beror på inverkan av långvågig utstrålning från takytan mot rymden. (Detta behandlas utförligare i ett följande avsnitt.) Ventileringen med ytterluft av vindsutrymmet innebär vid sådana tillfällen en höjning av temperaturen och sålunda tillförsel av värme. Under soliga dagar däremot har temperaturen i vindsutrymmet stigit kraftigt på grund av det mörka takets stora absorption av kortvågig solstrålning.

3.2.3 Platta på mark

Värmeströmningen genom väggar och tak är med undantag av vissa partier endimensionell. Dessa konstruktioners värmetröghet är ofta relativt ringa och inverkan av den kan försummas vid beräkning av värmetransporten för längre tidsperioder. För kortare perioder måste emellertid hänsyn tas till värmekapaciteten för vilket ändamål det finns beräkningsmetoder av olika slag. Värmegenomgångstalet är dock en relativt god parameter för bestämning av värmeisoleringsförmågan hos sådana konstruktioner.

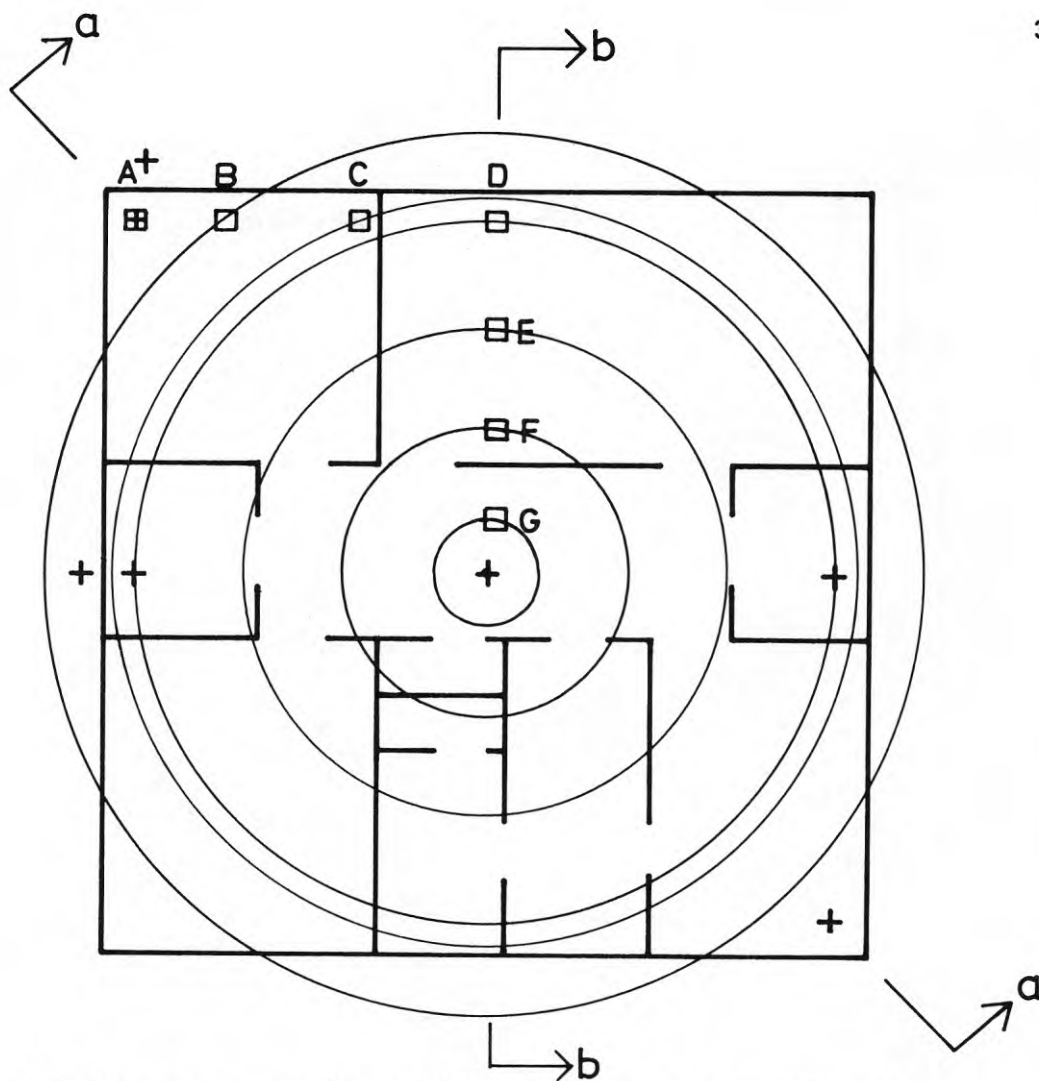
För grundkonstruktioner kan värmeströmningen inte lika enkelt karakteriseras med ett k -värde. Vid platta direkt på marken påverkas nämligen temperaturen i marklagren av värmeströmningen till flera meters djup. Under ett uppvärmt hus uppbyggs därvid successivt ett värmemagasin som bidrar till att utjämna värmeförlusterna under året (Adamson et al., 1964). Kapaciteten hos detta värmemagasin beror i hög grad på hur grunden är beskaffad - vilka jordarter som förekommer eller eventuellt berg - och inverkan av grundvattenströmmar. Vid beräkning av isolerförmågan hos en platta på mark måste sålunda hänsyn tas till dels att värmeströmningen är flerdimensionell dels att grunden har stor värmetröghet. Problemet med dimensionering av värmeisoleringen kompliceras dessutom av svårigheten att bedöma när tjälrisk förekommer.

Den analytiska lösningen av värmeströmningsproblemet vid en platta på mark är dels beräkningsmässigt omständlig dels beror resultatet i hög grad på randvillkoren. De senare kan vara mycket svåra att i förväg uppskatta och bedöma. Teoretiska beräkningar för flerdimensionell värmeströmning har bl. a. utförts av Lachenbruch (1957), Vourelainen (1960) och Adamson et al. (1964).

Empiriska undersökningar av temperaturen i marken och värme-flödet genom grundplattan är nödvändiga för att kunna bestämma randvillkoren och närmare analysera värmeströmningen genom en platta direkt på mark. Det är också nödvändigt att bestämma yttemperaturen på golvet under praktiska förhållanden för att kunna avgöra om denna blir för låg sett från hygienisk synpunkt.

Regelhuset ligger som redovisats ovan direkt på berg. Mellan betongplattan och berget finns ett singellager med varierande tjocklek från 15 cm till ca 100 cm. Betongplattan är på ovansidan isolerad med mineralull med en tjocklek av 8 cm i yttre randzonen - 1 m från ytterväggen - och i övrigt med 4 cm. (Se Svensk Byggnorm 67 och Rönning, 1961.)

Vid regelhuset har värme-flödet genom golvet, temperaturen på golvet och på olika nivåer under golvet bestämts i ett flertal punkter. Sålunda har för en period om ca 4 månader - november 1964 till februari 1965 - värme-flödet bestämts i 7 mätpunkter (A till G i FIG. 15). Punkterna har placerats dels längs ena fasaden från ytterhörn in mot mitten på ett avstånd av 40 cm från ytterväggen dels från ena fasadens mitt in mot centrum av plattan. Det är därför möjligt att studera hur värme-flödet varierat längs fasaden och in mot centrum av huset. På grund av den geo-



- Placering av värmeflödesmätare och termoelement för yttemperaturregistrering
- + Mätpunkter för registrering av såväl yt- som marktemperaturer

FIG. 15. Skiss som visar placeringen på golvet av värmeflödesmätarna A-G och mätpunkterna för temperaturregistrering. Vid bestämning av det totala värmeflödet genom golvet har antagits att flödet är cirkulärsymmetriskt kring husets centrum. Detta innebär självfallet en approximation främst för värden i närheten av ytterhörn, men har ändå godtagits, eftersom det totalt sett är små transmissionsytor som på detta sätt påverkas av sådana randstörningar. Approximationen innebär att det beräknade totala värmeflödet blir något för stort. I FIG. 17 och 18 redovisas hur värmeflödet varierar längs snitten a-a och b-b med de här redovisade förutsättningarna.

metriska symmetrin hos konstruktionen och att undergrunden är densamma under hela huset antas vid beräkning av värmeförlusterna genom plattan att värmeflödet har samma värde på samma avstånd från centrum av plattan. I närheten av ytterhörn innebär detta en relativt grov approximation.

Yttertemperaturen på golvet har bestämts intill ytterhörn, vid yttervägg mitt på ena fasaden och mitt inne i huset. Temperaturer på olika nivåer under golvet har bestämts dels i dessa punkter dels omedelbart utanför huset vid hörn och mitt på ena fasaden. Se FIG. 16.

Månadsmedelvärden av värmeflödet genom de olika mätpunkterna har sammanställts i TAB. 4 och FIG. 17 och 18. Av figurerna framgår att värmeflödet är störst vid ytterhörn. Längs ytterfasaden varierar det inte mycket utan i punkterna A-D är flödet av samma storleksordning. Längre in mot husets mitt där emot avtar värmeströmmen avsevärt. I centrum av plattan uppgår det endast till ca halva det värde som erhållits vid ytterhörn. Resultaten visar också att värmeflödet genom plattans inre del är mindre än genom randzonen, trots att tjockleken på isoleringsskiktet är endast hälften så stor. Detta visar bl. a. att marken som väntat har ett betydande "ekvivalent" värmemotstånd.

Med känt värmeflöde och kända lufttemperaturer ute och inne kan ett ekvivalent värmegenomgångstal beräknas. Detta är givetvis endast approximativt eftersom värmeflödet är såväl icke-stationärt som flerdimensionellt. Beräkningen kan ändå vara motiverad för att kunna göra jämförelse med de värmegenomgångstal som kan beräknas enligt Svensk Byggnorm 67. I TAB. 4b redovisas de sålunda beräknade ekvivalenta k-värdena. Resultaten visar att de ekvivalenta k-värdena för randzonen - bestämda 40 cm från yttervägg - varit ca $0,20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ under de fyra mätmånaderna. För inre randzonen - mätpunkterna E, F och G - erhålles ekvivalenta k-värden mellan $0,10$ och $0,13 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$. Beräknade k-värden enligt SBN 67 är $0,33$ för yttre randzonen och $0,41 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ för den inre. Åtminstone för den inre randzonen synes avvikelserna mellan uppmätta och beräknade värden vara alltför stora. För den yttre randzonen är avvikelserna något mindre och viss säkerhetsmarginal kan anses motiverad med hänsyn till att närmast ytterväggen kommer värmeflödet att vara högre än vad som erhållits 40 cm från ytterväggen.

För att få god överensstämmelse mellan energiförbrukningen och beräknade värmeförluster syns det därför vara nödvändigt att lägga uppmätta värmeflöden till grund för beräkningarna.

Yttertemperaturerna på golvet redovisas i FIG. 19 vid ytterhörn, intill ytterväggar, mitt på en fasad och mitt inne i huset. Lufttemperaturen har hållits konstant vid $+22^\circ\text{C}$. I husets mitt har golvtemperaturen under hela försöksperioden varit högre än $+20^\circ\text{C}$, vilket måste anses fullt tillfredsställande från hygienisk synpunkt. Temperaturen i denna punkt har legat påfallande konstant under hela vintersäsongen, vilket visar att den är i det närmaste okänslig för ändringar av utetemperaturer. Vid ytterhörn har golvtemperaturen vid några tillfällen legat lägre än $+17^\circ\text{C}$.

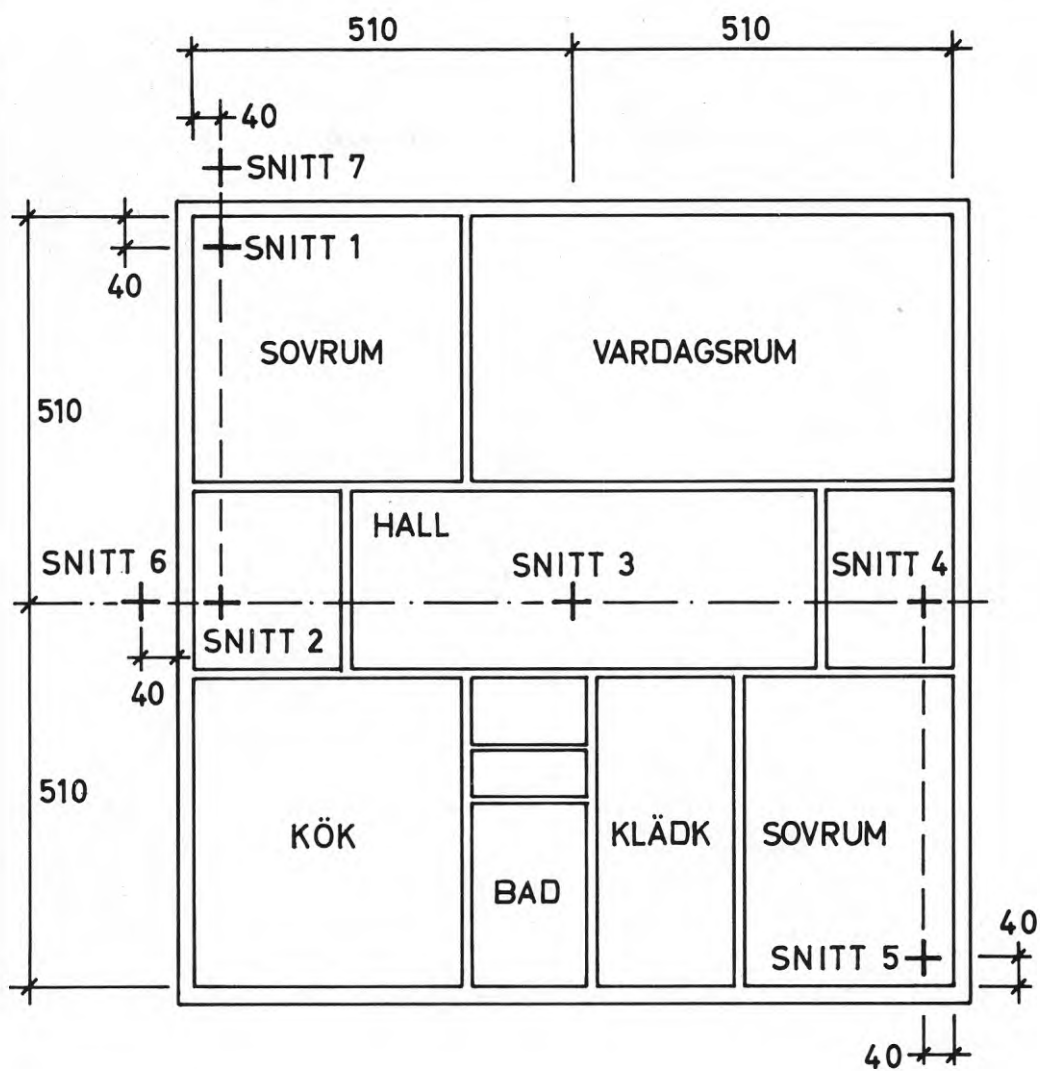


FIG. 16. Lägen av de snitt där temperaturbestämningar på golv och i marken gjorts. Snitten 1 och 5 är symmetriskt belägna liksom snitten 2 och 4.

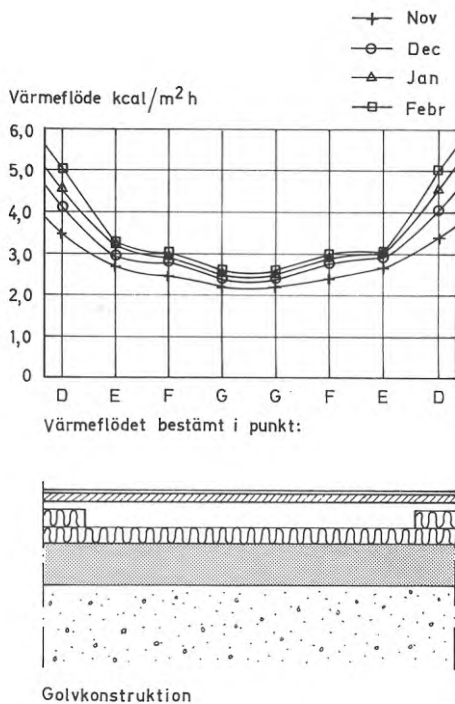


FIG. 17. Värmefflodets (månadsmedelvärden) variation längs snitt a-a enligt FIG. 15. Värmefflodet har bestämts i punkterna D-G. Som väntat har värmefflodet varit lägst i husets mitt under de aktuella månaderna. I närheten av ytterväggen har det varit störst och praktiskt taget dubbelt så stort som i husets mitt. Denna kraftiga variation är anmärkningsvärd mot bakgrunden av att värmeisolerings-skiktet är dubbelt så tjockt intill ytterväggen.

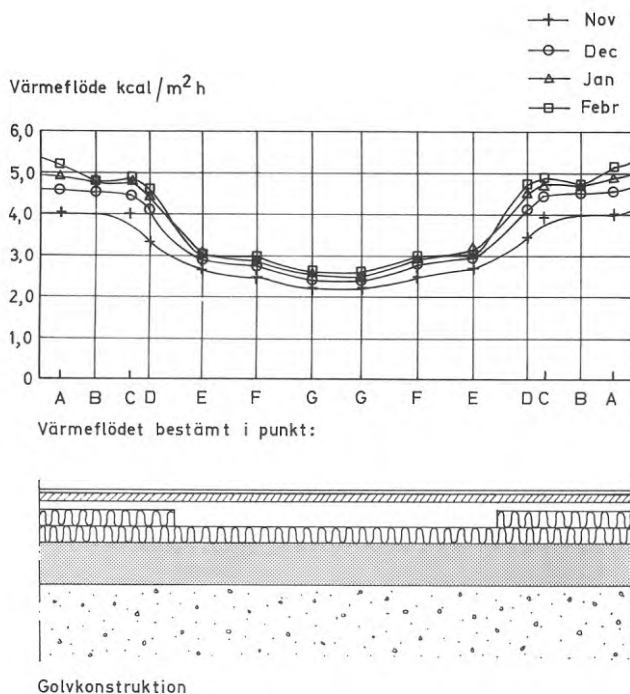


FIG. 18. Värmefflodets (månadsmedelvärden) variation längs snitt b-b enligt FIG. 15. Även i detta fall har antagits att värmefflodet är cirkulärsymmetriskt kring husets mitt. I denna figur ser man förutom att värmefflodet är lägst på golvet mitt inne i huset även hur det varierar intill fasaden (värmefflödesmätarna A-D har varit placerade intill en fasad). Värmefflodet i punkten A som ligger nära ett hörn har varit störst men obetydligt större än i de tre övriga mätpunkterna (B-D) intill fasaden. Det större värmefflodet vid ytterhörnet är relativt lokalt begränsat.

GOLVTEMPERATURER I REGELHUSET UNDER
ELDNINGSSÄSONEN 1964 - 1965

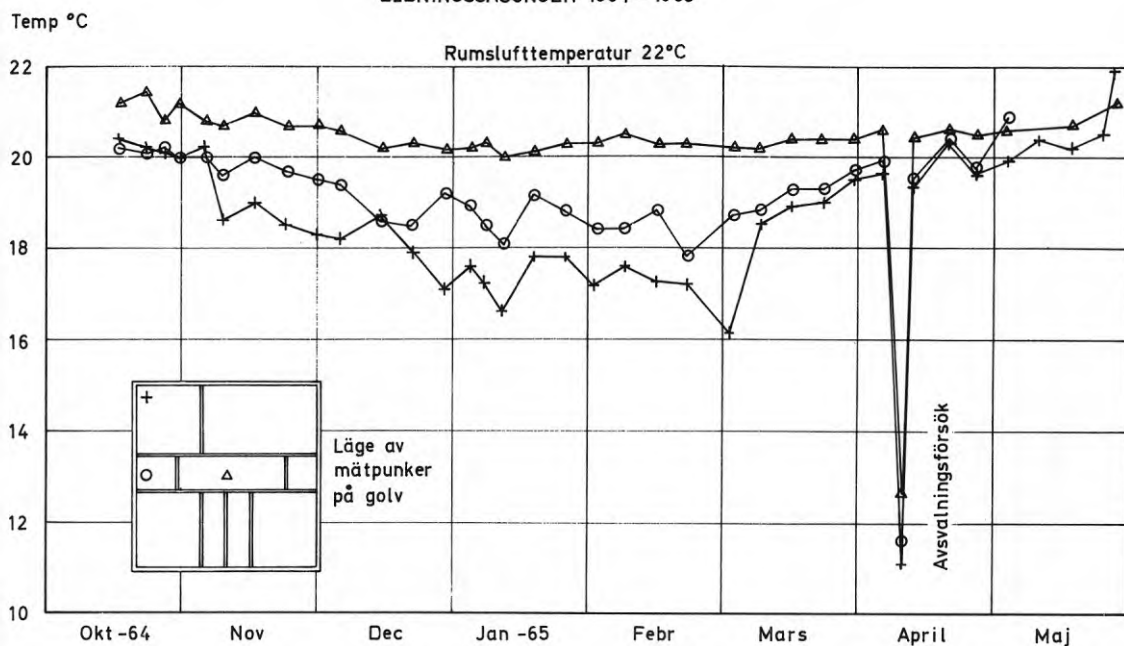


FIG. 19. Golvtemperaturen bestämd på tre olika ställen i huset under månaderna oktober 1964 - maj 1965. I husets centrum har golvtemperaturen under hela försöksperioden varit mycket jämn och inte understigit $+20^{\circ}\text{C}$, vilket är tillfredsställande från hygienisk synpunkt. Vid hörn har självfallet den lägsta temperaturen bestämts. Detta område har också varit känsligast för svängningar i utetemperaturen. Under kortare perioder har ytttemperaturen legat under $+17^{\circ}\text{C}$ trots att lufttemperaturen i rummet hållits konstant vid $+22^{\circ}\text{C}$. Med olämplig golvbeläggning av material med för högt temperaturledningstal kan denna temperatur kännas obehaglig för bar fot.

TAB. 4a. Sammanställning av bestämda månadsmedelvärden på värmeflöden genom platta på mark i regelhuset från november 1964 till februari 1965.

Månad	Antal dygn	Månadsmedelvärde av värmeflödet genom resp. mätpunkt						
		A	B	C	D	E	F	G
Nov. -64	29	4,0	-	4,0 ⁽¹⁾	3,5	2,6	2,5	2,2
Dec. -64	31	4,0	4,5 ⁽²⁾	4,4	4,1	2,9	2,8	2,4
Jan. -65	31	4,9	4,7 ⁽³⁾	4,8	4,6	3,1	2,9	2,5
Febr. -65	28	5,1	4,7	4,8	4,8	3,0 ⁽⁴⁾	3,0 ⁽⁵⁾	2,6

TAB. 4b. Beräknade "ekvivalenta" värmegenomgångstal (k-värden) för golvkonstruktioner på basis av bestämda värmeflöden och lufttemperaturer inne och ute.

Månad	Medeltemp. - skillnad inne-ute ⁽⁶⁾	Ekvivalent värmegenomgångstal för resp. mätpunkt						
		A	B	C	D	E	F	G
Nov. -64	20,0	0,20	-	0,20 ⁽¹⁾	0,18	0,13	0,13	0,11
Dec. -64	22,9	0,17	0,20 ⁽²⁾	0,19	0,18	0,13	0,12	0,10
Jan. -65	24,2	0,20	0,19 ⁽³⁾	0,20	0,19	0,13	0,12	0,10
Febr. -65	26,3	0,19	0,18	0,18	0,18	0,11 ⁽⁴⁾	0,11 ⁽⁵⁾	0,10

1 Avser medelvärdet för 19 dygn

2 " " " 20 "

3 " " " 28 "

4 " " " 26 "

5 " " " 25 "

6 Medeltemperaturskillnaden avser resp. månadsmedelvärde. Detta värde har i samtliga fall lagts till grund för beräkningen av det ekvivalenta värmegenomgångstalet.

Den har således varit ca 5°C lägre än rumstemperaturen. Denna låga yttemperatur kan därför vid olämplig golvbeläggning kännas kall och hygieniskt obehaglig. Som också framgår av figuren varierar temperaturen betydligt mer vid hörn än närmare husets mitt. Utetemperaturen har således större inverkan på golvtemperaturen vid ytterhörn. Detta är ju naturligt, eftersom värmemotståndet och värmekapaciteten i marken är avsevärt mindre vid hörn än mitt inne i huset och eftersom inverkan av flerdimensionell värmeströmning är störst vid ytterhörn.

Dessa resultat visar sålunda att även vid en relativt väl utformad anslutning vad avser värmeisoleringen kan yttemperaturerna på golvet närmast ytterväggarna bli obehagligt låga. Hög värmekomfort torde därför inte kunna erhållas vid golv på mark nära ytterväggar med mindre än att värme tillföres längs ytterväggen. Vid uppvärmning med varmvattenradiatorer är detta mycket enkelt att åstadkomma - ett värmeledningsrör dras lämpligen i golvet längs alla ytterväggar. Vid elvärme kan elradiatorerna behöva kompletteras med en värmekabel vid golv längs ytterväggarna. En effekt av 10-20 W/m torde vara tillräckligt för att öka värmekomforten.

I FIG. 20-26 redovisas bestämda marktemperaturer på olika nivåer i sju olika snitt. Planläge se FIG. 16. Snitt 1 och snitt 5 är symmetriskt belägna i förhållande till konstruktionen. Av figurerna framgår också att de bestämda temperaturerna på jämförbara nivåer har varit praktiskt taget lika stora. Samma är förhållandet mellan temperaturerna i de likaså symmetriska snitten 2 och 4. Denna konstaterade symmetri inte bara vad avser den geometriska utformningen utan även hos de bestämda temperaturerna har motiverat att även värmeströmmen antas symmetrisk kring husets mitt. Jämför FIG. 17 och 18.

Studerar figurerna har som väntat de lägsta temperaturerna uppmätts utanför ytterhörn. Redan utanför ena långsidan har värmeströmmen från huset uppenbarligen påverkat temperaturen så att den är ca 1°C högre än vid själva hörnet på samma nivå under den kallaste delen av mätperioden.

Innanför ytterhörn har utetemperaturen fortfarande haft mycket stor inverkan på de bestämda temperaturerna i marken. Dessa har endast legat ett fåtal grader högre än de som bestämts utanför fasaden.

På relativt stort djup under betongplattan i snitten 2 och 4 har temperaturen som lägst varit $+4^{\circ}\text{C}$ à $+5^{\circ}\text{C}$. Omedelbart under plattan har ca 2°C högre temperatur bestämts än på stort djup. I snitten 1, 2, 4 och 5 har sålunda den största temperatursänkningen skett över mineralullsisoleringen som hos samtliga dessa snitt uppgår till 8 cm. Eftersom yttemperaturen på golvet vid ytterväggarna trots detta är relativt låg synes isolertjockleken inte kunna minskas med mindre än att vissa olägenheter i form av kalla golv skall uppstå. Mitt inne i huset - snitt 3 - däremot har temperaturen under plattan inte varit lägre än $+14^{\circ}\text{C}$ (undantag vid avsvalningsförsök i april). Som tidigare redovisats har golvtemperaturen här inte legat under $+20^{\circ}\text{C}$ under hela vintern, varför ytterligare isolering av detta skäl inte är nödvändig i detta snitt. Med hänsyn till markens beskaffenhet under regelhuset har det heller inte funnits anledning att förstärka isoleringen från fuktsynpunkt.

FIG. 20-26. I dessa sju figurer redovisas temperaturvariationerna på golv och i mark under försöksperioden oktober 1964 - maj 1965 i sju olika snitt. Vid varje figur anges dels på en planskiss, dels i en vertikalsektion var de olika mätpunkterna varit belägna. I de symmetriskt belägna snitten (FIG. 20 och 24 resp FIG. 21 och 23) har praktiskt taget samma värden erhållits på temperaturerna i jämförbara höjdlägen. Temperatursvängningarna utomhus har självfallet haft störst inverkan på temperaturen utanför huset vid ytterhörn och successivt minskat inåt husets centrum.

Av FIG. 20, 21 och 22 kan man tydligt se att temperaturfallet över mineralullsisoleringen är relativt stort. Däremot är som väntat temperaturen hos betongplattans över- och undersida i det närmaste densamma. Även över ett tjockt singellager är temperaturfallet litet.

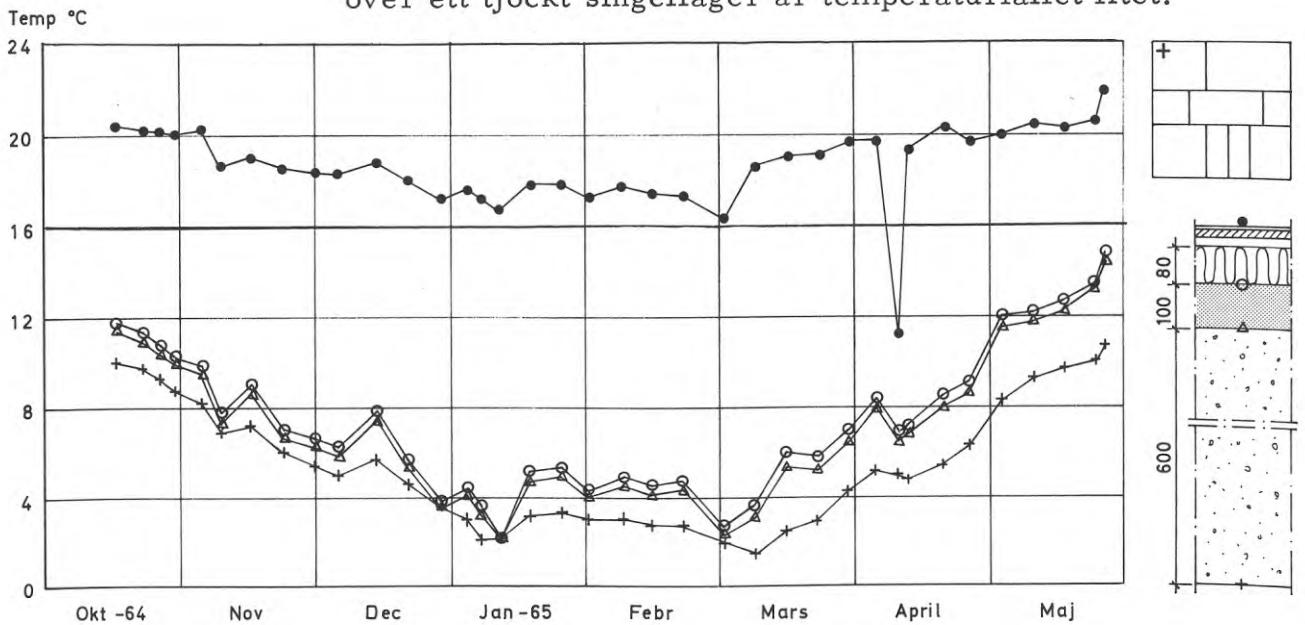


FIG. 20.

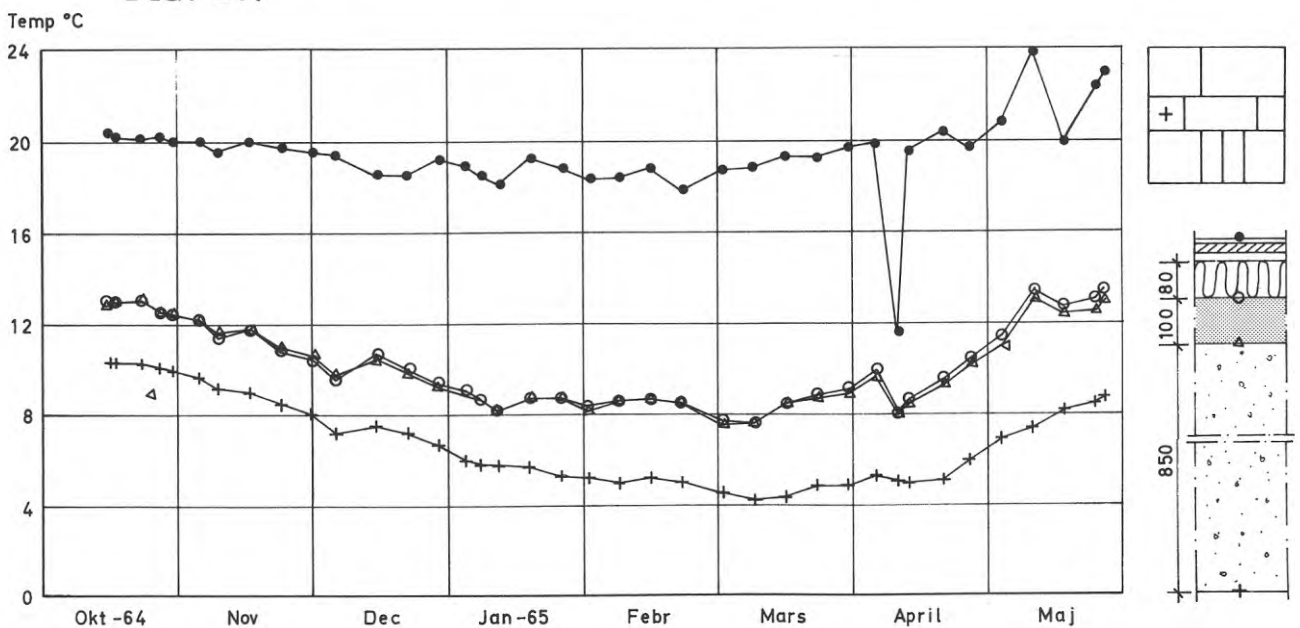


FIG. 21.

Temp °C

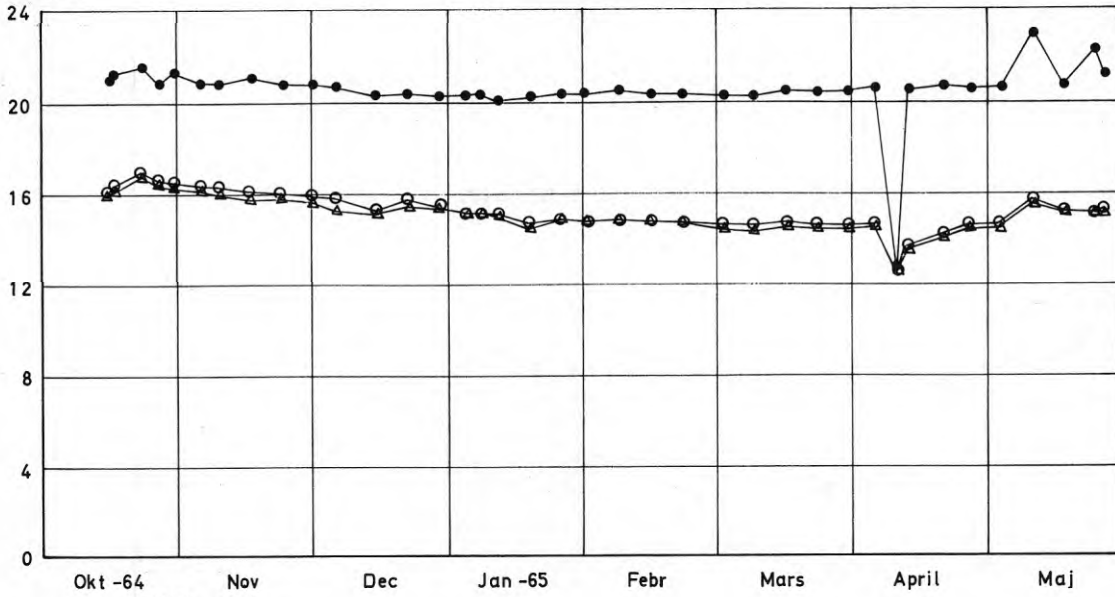


FIG. 22.

Temp °C

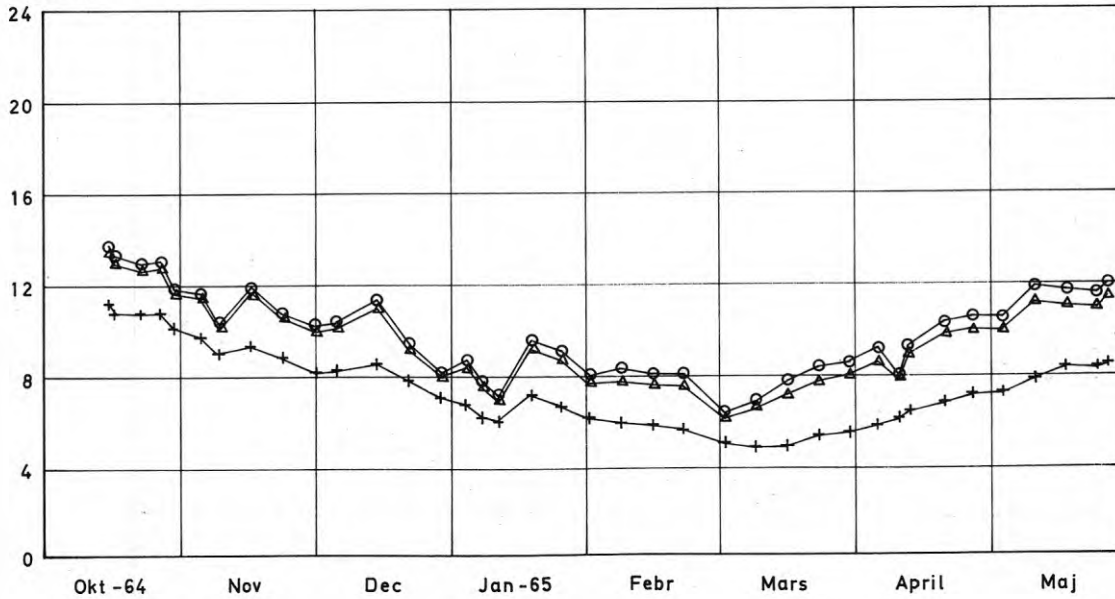


FIG. 23.

Temp °C

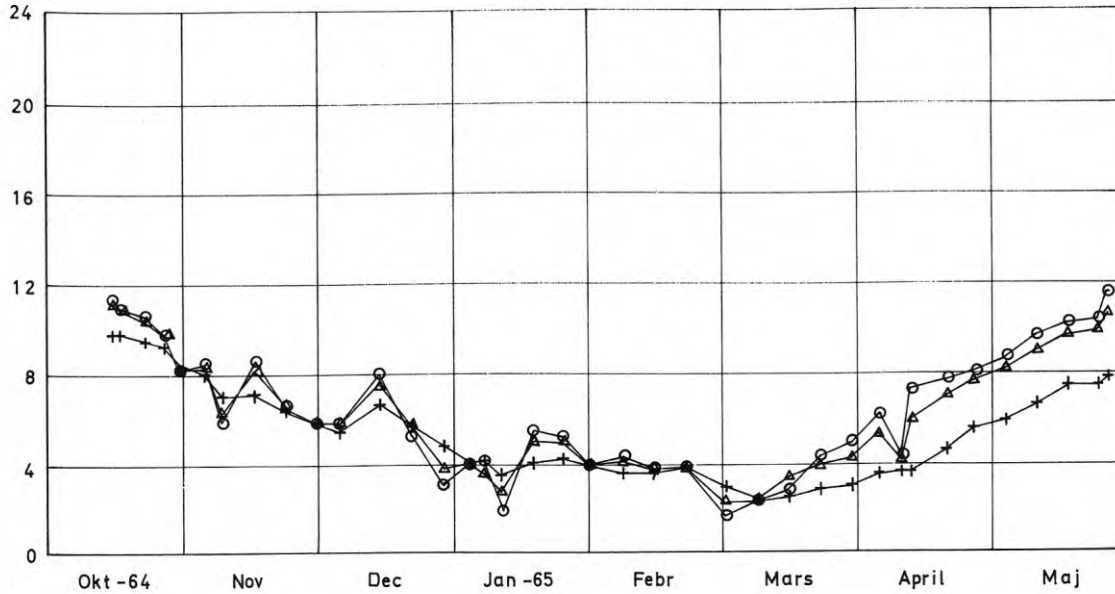


FIG. 24.

Temp °C
+20,0

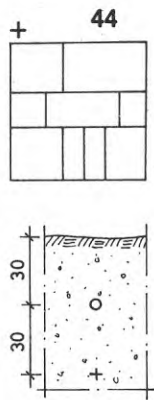
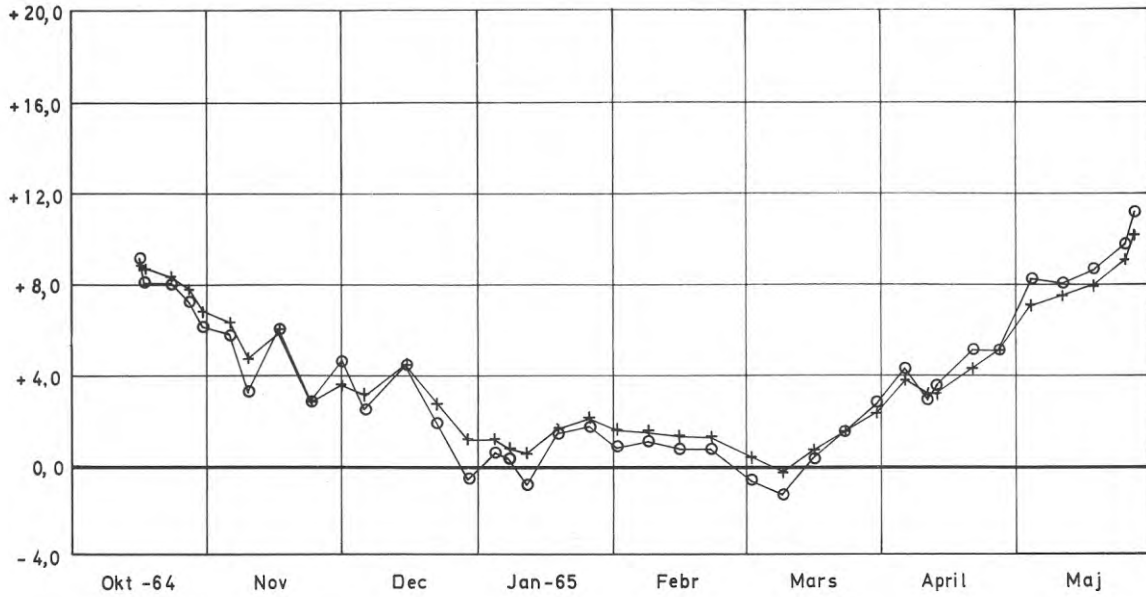


FIG. 25.

Temp °C
+20,0

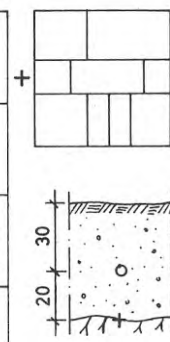
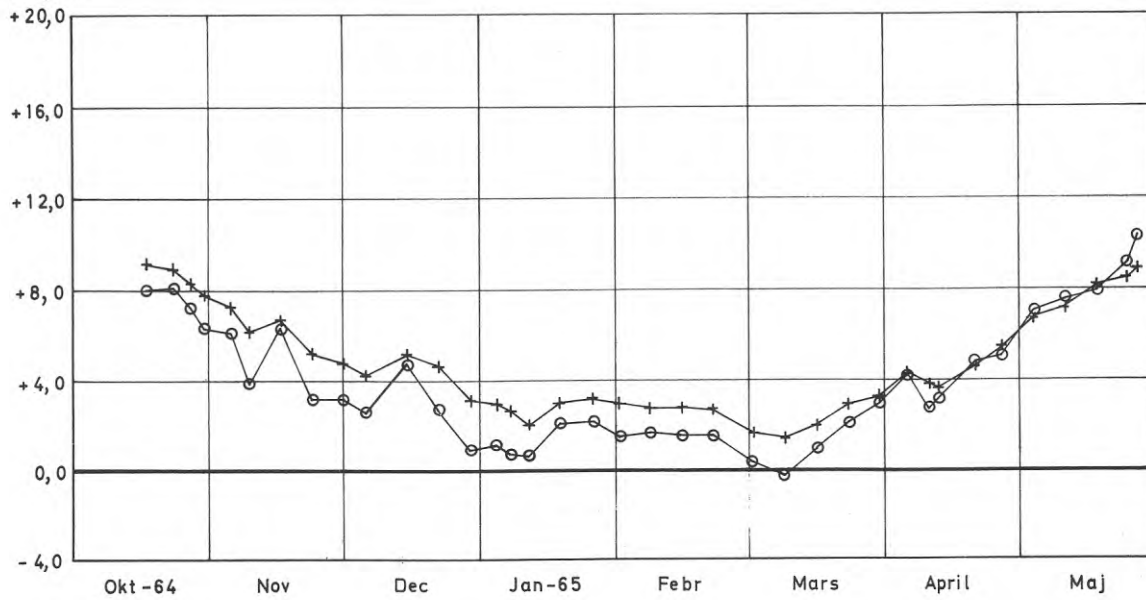


FIG. 26.

4 OFRIVILLIG VENTILATION

4.1 Faktorer som påverkar den ofrivilliga ventilationens storlek

Klimatförhållandena och luftens fysikaliska egenskaper orsakar i allmänhet olika tryck mellan ute- och inneluft i byggnader. Trycken strävar att utjämnas genom luftströmningar i tryckfallens riktning, s. k. ofrivillig ventilation. Luftströmmens styrka bestäms av tryckdifferensen och konstruktionens egen täthet.

Ofrivillig ventilation av ett hus sker genom ventiler, springor och andra otätheter kring t. ex. fönster och dörrar och i viss mån också genom väggar och bjälklag. Storleken av denna ventilation beror främst på konstruktionstyp, utförande och klimatförhållanden. Den ofrivilliga ventilationen kan normalt inte i någon nämnvärd omfattning påverkas av de boende.

Tryckdifferensen mellan ett hus ut- och insida, som utgör drivkraften för den ofrivilliga ventilationen, orsakas av vinden och/eller temperaturskillnaden mellan inne- och uteluften. Vid ventilation på grund av vinden kommer luften in genom ventiler eller otätheter på vindsidan och lämnar huset på läsidan eller genom ventilationsskorstenar på taket. Det senare torde vara det vanligaste vid småhus. Temperaturskillnaden orsakar en differens i densitet mellan inne- och uteluften. På grund härav uppstår luftrörelser vanligen på så sätt att varm luft strävar att stiga uppåt. Denna effekt kallas därför ofta "skorstensverkan". Den kan dominera åtminstone vid högre byggnader. Ventilationsluften kommer in i byggnaden nära marken och lämnar densamma högre upp när drivkraften beror på skillnaden i densitet hos luften.

Vintertid får man på grund av skorstensverkan avsevärda tryckskillnader mellan ute- och inneluft vid högre byggnader. Dessa tryckskillnader har i många fall visat sig uppgå till 5 à 6 mm vp. Även vinden inverkar starkt. Undersökningar i svenska kontorshus (Rydberg, 1968) har t. ex. visat att redan tryckskillnader mellan inne- och uteluft på några tiondels mm vp kan orsaka läckning som uppgår till flera tiotals procent av det totala ventilationsflödet.

4.1.1 Vindens inverkan

Vid fasader orsakar vinden vanligen ett övertryck på vindsidan (lovartsidan) och ett undertryck på läsidan. Flacka tak och tak med liten lutning får normalt ett undertryck, medan det vid större taklutningar blir ett övertryck på vindsidan och ett undertryck på läsidan. Om en vägg eller ett icke flackt tak blir utsatt för över- eller undertryck beror på anblåsningens riktningen. Det lokala vindtrycket, dvs. det lokala lufttryckets avvikelse från atmosfärtrycket, i en viss punkt mot en husyta är proportionellt mot luftens densitet, vindhastighetens kvadrat samt en tryckkoefficient som beror på ytans form.

Det lokala vindtrycket kan sålunda uttryckas med ekvationen

$$P_v = C_p \frac{v^2}{16} \quad (4.1)$$

där P_v = vindtryck, kp/m²
 v = vindhastighet, m/s
 C_p = tryckkoefficient.

Tryckkoefficienten kan vara högst +1,0 och är sällan lägre än -4. Den kan vara mycket svår att bestämma. (Ingelman-Sundberg, 1966.)

I FIG. 27 visas en kurva över vindens tryck mot lovarts fasad vinkelrätt mot vindriktningen som funktion av vindstyrkan.

Luftrycket inomhus beror på vindtryck, vindriktning, luftmotstånd hos springor och öppningar samt hur de senare är belägna i förhållande till vindriktningen. Om öppningarna är någorlunda jämnt fördelade runt huset kan trycket variera mellan ca $\pm 0,2 \cdot P_v$. Om öppningarna på vindsidan dominerar blir inomhustrycket avsevärt större - upp till $0,8 \cdot P_v$. Om öppningarna huvudsakligen är belägna på läsidan kan ett undertryck av $0,2-0,4 \cdot P_v$ eller större uppkomma. (ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967.) Vid bebyggelse med småhus har försök av Andersson (1967), Dick (1949) samt Tamura & Wilson (1966) visat att tryckdifferensen över en fasad mot vinden (lovartsidan) blir ca 1 mm vp vid en medelvindstyrka av 5 m/s.

Vindhastighet och vindriktning kan variera avsevärt dels med tiden dels vid olika platser. Data från meteorologiska stationer kan därför vara vilseledande eftersom dessa ofta är fritt belägna - vid exempelvis flygfält - och dessutom bestäms vinddata på relativt stor höjd över marken. Terrängens och bebyggelsens utformning har stor inverkan. I synnerhet i tätbebyggda områden kan både vindhastighet och vindriktning avsevärt påverkas av bebyggelsen.

4.1.2 Temperaturens inverkan

Om lufttemperaturen i ett hus avviker från utetemperaturen uppstår en tryckskillnad mellan in- och utsidan beroende på skillnad i luftens densitet. Detta brukar benämnas skorstensverkan. När temperaturen inne är högre än ute uppstår det på lägre nivåer ett undertryck och luft pressas in. Högre upp uppstår ett övertryck så att luften läcker ut. Om lufttemperaturen är lägre inne än ute blir förhållandena omvända. På en viss höjdnivå uppkommer en s. k. neutral zon där det inte finns någon tryckdifferens mellan in- och utsidan. På varje annan nivå finns följaktligen en tryckskillnad som beror dels på avståndet till neutrala zonen dels på skillnaden i luftens täthet inne och ute. Denna tryckskillnad kan uttryckas med ekvationen: (Se ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967 och Tamura & Wilson, 1966.)

$$P_{\phi} = C \cdot P \cdot h \left(\frac{1}{\phi_u} - \frac{1}{\phi_i} \right) \quad (4.2)$$

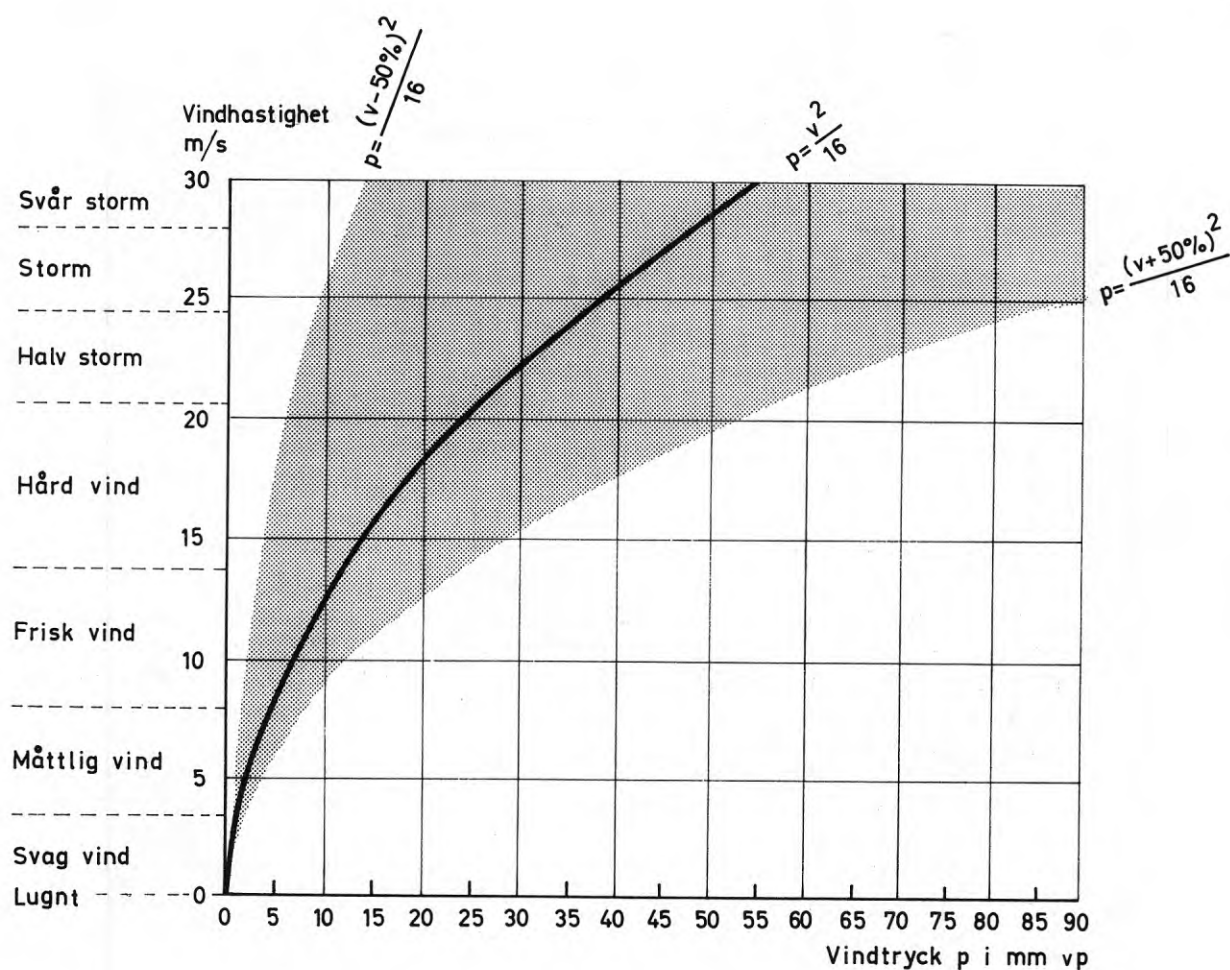


FIG. 27. Samband mellan vindhastighet och vindtryck. De vindhastigheter som uppges av meteorologiska stationer är i regel 10-minuters medeltal. I byig och inte alltför stark vind kan hastigheten variera $\pm 50\%$ från detta medeltal. Vindtrycken kan därför variera inom det streckade området.

där P_{ψ} = lufttrycksskillnad på grund av skorstenseffekt, kp/m^2
 P = luftens absoluta tryck, kp/m^2
 h = avstånd till neutrala zonen eller s.k. effektiv höjd, m
 ψ_u = uteluftens temperatur, $^{\circ}\text{C}$
 ψ_i = inneluftens temperatur, $^{\circ}\text{C}$
 C = konstant.

Läget på neutrala zonen beror på otätheternas eller öppningarnas fördelning i höjdlid och på deras motstånd mot luftläckning. Om det t. ex. endast finns en öppning och om denna är stor i förhållande till övriga kommer den neutrala zonen att ligga nära centrum av denna öppning. Är otätheterna jämnt fördelade i husets höjdlid kommer neutrala zonen att ligga nära husets halva höjd. Om otätheterna inte står i förbindelse med varandra på insidan kommer varje otäthet att få sin egen skorstensverkan och läget på den neutrala zonen är oberoende av huset i övrigt. I allmänhet förekommer vissa förbindelser mellan olika lokaler inne i huset (exv. vid trappor), varför detta vanligen kan studeras som en enhet (Tamura & Wilson, 1966). Vid småhus har skorstenar som mynnar ovan tak stor inverkan på neutrala zonens läge och på ventilationens storlek.

Bestämningar av den neutrala zonens läge i höga hus har utförts i Nordamerika. För konventionella byggnader har man därvid funnit att neutrala zonen är belägen på ungefär 0,7 gånger husets höjd. I ett modernt hus som är förhållandevis tätt och försett med fasta isolerrutor har man dock funnit att neutrala zonen är belägen på nivån 0,3 gånger husets höjd. (Min, 1958.)

4.1.3 Samtidig inverkan av temperatur och vind

Under den kalla årstiden samverkar vanligen vinden och temperaturen till en tryckdifferens mellan in- och utsida.

I FIG. 28 visas schematiskt hur tryckförhållandena påverkas av

- I. enbart skorstensverkan
- II. enbart vindens inverkan
- III. samtidig inverkan av skorstensverkan och vind.

I fallet III är vindens inverkan så stor att den balanserar skorstensverkan vid husets topp, dvs. att tryckskillnaden mellan in- och utsidan på vindsidan är lika med noll. Vid markytan är tryckskillnaden däremot noll på läsidan. Detta är i det närmaste ett teoretiskt fall eftersom förhållandena ständigt växlar.

Vid småhus har terrängen kring husen ofta en avgörande betydelse för vindhastigheten och sålunda också för relativa inverkan av temperatur och vind på luftomsättningen.

4.2 Bestämningar av ofrivillig ventilation

Den totala ofrivilliga ventilationen har bestämts i samtliga fem

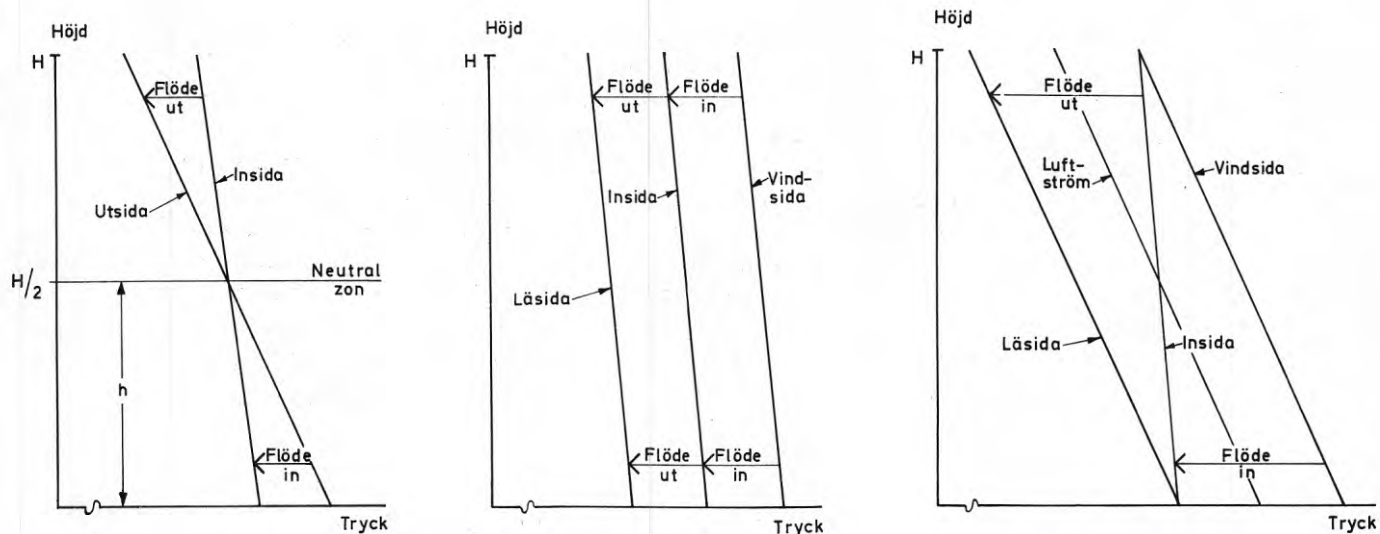


FIG. 28. Fördelning i höjdlid av lufttrycket på in- och utsidan av ett hus. Figuren t.v. visar enbart skorstensverkan, varvid neutrala zonen antas ligga på halva hushöjden. I mitten visas inverkan av enbart vinden som ger i princip samma tryck på alla nivåer. Till höger slutligen visas trycken vid samtidig skorstensverkan och vindpåkänning. I detta fall är vindens inverkan så stor att den balanserar skorstensverkan vid husets topp, dvs. att tryckskillnaden mellan in- och utsidan är på vindsidan lika med noll. Detta senare är i det närmaste ett teoretiskt fall enär förhållandena ständigt växlar.

provhus. De fem husen har som inledningsvis framhållits haft väsentligt olika ytterväggskonstruktioner - två hus med skalmurar av tegel, ett med ytterväggselement av gasbetong (Siporex-gasbetonghus S), ett med låsfogad gasbetongstav (Ytong-gasbetonghus Y) och det aktuella regelhuset. Se Elmroth & Höglund (1970). Luftomsättningarna per timme bestämdes dels när fönster- och dörrspringor var tätade med lufttät tape och alla ventiler stängda och övertjejade dels vid normala förhållanden utan dylika extra tätningar. Bestämningarna utfördes enligt den s. k. spårgasmetoden, se Höglund (1963). Själva mätningarna har utförts i samråd med civilingenjör Stig Lublin och ingenjör Bengt Eriksson. Lufttemperaturer och vindhastighet har registrerats i omedelbar närhet av provhusen.

Tidigare undersökningar av antalet luftomsättningar i småhus har utförts främst i USA och Canada. Spårgasmetoden har använts i ett flertal fall. Systematiska undersökningar av antalet luftomsättningar har utförts av Bahnfleth, Moseley & Harris (1957). Genom att utföra ett stort antal försök under olika årstider har de kunnat separera vindhastighetens och temperaturens inverkan på ventilationen. Resultaten visar bl. a. att dessa två faktorer överlagrar varandra. Bahnfleth's m. fl. undersökningsresultat har bearbetats av Coblenz & Achenbach (1963), varvid antagits att följande samband gäller

$$n = a + b\Delta\vartheta + cv \quad (4.3)$$

där n = antal luftomsättningar per timme
 $\Delta\vartheta$ = lufttemperaturskillnaden inne-ute $^{\circ}\text{C}$
 v = vindhastigheten m/s
 a , b och c är konstruktionsberoende konstanter.

Samma ansats för analys av mätresultatet har också använts av Laschober & Healy (1964). De har dessutom diskuterat betydelsen av att ha med termer av högre dignitet i denna analys. Dessa termer visar sig dock ha en försumbar inverkan på slutresultatet.

En analys av mätdata enligt denna metod har åtminstone två stora fördelar

- a) mätvärden från enskilda observationer kan omräknas till andra klimatbetingelser så att värden från olika hus kan jämföras på ett någorlunda adekvat sätt
- b) vid beräkning av ett hus årliga värmebehov kan värmeförluster på grund av ofrivillig ventilation teoretiskt bestämmas med hänsyn tagen till inverkan av både lufttemperatur och vindhastighet.

Mätresultaten har i några fall analyserats enligt angiven metod men anpassning har också gjorts till det enklare sambandet

$$n = a + cv \quad (4.4)$$

4.3 Resultat och analys av bestämningarna

4.3.1 Ventilation av bostadsdelen

Resultaten av ventilationsbestämningarna i regelhuset redovisas i TAB. 5, liksom klimatförhållandena vid varje bestämning. Totalt har sju bestämningar gjorts i bostadsdelen. Antalet luftomsättningar har varierat mellan 0,40 och 0,93 ggr/h.

Vid stängda ventiler och tätade fönster- och dörrspringor har antalet luftomsättningar i regelhuset bestämts till 0,18 ggr/h. Detta synes vara ett lågt värde för ett trähus.

Samvariationen mellan vindhastighet och luftomsättning har i en första ansats antagits vara linjär och har beräknats till

$$n = 0,39 + 0,073 v \quad (4.5)$$

$$(r_{nv} = 0,90)$$

där n = antal luftomsättningar per timme
 v = vindhastighet m/s
 r_{nv} = korrelationskoefficient.

Sambandet mellan luftomsättningarna och vindhastigheten är starkt att döma av korrelationskoefficienten. Det höga värdet på denna torde till stor del bero på att vindriktningen varit nästan densamma vid alla försöken, varför läckningsvägarna för luften också kan antas ha varit desamma. Ekvationen visar att även i detta fall är ventilationen betydande när vindhastigheten är nära noll. Detta synes visa att enbart vindhastigheten inte är en tillräckligt god parameter för att bestämma ventilationsgraden. Därför har sambandet mellan ventilationsgraden å ena sidan och temperaturskillnaden inne-ute samt vindhastigheten å andra sidan bestämts.

För regelhuset har därvid med beteckningar enligt föregående följande samband erhållits

$$n = 0,15 + 0,012 \Delta t + 0,077 v \quad (4.6)$$

$$(r_{nv, \Delta t} = 0,93)(r_{n\Delta t, v} = 0,54)$$

Koefficienterna i denna ekvation antyder att vintertid har temperaturskillnaden inne-ute en inverkan på ventilationsgraden som är av samma storleksordning som vindhastighetens inverkan. Detta skulle betyda att även vid låga vindhastigheter förekommer en betydande ventilation vid låga utetemperaturer.

4.3.2 Ventilation av vindsutrymmet

Fyra bestämningar av ventilationens storlek har också gjorts i vindsutrymmet till regelhuset (ventilationsarea 7-8 cm²/m² bjälklagsyta). Luftomsättningen har varierat mellan 0,45 och 2,9 ggr/h. För vindsutrymmets ventilation har temperaturförhållandena liten inverkan av två skäl; dels finns det relativt

TAB. 5. Den ofrivilliga ventilationens storlek i regelhuset.

Datum	Uteluft- temp. °C	Vind- hastighet m/s	Vind- rikt- ning	Luft- omsättn. ggr/h	Mätplats och förutsätt- ningar
23. 10. 64	+7,6	3,5	SO	0,55	Bostadsdelen ⁽¹⁾
28. 10. 64	+5,0	0,8	SV	0,40	"
23. 11. 64	+1,2	1,3	SV	0,55	"
16. 12. 64	+0,1	1,5	SV	0,63	"
17. 12. 64	+0,2	0,2	SV	0,40	"
7. 1. 65	-0,3	2,5	SV	0,55	"
14. 1. 65	+2,1	6,7	S	0,93	"
17. 12. 64	+0,1	1,5	S	0,90	Vindsutrymme
17. 12. 64	+0,1	0,9	S	0,45	"
14. 1. 65	+2,8	7,2	S	2,85	"
23. 1. 65	+1,5	1,1	S	0,70	"
20. 1. 65	+1,0	2,1 ⁽³⁾	NO	0,175	Bostadsdelen.
21. 1. 65 ⁽²⁾					Ventiler stäng- da. Fönster och dörrspring- or tätade.

¹ Lufttemperaturen i bostadsdelen har varit konstant +22°C.

² Detta försök har tagit drygt 17 timmar.

³ Högsta timmedelvärdet 3,5 m/s. Lägsta timmedelvärde 1,0 m/s.

stora ventilöppningar endast vid takfoten, varför neutrala zonen sannolikt ligger nära dessa öppningar, dels har temperaturen i vindsutrymmet under vintern endast obetydligt överstigit utetemperaturen. Vindhastigheten har däremot haft en påtagligt stor inverkan på luftomsättningen.

4.4 Jämförelse mellan ventilationsgraden i regelhuset och i andra småhus

I FIG. 29 har de beräknade sambanden mellan antalet luftomsättningar och vindhastigheten redovisats för gasbetonghusen och regelhuset. För gasbetonghus S har två beräknade samband redovisats. Det ena avser mätvärden då ett av rummen saknade lufttät golvbeläggning varvid luft läckt mellan bostadsdel och kryprum - kurva S I. Det andra - kurva S II - avser värden med golvbeläggning i rummet. Som jämförelse har också bestämmningarna i tegelhusen inritats. Av figuren framgår att för uppmätta vindhastigheter vid provhusen lägre än 5 m/s (lufttemperaturskillnad inne-ute = 15-20°C) varierar den ofrivilliga luftomsättningen i de fem provhusen under eldningssäsongen mellan 0,4 och 0,8 ggr/h (om man undantar gasbetonghus S I, vars utförande enligt tidigare avvikit från normalfallet). För de fem provhusen har under eldningssäsongerna medelvindhastigheten uppgått till 2-3 m/s. Motsvarande luftomsättning är ca 0,6 ggr/h. Differensen mellan de olika husen har varit mycket liten för de aktuella vindhastigheterna trots att konstruktionerna varit helt olika.

Coblentz & Achenbach (1963) har bearbetat resultat från luftomsättningsmätningar i två amerikanska hus gjorda av Bahnfleth et al (1957). Därvid har följande samband erhållits

$$n = 0,15 + 0,009\Delta\vartheta + 0,029v \quad (4.7)$$

Den genomsnittliga luftomsättningen har vintertid absolut sett varit relativt låg i dessa båda amerikanska hus. Stor omsorg har nedlagts för att göra lufttäta konstruktioner, vilket också har lyckats.

Laschober & Healy (1964) har för ett hus, som har en något ovanlig utformning och en konstruktion som visat sig vara relativt känslig för luftläckage, erhållit sambandet

$$n = 0,11 + 0,029\Delta\vartheta + 0,188v \quad (4.8)$$

Vinden har som synes stor inverkan på luftomsättningen i detta fall.

Resultatet från regelhuset (ekv. 4.6) synes i princip överensstämma väl med dessa ekvationer.

I TAB. 6 redovisas som jämförelse några bestämda luftomsättningar i tio amerikanska småhus (Coblentz & Achenbach, 1963). Alla husen har regelväggar, Fasadbeklädnaden är av trä, tegel eller sten. De bestämda luftomsättningarna i husen med sten- eller tegelbeklädnad har genomgående varit lägre än i de renodlade trähusen. Ventilationens storlek i de olika husen har varie-

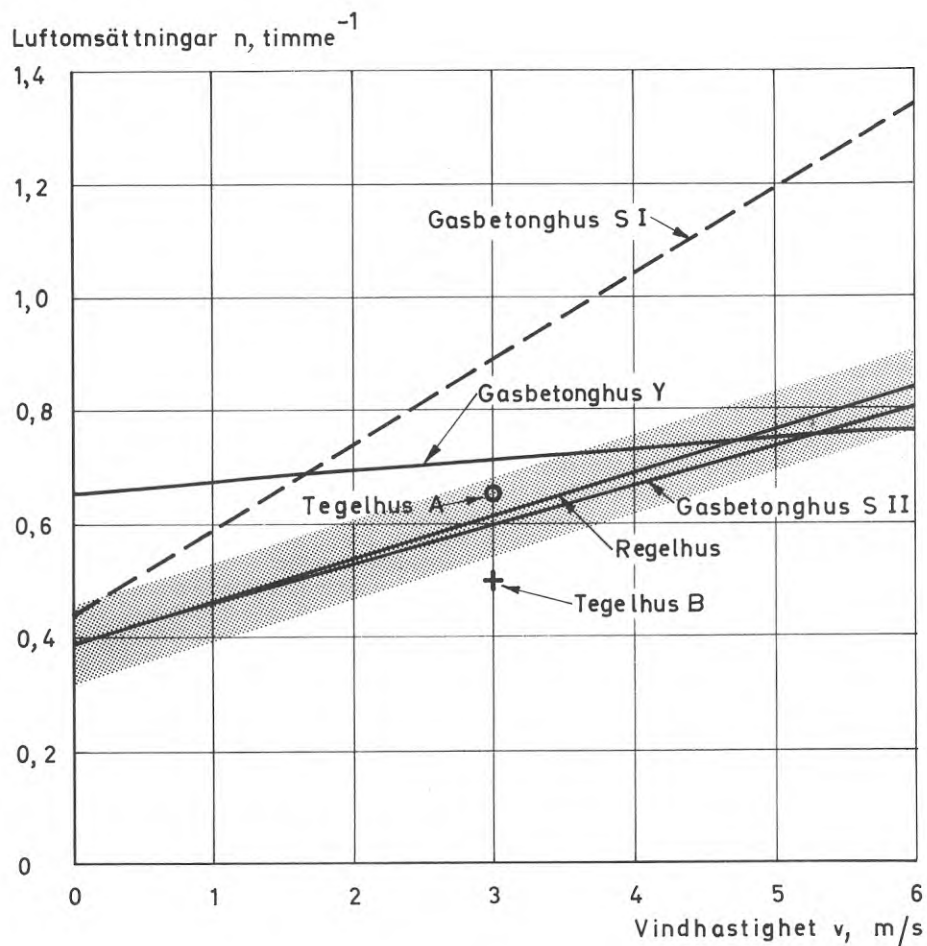


FIG. 29. Samband mellan antalet luftomsättningar och vindhastighet i de fem provhusen. Den streckade linjen som är markerad med "Gasbetonghus S I" visar sambandet mellan luftomsättning och vindhastighet då ett av rummen saknat golvbeläggning, varvid luft läckt mellan bostadsdel och kryprum. Bortsett från dessa resultat har luftomsättningarna i de olika husen varit av samma storleksordning. För normala vindhastigheter har antalet luftomsättningar under vintern varierat mellan ca 0,5 och ca 0,7 ggr/h.

TAB. 6. Sammanställning av resultat från ventilationsomsättningar i tio elektriskt uppvärmda hus enligt Coblentz & Achenbach (1963).

Objekt	Antal vån.	Ytterväggs-konstruktion	Typ av grund-läggning	Husens ålder år	Vind		Temperatur-skillnad inne-ute °C	Antal luftomsättningar per timme	
					medel-hastighet m/s	riktning		uppmätta 4,5 m/s och 22°C temp. skilln.	korrigerade mätvärden till medelvärde
A	1	Fasadtegel utan-på träregel-stomme	Kryprum	20	6,7	SV	25	0,84	0,71
					6,7	V	25	0,77	0,65
					6,7	VNV	27	0,77	0,63
					6,7	V	26	0,58	0,48
B	1	Träregelstomme	Källare	30	2,7	N	23	0,71	0,78
					2,7	N	24	0,56	0,61
					4,9	S	24	0,91	0,86
C	1	Fasadtegel utan-på träregel-stomme	Kryprum och källare	Nytt	4,9	SV	15	0,51	0,57
					6,7	SV	13	0,42	0,44
					4,5	SSV	13	0,35	0,43
D	2	Träregelstomme	Källare	20	5,8	SSV	14	1,14	1,24
					5,4	SSV	11	0,84	0,99
					4,5	SV	16	0,67	0,76
E	2	Träregelstomme	Källare	40	4,9	V	23	0,99	0,95
					4,5	V	23	0,81	0,80
					2,7	NV	24	0,76	0,81
					4,9	N	25	0,94	0,87
F	1	Stenbeklädnad på träregel-stomme	Källare	Nytt	2,7	VSV	30	0,55	0,53
					5,4	VSV	28	0,39	0,34
					3,6	VSV	26	0,23	0,23
G	1	Träregelstomme	Kryprum	Nytt	2,7	NV	27	0,57	0,58
					2,7	SV	28	0,42	0,42
H	2	Träregelstomme	Kryprum	46	2,7	NO-SV	21	0,74	0,85
					2,7	SV	24	0,60	0,65
					3,6	NV	29	0,69	0,64
I	2	Fasadtegel utan-på träregelstomme	Källare	Nytt	4,9	V	26	0,52	0,48
J	1	Fasadtegel utan-på träregelstomme	Platta på mark	Nytt	2,7	NO	24	0,58	0,63
					3,6	V	35	0,81	0,68

rat relativt mycket, men vid huvuddelen av bestämningarna har antalet luftomsättningar varierat mellan ca 0,4 och 0,9 ggr/h. Detta är således samma storleksordning på luftomsättningarna som erhållits i våra fem svenska provhus. De uppmätta värdena i TAB. 6 har också omräknats till att gälla för en viss vindhastighet, 4,5 m/s, och en viss temperaturskillnad inne-ute, 22°C, enligt ekv. (4.7). De korrigerade medelvärdena för de tio amerikanska småhusen ligger mellan ca 0,5 och 1,0 ggr/h. Med samma randvillkor erhålls exempelvis för vårt svenska regelhus enl. ekv. (4.6) en luftomsättning av ca 0,8 ggr/h.

Avsikten med omräkningen har varit att kunna göra jämförelser mellan de olika husens luftomsättningstal. En sådan omräkning är dock diskutabel eftersom koefficienterna i formeln strängt gäller för endast ett enda hus. Dessa koefficienter beror nämligen på konstruktion, material, hustyp (exempelvis antal våningar), antal fönster och dörrar, sättet för bestämning av vindhastigheten, terrängens utseende samt flera andra faktorer. Arbetsutförandet är också en okänd men betydelsefull faktor i de refererade amerikanska försöken. De fem svenska provhusen har byggts med noggrant arbetsutförande. I synnerhet beträffande regelhuset har stor omsorg lagts ned för att få ett tätt hus.

När fönster- och dörrspringor tätats och ventiler stängts har låga värden på luftomsättningarna erhållits i alla fem husen. I FIG. 30 jämförs luftomsättningarna pr timme när husen varit "tätade". Man finner att de lägsta värdena, ca 0,1, har erhållits i tegelhus B och gasbetonghus Y. I regelhuset har så låg luftomsättning som 0,18 ggr/h erhållits. Detta visar att man kan nå god lufttäthet också hos ett trähus med differentierade funktioner hos de olika ingående materialskikten.

4.5 Riktlinjer för beräkning av värmebehov för ofrivillig ventilation

Den ofrivilliga ventilationens storlek, uttryckt som luftomsättningar per timme, har under eldningssäsongen varierat mellan 0,4 och 0,8 vid vindhastigheter upp till 5 m/s och en lufttemperaturskillnad ute-inne mellan 15-25°C. Som riktvärde bör 0,5-0,7 ggr/h kunna tillämpas för flertalet småhus eftersom i försökshusserien ingår de vanligaste typerna av material och konstruktioner. Dessutom har olika byggmetoder tillämpats. Resultaten överensstämmer också väl med amerikanska värden från olika typer av småhus.

Undersökningarna i samtliga provhus visar att huvuddelen av luftläckningen i ett småhus sker genom skorsten, ventiler, springor vid fönster och dörrar. Resultaten visar sammanfattningsvis att genom golv-, vägg- och takkonstruktionerna är luftläckningen relativt liten - luftomsättning ca 0,1-0,2 ggr/h.

Analys av försöksresultaten visar att både vindhastigheten och temperaturskillnaden inne-ute påverkar antalet luftomsättningar. Luftomsättningen per timme, n , kan uttryckas som funktion av temperaturskillnaden ute-inne, Δt , och vindhastigheten, v , på följande sätt

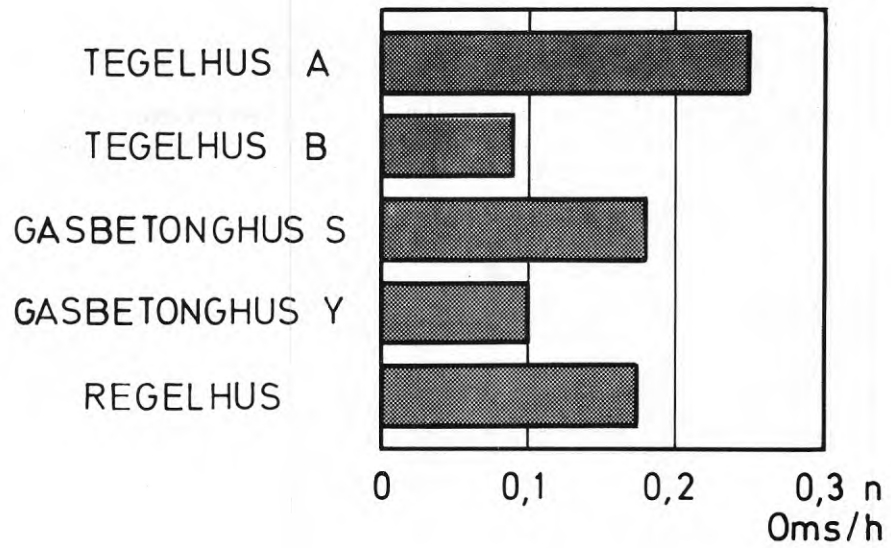


FIG. 30. Den bestämda luftomsättningen i de fem provhusen när alla fönster- och dörrspringor varit särskilt tätade med lufttät tape och när alla ventiler varit stängda. (I tegelhus A har dock en uteluftsventil varit öppen vid försöket, vilket förklarar den höga luftomsättningen i detta hus.) Resultaten visar att luftläckningen genom golv-, vägg- och takkonstruktionerna vintertid bidrar med 0,1 à 0,2 luftomsättningar per timme. Den dominerande läckningen syns sålunda vara koncentrerad till ventiler och fönster- och dörrspringor etc.

$$n = a + b \Delta \vartheta + cv$$

där a , b och c är konstanter som beror på bl. a. konstruktion och utförande. Vintertid har temperaturskillnaden och vindhastigheten en inverkan som är av samma storleksordning på den ofrivilliga ventilationen.

För beräkning av värmeförlusterna p. g. a ofrivillig ventilation i regelhuset har ekv

$$n = 0,15 + 0,012 \Delta \vartheta + 0,077 v$$

tillämpats för bestämning av luftomsättningarna.

5 SOLINLÄCKNING GENOM FÖNSTER

5.1 Beräkningsmetodik

Kortvågig solinstrålning inom våglängdsområdet ca $0,3 - 2 \mu\text{m}$ består av direkt strålning och diffus strålning och förekommer endast under den ljusa delen av dygnet. Se t. ex. Brown (1966) och Höglund & Stephenson (1968).

Den diffusa strålningen består huvudsakligen av dels strålning från solens omedelbara närhet och från himlavalvet i övrigt, dels reflekterad strålning från marken och omgivningen. Den direkta strålningen och den diffusa himmelsstrålningen brukar sammanslagna kallas globalstrålning. I begreppet total solinstrålning innefattas även reflekterad strålning.

Intensiteten av den direkta strålningen, som träffar en yta på jorden, varierar med solens höjd över horisonten (solhöjd h) och med atmosfärens klarhet. Den förra, solhöjdsbetingade variationen beror på att en del av strålningen absorberas vid solstrålarnas väg genom atmosfären. Denna väg blir olika lång vid olika solhöjd. Vidare reflekteras olika mycket av strålningen när den passerar atmosfären allt efter infallsvinkeln. Intensiteten av den direkta strålningen blir störst när solen står i zenit (solhöjden $h = 90^\circ$) och minst när den just når horisonten ($h = 0$). Detta framgår av FIG. 31, som visar medelvärden på solinstrålningens intensitet, empiriskt funna genom ett antal mätningar i Finland, Lunelund (1936). Figuren visar intensiteten av såväl direkt strålning, mätt vinkelrätt mot strålningsriktningen, som diffus strålning mot horisontalplanet. Den diffusa strålningen redovisas dels för helt klar himmel, dels för mulen himmel. Som framgår av kurvorna är den diffusa strålningen större vid mulen än vid klar himmel. Detta beror bl. a. på att solljuset reflekteras mot molnen och därvid ger upphov till diffus strålning. Genom upprepad reflektion mellan snötäckt mark och molnundersida kan den diffusa strålningen ökas utöver vad kurvan för mulen himmel visar.

När ett fönster träffas av solstrålning reflekteras en del av denna. En mindre del absorberas av fönsterglasen, medan resten passerar - transmitteras - genom fönstret till rummet. Även en del av den strålning som det inre glaset absorberar transmitteras sekundärt (genom strålning och konvektion) till rummet. FIG. 32.

Transmissionsfaktorn anger förhållandet mellan den genom fönstret transmitterade strålningen, "solvärmeinläckningen", och den mot fönstret inkommande totala strålningen. Reflektionen blir större och följaktligen transmissionen och transmissionsfaktorn mindre när strålningens infallsvinkel (mätt mot normalen) ökar. Transmissionsfaktorn varierar också med glastyp och antalet glas i ett fönster; den minskar med ökat antal glas och är exempelvis mindre för treglasfönster än för tvåglasfönster.

I FIG. 33 visas hur transmissionen för direkt strålning varierar

med infallsvinkeln, i , vid en-, två- och treglasfönster. Av figuren framgår att transmissionsfaktorn är tämligen konstant, ca 0,7 för treglasfönster upp till en infallsvinkel av ca 45° . Därefter faller den tämligen raskt mot 0 när infallsvinkeln går mot 90° .

Vid beräkning av ytan för den direkt transmitterade strålningsenergin medräknas endast den oskuggade delen av glasytan.

Vid diffus strålning förekommer inte någon exakt infallsvinkel. Detta är såtillvida en approximation som en av de större komponenterna utgörs av strålning från himlen i omedelbar närhet av solen och alltså har en relativt bestämd riktning. Den diffusa strålningen kommer bl. a. därför att avta ju längre från solen en yta vänder sig. Transmissionsfaktorn vid diffus strålning upp- går i genomsnitt till ca 0,64 för treglasfönster. Den diffusa strålningen antas träffa hela glasytan.

Av detta torde framgå att man teoretiskt kan beräkna den transmitterade strålningsenergin storlek genom ett fönster.

I FIG. 34 definieras de för beräkningarna nödvändiga vinklarna - nämligen solhöjd h , infallsvinkel i , asimut a och väggens "asimut" v .

För att underlätta beräkningen av den transmitterade strålningsenergin storlek genom fönster under soliga dagar finns bl. a. tabeller, Höglund & Stephenson (1968), och s.k. solvärmediagram, Brown & Isfält (1969). Dessa tabeller och diagram är utmärkta vid kalkylering av största möjliga solvärmeinläckning genom fönster vid klart väder för bl. a. dimensionering av erforderligt kylbehov. Värdena gäller för bestämda väggorienteringar, vilket kan medföra att vissa timvärden kan avvika betydligt från det rätta värdet om väggorienteringen inte överensstämmer med den i tabellen angivna. Dagnssumman skiljer däremot oftast mycket litet för närbelägna väggorienteringar varför interpolation oftast inte är nödvändig.

Vid undersökningarna i regelhuset i Nälsta har som tidigare redovisats solinstrålningen registrerats mot varje fönsterförsedd fasad. För att med god noggrannhet kunna beräkna solinläckningen för varje timme har särskilda diagram konstruerats som har beräknats direkt ur grundvärden på solinstrålningen och solens läge i förhållande till varje fasad. Därvid har följande tillvägagångssätt tillämpats:

Den direkta strålningen I_D mot en yta beror på intensiteten av den direkta strålningen I_{DN} och infallsvinkeln, i . För en vertikal yta gäller att

$$I_{DV} = I_{DN} \cos i_V = I_{DN} \cos h \cdot \cos (a-v)$$

Den direkta strålningen mot en vertikal yta $I_{DV} = 0$ när $|a-v| \geq 90^\circ$ vilket betyder att ytan då är helt skuggad.

Ur tabeller (Brown & Tuominen, 1962) över solens läge på himlen har solhöjden h och solasimuten a , bestämts. Väggasimuten v , har bestämts med kompass. Ur FIG. 31, som anger solstrål-

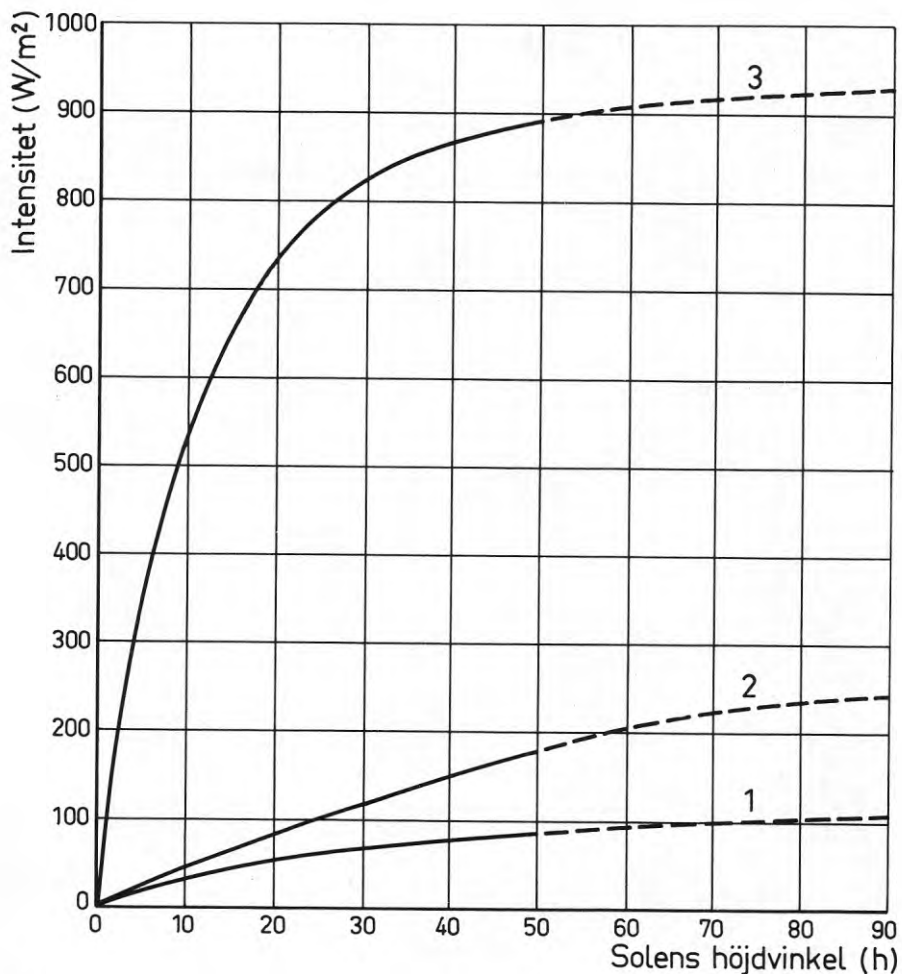


FIG. 31. Exempel på solstrålningens intensitet mot en yta på jorden som funktion av solhöjden. Den direkta strålningen vinkelrätt mot strålningsriktningen representeras av kurva 3. Den diffusa strålningen mot en horisontell yta är visad dels för klar himmel (1) dels för molnen (2).

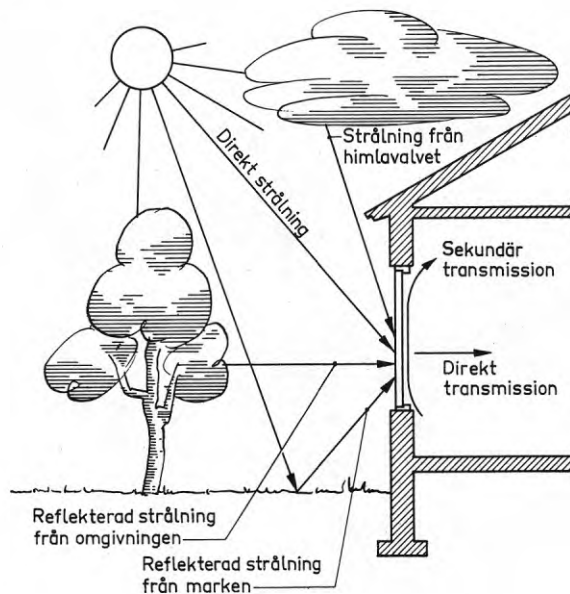


FIG. 32. Schematisk framställning av solinstrålningen genom ett fönster.

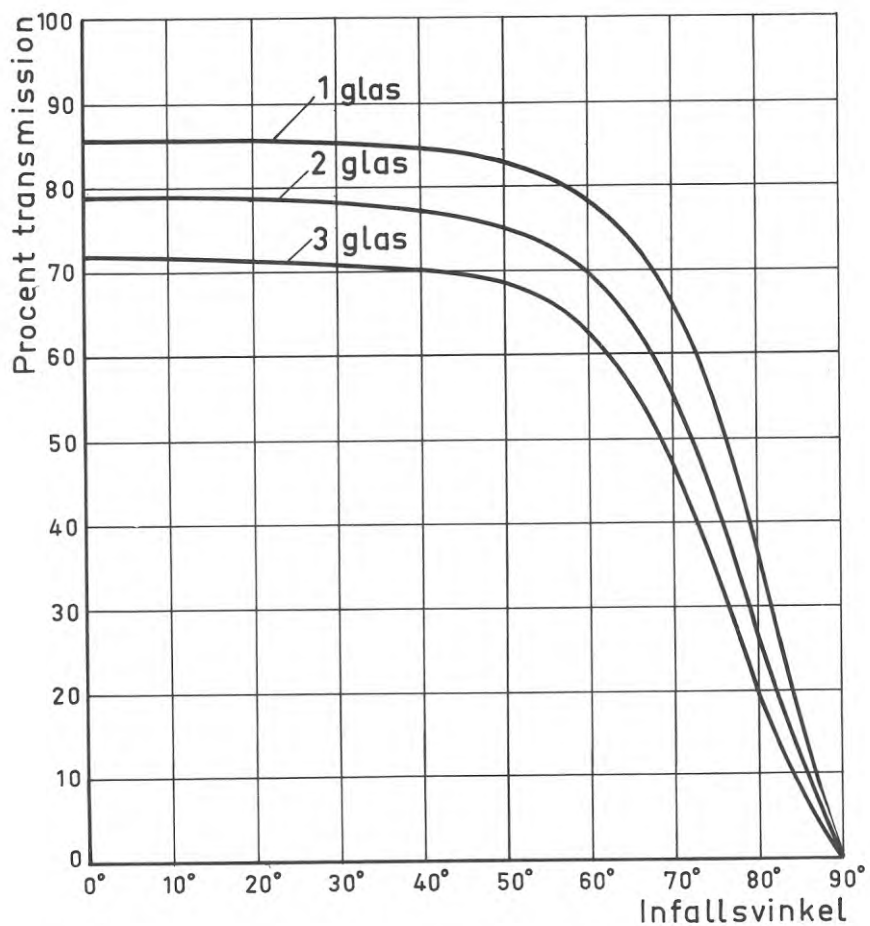


FIG. 33. Transmission av solstrålning genom fönster vid olika infallsvinklar och antal glas.

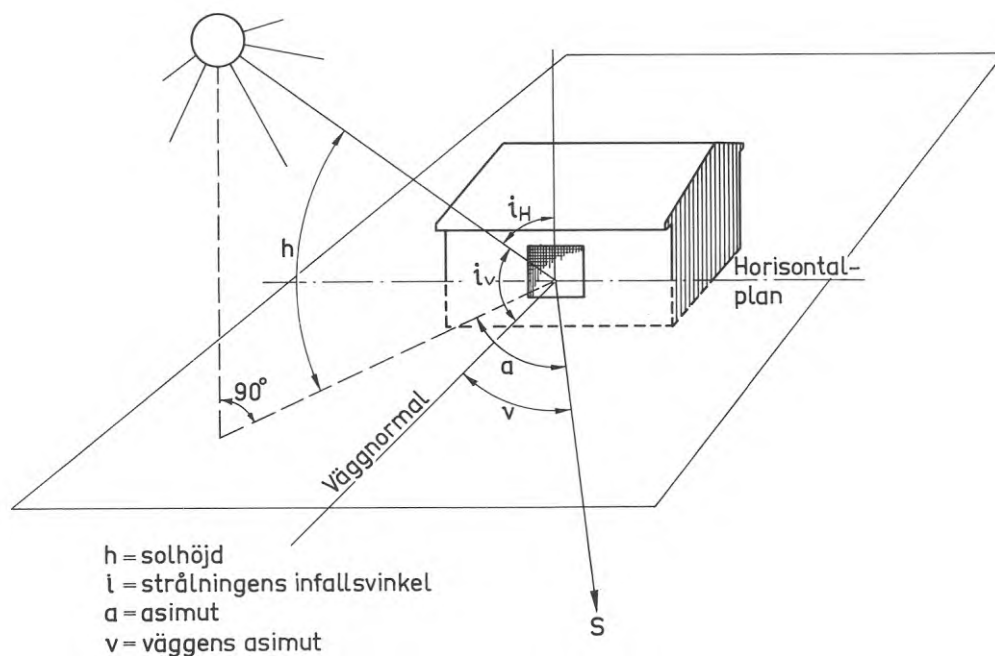


FIG. 34. Vinkelbegrepp vid solinstrålningsberäkningar,

ningsintensiteten som funktion av solhöjden, erhålls den direkta strålningen.

Den på så sätt beräknade direkta strålningen vid klart väder mot de olika fasaderna - utom västerfasad som saknar fönster - vid olika klockslag under året redovisas i FIG. 35-37. Dessa diagram har legat till grund för bestämning av den direkta strålningens andel av den registrerade totala strålningen. Skillnaden mellan den totala strålningen och den på detta sätt bestämda direkta strålningen har antagits utgöra den diffusa strålningen. Detta innebär en approximation eftersom bl. a. den direkta strålningens värde kan variera med t. ex. luftens innehåll av vattenånga m. m. men för bestämning av solvärmeinläckningen kan förfaringssättet accepteras.

Den transmitterade solstrålningsenergin bestäms av transmissionsfaktorn som i sin tur bestäms av infallsvinkeln, se FIG. 33 och 34. Värmeinläckningen Q genom fönstren på grund av direkt solstrålning kan då beräknas enligt

$$Q = I_{DN} \cos i_V \cdot T_i$$

där I_{DN} = intensiteten av den direkta strålningen mot en yta vinkelrätt strålningsriktningen
 i_V = infallsvinkeln (räknas från normalen)
 T_i = transmissionsfaktorn vid infallsvinkeln "i".

I FIG. 38-40 redovisas den vid klart väder transmitterade direkta strålningsenergin genom ett treglasfönster. För beräkning av den totala solvärmeinläckningen multipliceras värdena med den belysta glasytan och soltiden.

5.2 Bestämning av belysta fönsterytor

En beräkning av hur stor del av ett fönster som är skuggat resp. belyst är nödvändigt. Endast den oskuggade delen av glasytan kan, som framhållits tidigare, medräknas i den yta genom vilken direkt solstrålning transmitteras.

Vanliga orsaker till att en fönsteryta skuggas är att fönstret är indraget i en nisch i ytterväggen eller att det skuggas av ett taksprång, en vinkelbyggnad eller dylikt. I dessa fall kan skuggans dimensioner vid olika tidpunkter på dagen matematiskt beräknas relativt enkelt om man förutom nischdjup m. m. känner fönstrets väderstrecksorientering och solens läge. Skuggning av mera oregelbunden karaktär, av träd, angränsande byggnader eller dylikt kan bestämmas med hjälp av t. ex. fotografering i s. k. globoskåp, Pleijel (1954), eller genom bestämning av horisontalavskärmningen med ett vinkelmätningssinstrument.

I FIG. 41 visas ett i en nisch indraget fönster i vertikalsektion och i FIG. 42 samma fönster i horisontalsektion. I figurerna visas skuggans utseende när solstrålning infaller snett uppfifrån resp. från höger. För beräkning av den belysta ytan erfordras beräkning av bredderna på "skuggremorna" l_v och l_h orsakade av väggutsprånget med måttet δ .

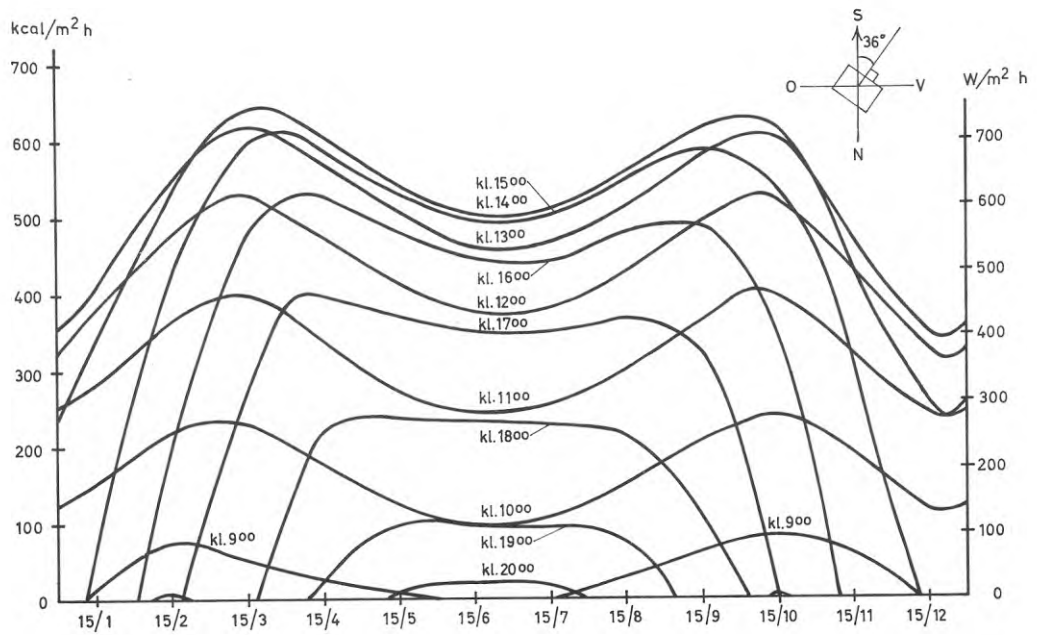


FIG. 35. Den beräknade direkta solstrålningsintensiteten vid klart väder mot söderfasaden vid olika klockslag under året. Ur detta diagram kan man för varje dag och varje timme direkt avläsa den direkta strålningens intensitet vid klart väder. Värdena är approximativa så tillvida att de anger medelvärden utan hänsyn till lokala variationer i luftens klarhet eller till årsvariationen av atmosfärens extinktion (det vill säga strålningens försvagning vid passagen genom atmosfären).

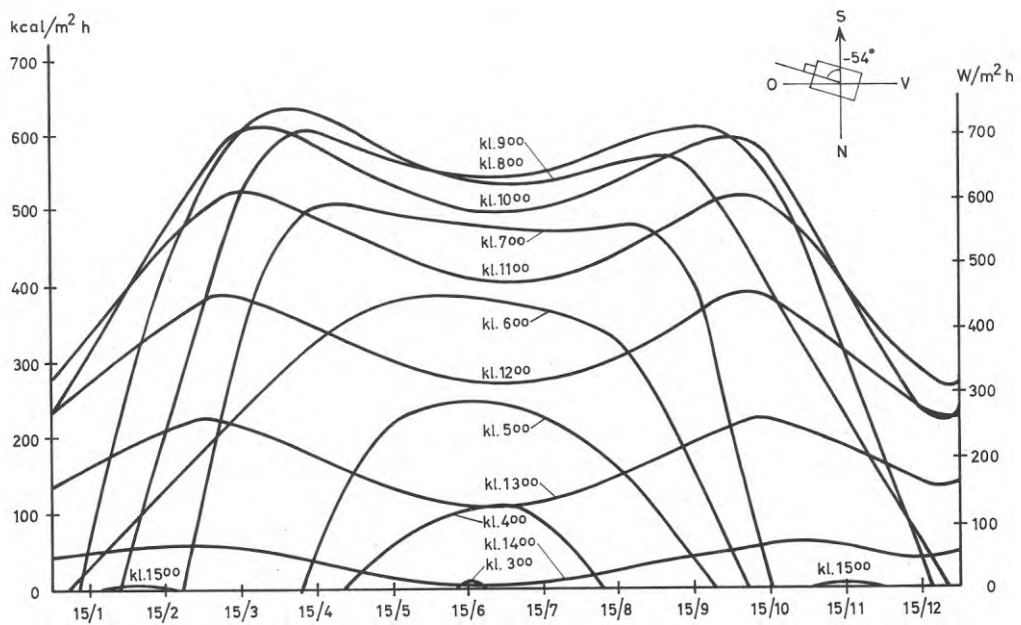


FIG. 36. Den beräknade direkta solstrålningsintensiteten vid klart väder mot österfasaden vid olika klockslag under året. Ur detta diagram kan man för varje dag och varje timme direkt avläsa den direkta strålningens intensitet vid klart väder. Värdena är approximativa så tillvida att de anger medelvärden utan hänsyn till lokala variationer i luftens klarhet eller till årsvariationen av atmosfärens extinktion (det vill säga strålningens försvagning vid passagen genom atmosfären).

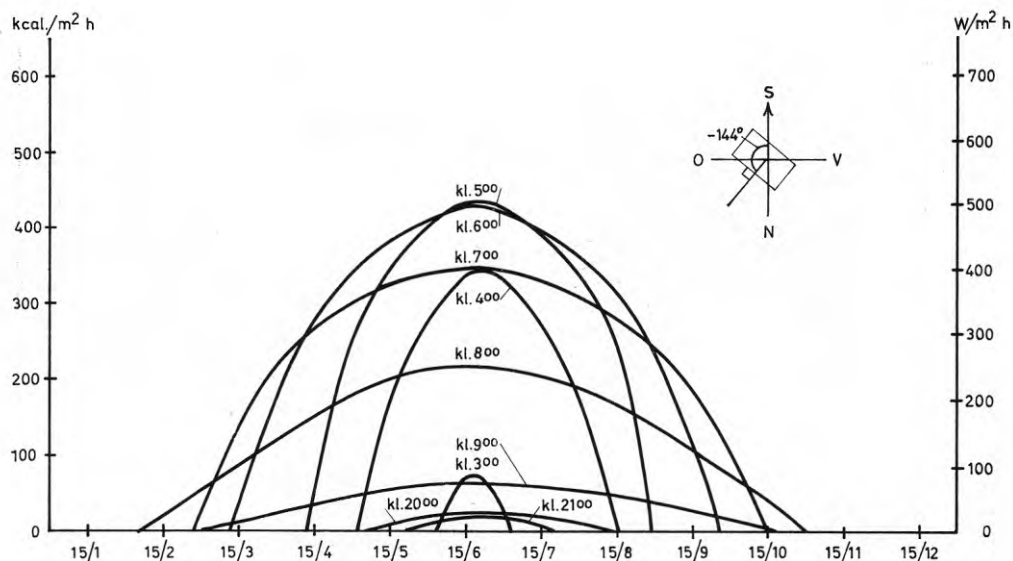


FIG. 37. Den beräknade direkta solstrålningsintensiteten vid klart väder mot norrfasaden vid olika klockslag under året. Ur detta diagram kan man för varje dag och varje timme direkt avläsa den direkta strålningens intensitet vid klart väder. Värdena är approximativa så tillvida att de anger medelvärden utan hänsyn till lokala variationer i luftens klarhet eller till årsvariationen av atmosfärens extinktion (det vill säga strålningens försvagning vid passagen genom atmosfären).

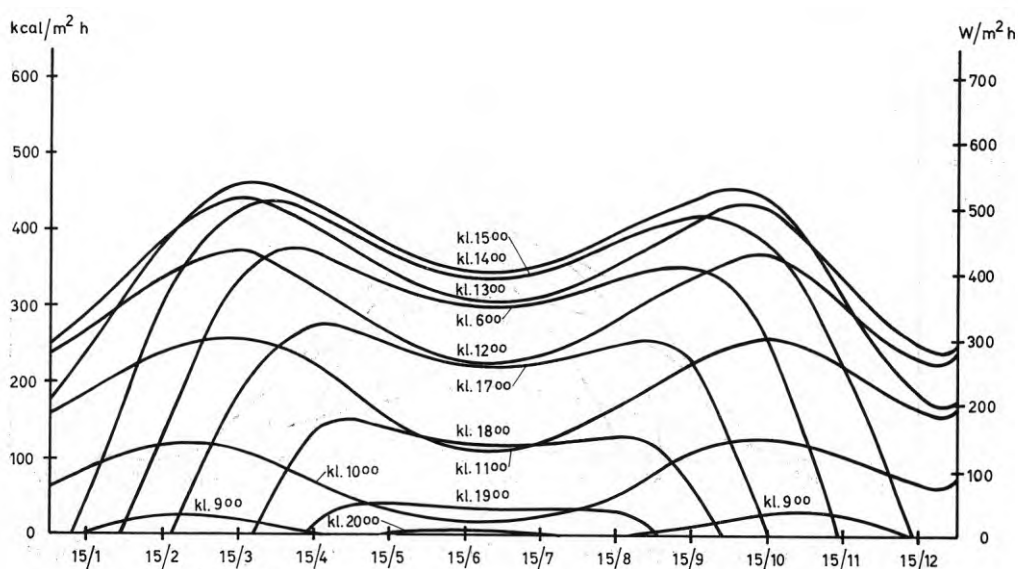


FIG. 38. Beräknad transmitterad direkt solstrålning genom 3-glasfönster i fasad mot söder. För dagar med klart väder erhålls direkt ur diagrammen värmetillskottet p. g. a. direkt solstrålning genom den belysta glasytan för varje timme under året.

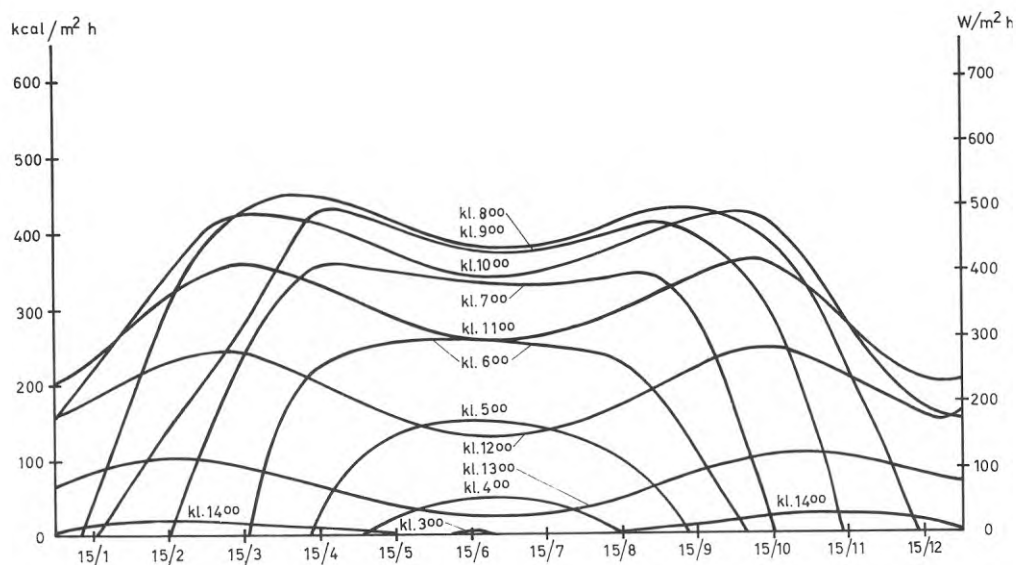


FIG. 39. Beräknad transmitterad direkt solstrålning genom 3-glasfönster i fasad mot öster. För dagar med klart väder erhålls direkt ur diagrammen värmetillskottet p. g. a. direkt solstrålning genom den belysta glasytan för varje timme under året.

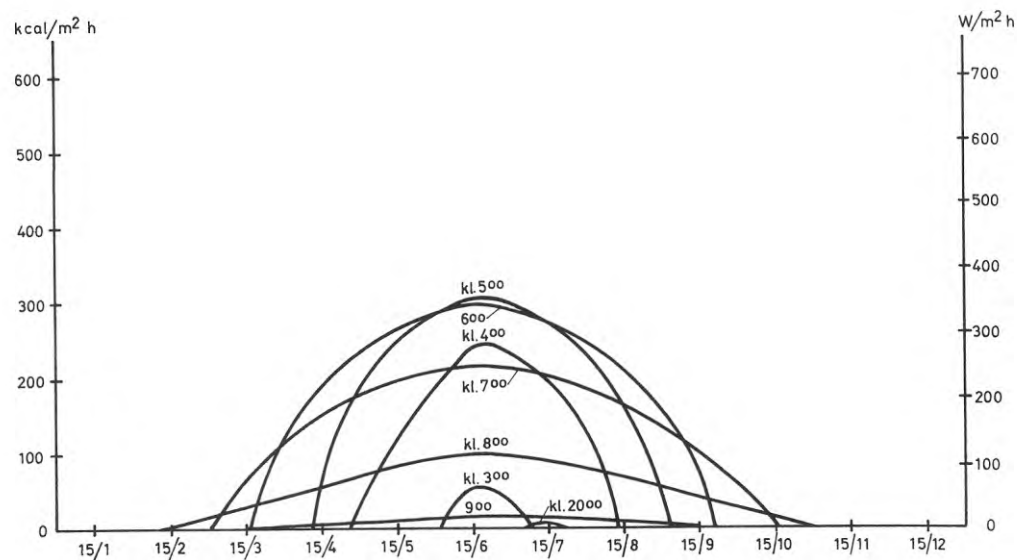


FIG. 40. Beräknad transmitterad direkt solstrålning genom 3-glasfönster i fasad mot norr. För dagar med klart väder erhålls direkt ur diagrammen värmetillskottet p. g. a. direkt solstrålning genom den belysta glasytan för varje timme under året.

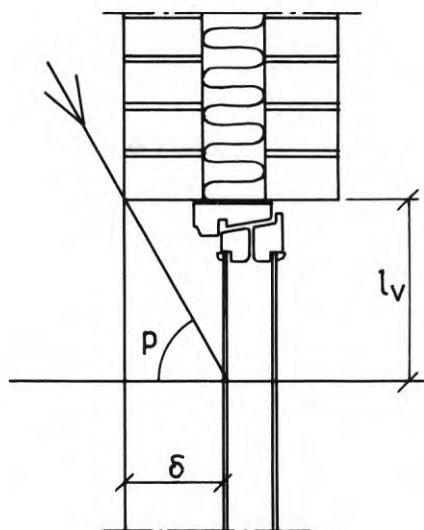


FIG. 41. Nischskuggat fönster, vertikalsektion.

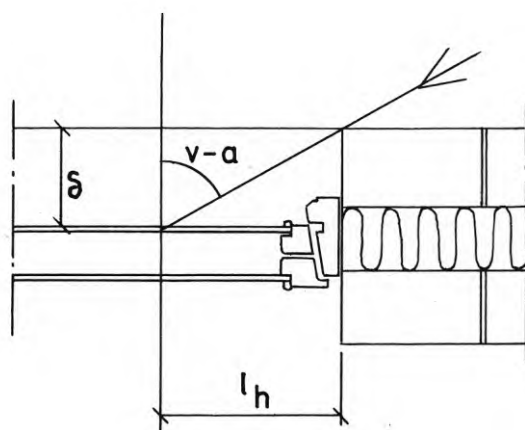


FIG. 42. Nischskuggat fönster, horisontalsektion.

I vertikalled

Skuggans mått l_v blir enligt FIG. 41

$$l_v = \delta \cdot \operatorname{tg} p$$

där p = vinkeln mellan väggens (fönstrets normal) och infallande stråle projicerad i normalplanet

$$\operatorname{tg} p = \frac{\operatorname{tg} h}{\cos (v-a)}$$

där h = solhöjd (erhålls ur tabeller)

v = väggnormalens "asimut" (bestäms t. ex. med ledning av situationsplan eller kompass)

a = solens asimut (erhålls ur tabeller).

Således blir

$$l_v = \delta \cdot \frac{\operatorname{tg} h}{\cos (v-a)}$$

I horisontalled

På motsvarande sätt som i vertikalled erhålls enligt FIG. 42

$$l_h = \delta \cdot \operatorname{tg} (v-a)$$

Beräkningen av "skuggremorna" liksom de belysta glasytorna har utförts för varje hel timme den 15:e i varje månad.

I FIG. 43 - 45 visas de beräknade, vid klart väder, belysta glasytorna i de olika fasaderna för olika klockslag under försöksperioden. Vid dessa beräkningar har förutsatts att horisonten är fri. Vid provhuset har så inte varit fallet utan solen har varit något avskärmd av främst vegetation såväl när den går upp som ned. Som ett exempel visas i FIG. 46 när solen är avskärmd av horisonten vid söderväggen. Avskärmningen har bestämts med vinkelmätningssinstrument. Vid beräkning av värmestillskottet genom solinstrålning har man utgått från solstrålningssintensiteten bestämd med solarimetrar. När dessa har varit skuggade registrerar de endast diffus strålning varför det har varit ointressant att beräkna den belysta glasytan med hänsyn till horisontavskärmningen. Solarimetrarna har varit placerade så att den genomsnittliga skuggningen av dessa har blivit i stort sett densamma som för hela fasaden. Detta har kontrollerats genom systematiska observationer på platsen över skuggutbredningen under dagen. Det har därför inte bedömts erforderligt eller ens möjligt att korrigera den bestämda strålningssintensiteten med hänsyn till de smärre variationerna av skuggutbredningen.

5.3 Solinläckning genom fönster

I TAB. 7 och 8 ges ett exempel på beräknad solinläckning genom fönstren gällande för den 26 mars 1965. Denna dag har himlen varit i det närmaste helt klar varför värmestillskottet p. g. a.

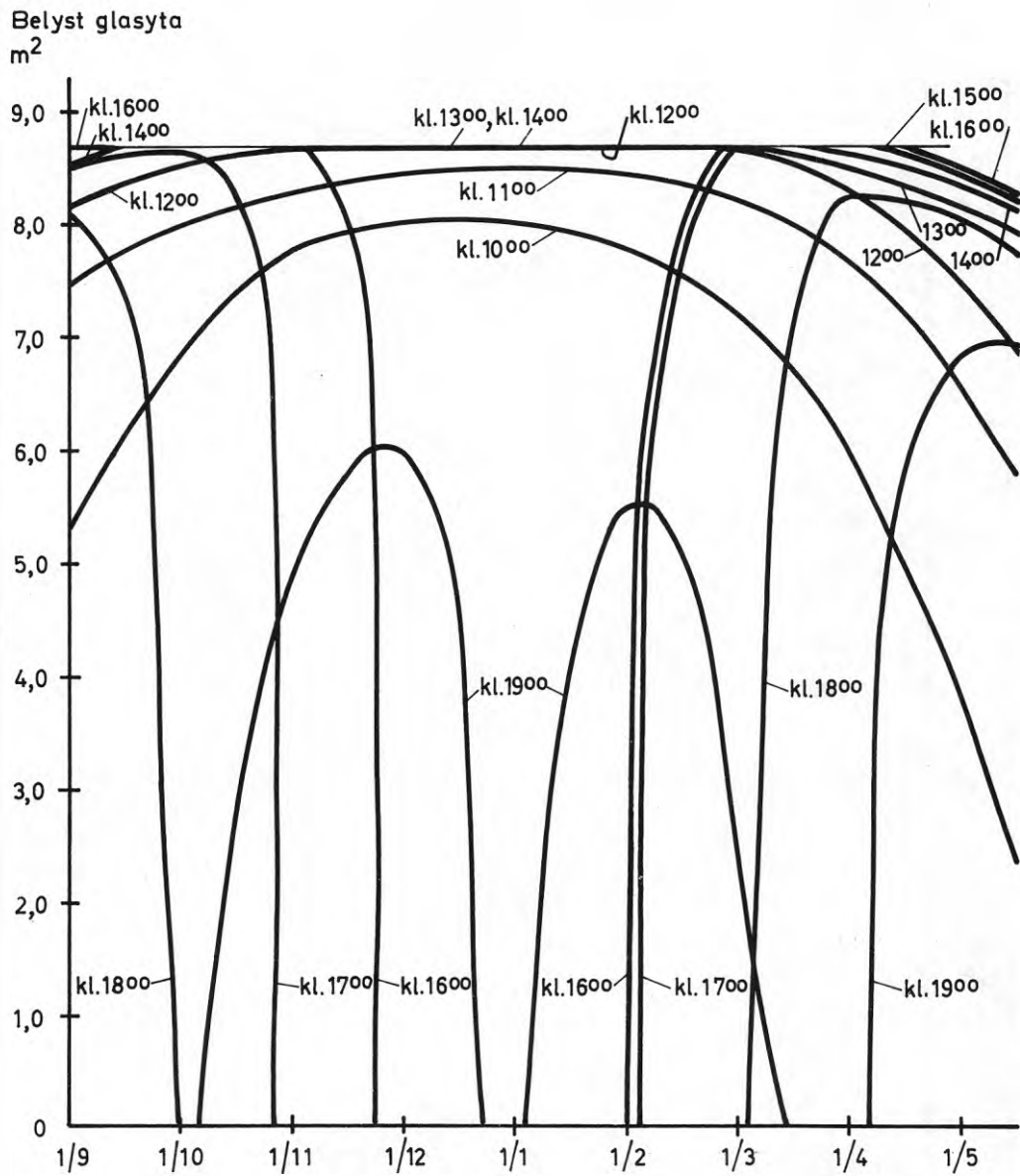


FIG. 43. Diagram över största möjliga solbelysta glasyta hos fönster mot söder vid olika klockslag under eldnings-säsongen. Hänsyn har inte tagits till horisontavskärmningen utan endast till husets orientering och geometriska utformning.

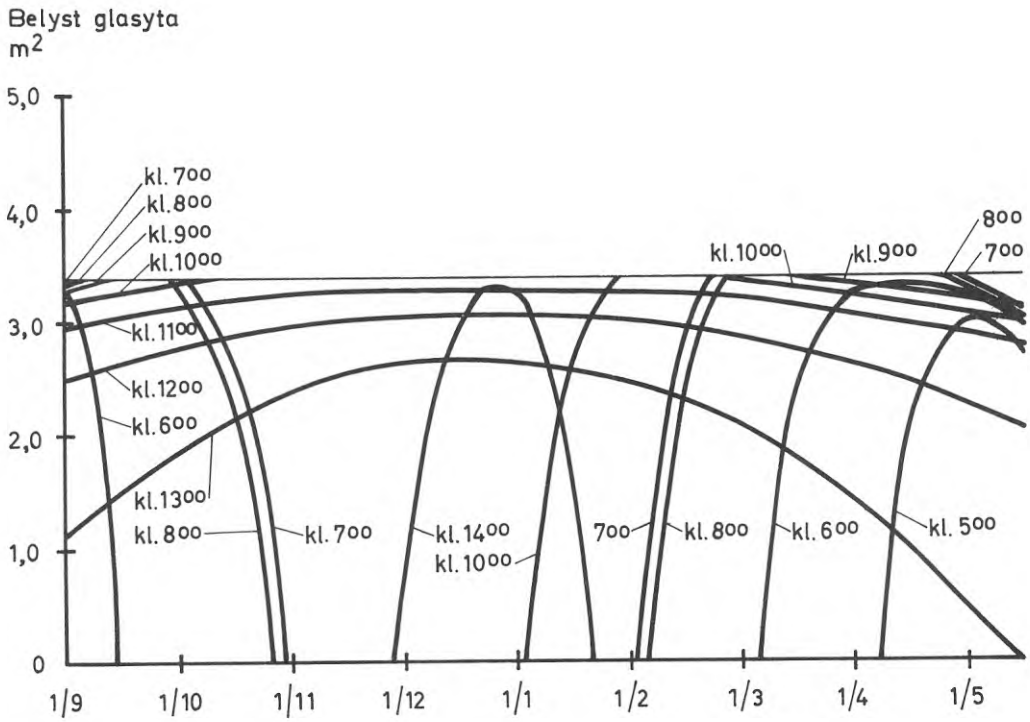


FIG. 44. Diagram över största möjliga solbelysta glasyta hos fönster mot öster vid olika klockslag under eldnings-säsongen. Hänsyn har inte tagits till horisontavskärmningen utan endast till husets orientering och geometriska utformning.

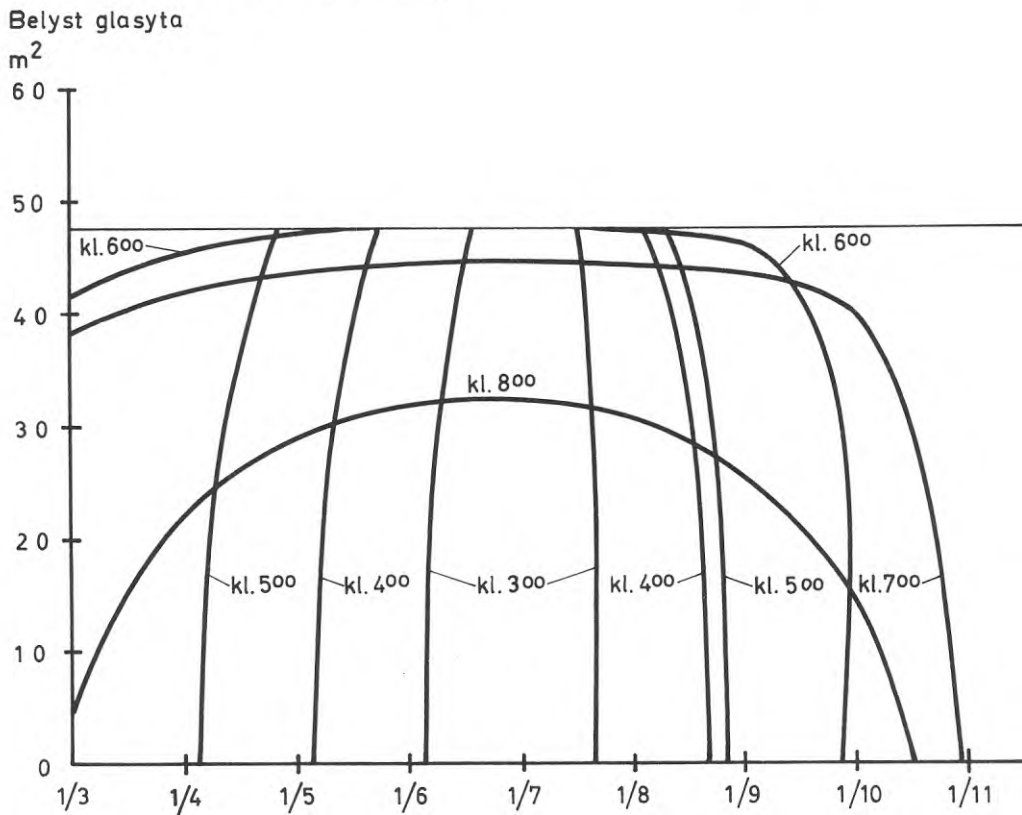


FIG. 45. Diagram över största möjliga solbelysta glasyta hos fönster mot norr vid olika klockslag under eldnings-säsongen. Hänsyn har inte tagits till horisontavskärmningen utan endast till husets orientering och geometriska utformning.

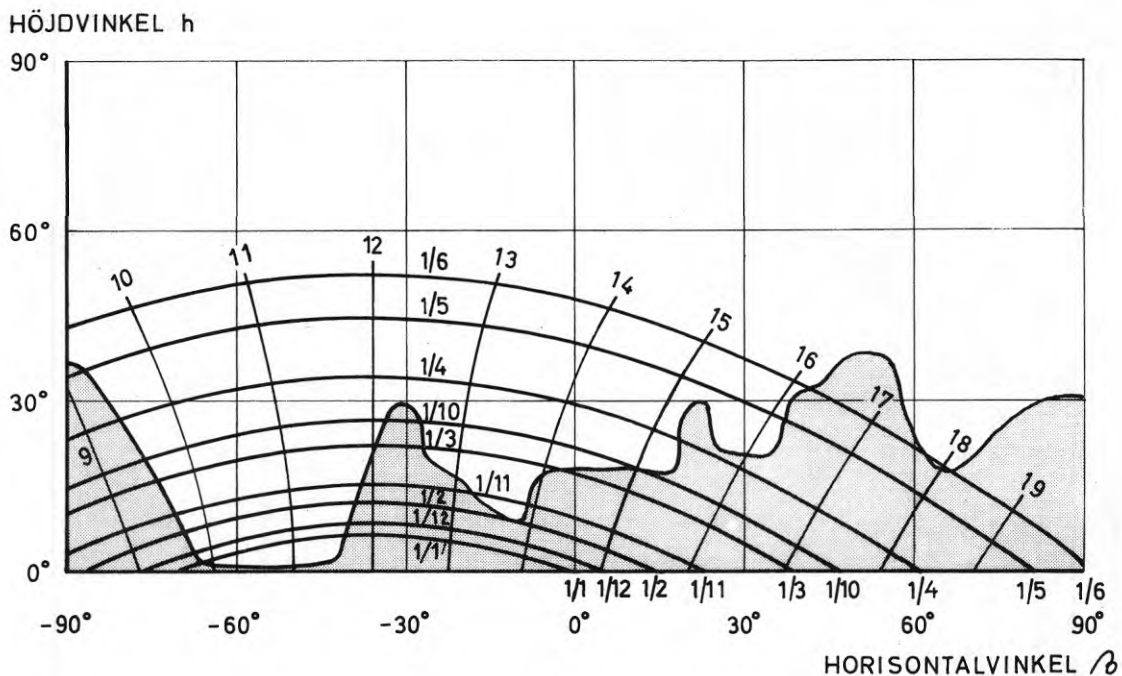


FIG. 46. Diagram över solens läge sett från söderväggen vid provhuset i Nälsta. Söderväggens normal har riktningen 36° (dvs. mellan söder och väster). Den skuggade delen av diagrammet visar när horisonten är skyddad av vegetation eller angränsande byggnader.

Av diagrammet kan t. ex. avläsas att den l. 10 nås fasaden av direkt solstrålning kl. 9^{30} . Den blir tillfälligt skuggad mellan ca 12^{00} och 12^{30} . Omkring kl. 15 försvinner solen bakom vegetationen och fasaden ligger således i skugga.

TAB. 7. Beräkning av solinstrålning.

Nälsta den 26/3 1965

Kl	S			N			O			Horisontell						
	Instr.- avläsntid kcal h	Sol-Direkt stråln. kcal/h	Diffus stråln. kcal	Instr.- avläsntid kcal h	Sol-Direkt stråln. kcal/h	Diffus stråln. kcal	Instr.- avläsntid kcal h	Sol-Direkt stråln. kcal/h	Diffus stråln. kcal	Instr.- avläsntid kcal h	Sol-Direkt stråln. kcal/h	Diffus stråln. kcal				
4																
5																
6	5	-	5	25	-	25	60	0,2	145	29	31	40				
7	20	-	20	130	-	130	210	0,4	430	172	38	75				
8	35	-	35	75	-	75	110	-	-	-	110	220				
9	60	-	60	65	-	65	270	0,4	625	250	20	405				
10	250	0,6	215	70	-	70	620	0,9	605	545	75	485				
11	475	1,0	385	65	-	65	310	0,5	520	260	50	510				
12	600	1,0	520	65	-	65	415	0,7	375	263	152	515				
13	690	1,0	605	60	-	60	235	1,0	205	205	30	475				
14	705	1,0	640	55	-	55	75	-	-	-	75	420				
15	490	0,7	610	40	-	40	45	-	-	-	45	335				
16	125	0,2	510	30	-	30	30	-	-	-	30	165				
17	25	-	25	15	-	15	15	-	-	-	15	55				
18	5	-	5	5	-	5	5	-	-	-	5	15				
19																
20																
S:a	3485	5,5	2808	700	-	700	2400	4,6	-	1724	676	3615	8,8	-	2486	1129

TAB. 8. Beräkning av värmetillskott av solstrålning genom fönster.

Nälsta den 26/3 1965

Kl	S		N		O		Föns- ter- yta m ²	Värmetillskott av Direkt strålning kcal	Diffus strålning kcal	
	Belyst fönster- yta m ²	Sol- tid h	Belyst fönster- yta m ²	Sol- tid h	Belyst fönster- yta m ²	Sol- tid h				Värm- till- skott kcal
6	6,20	0,6	100	372	2,55	0,2	50	26		
7	7,80	1,0	250	1950	3,38	0,4	300	406		
8					-	-	-	-		
9					3,30	0,4	445	587		
10	6,20	0,6	100	372	3,25	0,9	425	1243		
11	7,80	1,0	250	1950	3,05	0,5	360	549		
12	8,45	1,0	360	3042	2,65	0,7	235	436		
13	8,55	1,0	430	3677	1,50	1,0	85	127		
14	8,65	1,0	460	3979	-	-	-	-		
15	8,65	0,7	430	2604						
16	8,69	0,2	360	626						
17	-	-	-	-						
S								8,69	16250	3760
N								4,75	-	2130
O								3,38	3374	1464
S:a								-	19624	7354
Totalt värmetillskott								26978 kcal		

S:a

16250

3374

solinstrålning kan förväntas bli stort. I TAB. 7 redovisas de från solarimeterregistreringarna utvärderade strålningsvärdena. Solarimetern registrerar totalstrålningen varför de utvärderade intensiteterna avser såväl direkt som diffus strålning. Ur registreringsdiagrammen har "soltiden"¹ bestämts genom att jämföra den aktuella registreringskurvan med en ideell sådan för klart väder. På så sätt har "soltiden" direkt kunnat korrigeras för de tider när solarimetern skuggats. Vid sådana tillfällen avviker den registrerade intensiteten från en ideell kurva vid klart väder. Detta är orsaken till att "soltiden" kan bli något olika för olika fasader vid samma tidpunkt. Den direkta strålningen vid klart väder uttryckt i kcal/h har bestämts med hjälp av FIG. 35-37. För varje timme har den direkta strålningen erhållits genom att multiplicera de avlästa värdena med den aktuella "soltiden" för resp. timme. I TAB. 8 har värmestillskottet av den direkta solstrålningen beräknats med hänsyn till belysta glasytor (FIG. 43-45) och transmissionsfaktorer för den direkta strålningen (FIG. 38-40). Den diffusa strålningen har antagits utgöra skillnaden mellan instrumentavläsning och den enligt ovan beräknade direkta strålningen. Värmestillskottet av den diffusa strålningen har erhållits genom att multiplicera den på så sätt bestämda diffusa strålningen med den totala glasytan för resp. fasad och med transmissionsfaktorn 0,64.

Ur sammanställningen av värmestillskottet för den aktuella dagen, den 26 mars 1965, har det totala värmestillskottet genom enbart söderfönstren beräknats till inte mindre än 20.010 kcal. Värmeförbrukningen i de två rum som har söderfönster har för hela det aktuella dygnet endast uppgått till 13.000 kcal trots att temperaturen utomhus har varit så låg som $-1,9^{\circ}\text{C}$ i medeltal under dygnet. Solinstrålningen genom fönstren har således under den soliga dagen bidragit med betydligt mer värme än värmeanläggningen. Detta har medfört att de två söderrummen erhållit en viss "övertemperatur".

Som jämförelse till denna beräkning av värmestillskottet redovisas i TAB. 9 motsvarande beräkning för söderfönstren enligt den metod Höglund & Stephenson (1968) angivit. Vid denna beräkning har hänsyn tagits till skuggor från träd i närheten av huset genom vad som kan avläsas ur horisontavskärningsdiagrammet, FIG. 46. Det totala värmestillskottet beräknat enligt denna metod har blivit 20.264 kcal vilket är obetydligt högre än vad som redovisats ovan. Exemplet visar att metoderna överensstämmer mycket väl vid beräkning av det totala värmestillskottet vid dagar med klart väder. Hänsyn måste tas till molnighetsförhållandena genom en molnighetsfaktor när metoden enligt Höglund & Stephenson tillämpas för hela eldningssäsongen. Regelhusets södervägg ligger heller inte orienterat rakt mot SV eller S varför enskilda timvärden enligt Höglund & Stephensons tabeller inte kan användas utan interpolering. Exempelvis erhålles klockan 15 enligt Höglund & Stephenson ett värmestillskott av 4.510 kcal utan interpolering medan beräkningarna ur solarimeterregistreringarna ger 2.956 kcal. Skillnaden i värmestillskott för enskilda timvärden kan således bli betydande. På för-

¹ Med "soltiden" menas i det följande hur stor andel av den ljusa delen av dygnet som resp. fasad varit utsatt för direkt solstrålning.

TAB. 9. Exempel på beräkning av solinstrålning genom fönstren i söderväggen för den 26 mars 1965. Vädret under den dagen karaktäriseras av att himlen var i det närmaste helt klar. Beräkningen görs enligt metod angiven av Höglund & Stephenson (1968) och med användning av de av dem publicerade tabellerna. Tabellvärden för 60° N och för fönster i SV-vägg har använts.

Kl	Transm. strålning	Belyst glasyta	Skuggad glasyta	Transm. diffus strålning	Värmetillskott av strålning		Värmetillskott av strålning	
	1) W/m ² h	2) m ²	3) m ²	4) W/m ² h	5) W/h	6) kcal/h		
7	25	0	8,69	25	0,8 · 25 · 8,69=	174	174 · 0,86=	150
8	44	0	8,69	44	0,8 · 44 · 8,69=	306	306 ·	= 264
9	62	0	8,69	62	0,8 · 62 · 8,69=	431	431 ·	= 371
10	143	6,20	2,49	66	0,8 · 66 · 2,49=	132	132 ·	= 114
					0,8 · 143 · 6,20=	709	709 ·	= 610
11	358	7,80	0,89	71	0,8 · 71 · 0,89=	50	50 ·	= 43
					0,8 · 358 · 7,80=	2235	2235 ·	=1925
12	553	8,45	0,24	80	0,8 · 80 · 0,24=	15	15 ·	= 13
					0,8 · 553 · 8,45=	3745	3745 ·	=3220
13	692	8,55	0,14	71	0,8 · 71 · 0,14≈	0		
					0,8 · 692 · 8,55=	4730	4730 ·	=4070
14	766	8,65	0,04	66	0,8 · 66 · 0,04≈	0		
					0,8 · 766 · 8,65=	5300	5300 ·	=4560
15	758	8,65	0,04	62	0,8 · 62 · 0,04≈	0		
					0,8 · 758 · 8,65=	5245	5245 ·	=4510
16	650	0 x)	8,69	44	0,8 · 44 · 8,69=	306	306 ·	= 264
17	390	0 x)	8,69	25	0,8 · 25 · 8,69=	174	174 ·	= 150
Summa värmetillskott						23.552		20.264

x) Solen skuggad av horisonten, se FIG. 46.

- Kolumn 1) Transmitterad lokal solstrålning (direkt + diffus + markreflekterad) genom ett l-glasfönster i SV-vägg enligt Höglund & Stephenson.
- " 2) Beräknad belyst glasyta med hänsyn enbart till husets orientering, geometriska utformning och horisontavskärmning (hänsyn till "diffusa" skuggor av träd Kronor och dylikt har inte tagits). Största möjliga glasyta = 8,69 m².
- " 3) Skuggad glasyta = största möjliga glasyta minus belyst glasyta enligt kolumn 2).
- " 4) Transmitterad diffus strålning genom l-glas, beräknad som intensiteten mot den närmast intilliggande skuggade fasaden (dvs. när $|a-v| > 90^\circ$) när inte söderväggen självt ligger i skugga (enl. Höglund & Stephenson).
- " 5) Beräknad instrålning solenergi W/h genom söderfönstren (dvs. kolumn 1 gånger kolumn 2 gånger avskärmningsfaktorn). Avskärmningsfaktorn för 3-glasfönster har antagits till 0,8. Då hela glasytan ej kan nås av direkt strålning har antagits att diffus strålning kan transmittas genom den obelysta glasdelen. Det övre värdet avser diffus strålning och det undre direkt.
- " 6) Samma som 5) men omräknat till kcal/h.

TAB. 10. Värmetillskott p. g. a. solinstrålning genom fönster.

Mätperiod		Direkt solinstrålning	Diffus strålning	Total instrålning	
		kcal	kcal	Mcal	kWh
1964 okt.	15-31	43.588	52.980	97	112
	nov. 1-30	23.397	63.472	87	101
	dec. 1-31	1.547	42.222	44	51
1965 jan.	1-31	8.960	42.426	51	60
	febr. 1-28	69.211	157.922	227	263
	mars 1-31	263.412	222.599	486	564
	april 1- 6, 12-30	152.319	159.708	312	362

middagen fås motsvarande avvikelse ehuru åt andra hållet, varför skillnaden i det totala dygnsvärdet blir försumbart under förutsättning av att klart väder råder hela dagen.

I TAB. 10 redovisas en sammanställning av värmestillskottet under försöksperioden på grund av solinstrålning genom fönstren. Värmestillskottet har varit störst under mars månad då det t. o. m. varit betydligt större än under april. Detta beror som tidigare nämnts på, att april haft ovanligt få soltimmar det aktuella året. Dessutom ingår inte månadens alla dagar i jämförelsen. Det minsta värmestillskottet har som väntat erhållits under december. Av tabellen framgår också tydligt att den diffusa strålningen har mycket stor betydelse för värmestillskottet. Under vintermånaderna har den diffusa strålningen dominerat över den direkta men även under hösten och våren har ett värmestillskott av den diffusa strålningen erhållits som varit av samma storleksordning som av den direkta. Detta innebär bl. a. att fönster som ligger i skugga också får en betydande värmeinläckning.

6 VÄRMEBALANSEN I FÖRSÖKS- HUSET

6.1 Värmebalansens sammansättning

Den totala värmebalansen för ett hus är sammansatt av värmestillskott och värmeförluster av relativt väl avgränsade karaktärer. Värmestillskotten kan uppdelas i tre huvudtyper, nämligen

- 1) värmeavgivning från uppvärmningssystemet,
- 2) solinläckning genom fönster, samt
- 3) värmeavgivning från människor och deras aktiviteter samt från värmealstrande apparater såsom spisar, kylskåp,

Vid de undersökningar som gjorts har försökshuset varit obebott. Värmeavgivning från människor och apparater m. m. enligt 3) ovan har därför inte tillfört huset någon värme.

Värmeförlusterna kan också uppdelas i tre huvudtyper, nämligen:

- 1) transmissionsförluster genom alla omgivande byggnadsdelar,
- 2) ventilationsförluster orsakade av luftväxling inne ute, samt
- 3) värmeförluster som direkt kan återföras till verkningsgraden hos värmeanläggningen. Den senare typen behandlas inte i denna undersökning.

Vid bestämning av värmebalansen i provhuset har huvudvikten lagts vid att försöka analysera inverkan av den rent byggnadstekniska utformningen och sålunda undvika de irrationella och svårbedömda faktorer som boendet medför. I ett bebott hus kan inte en ingående analys över värmebalansens sammansättning genomföras eftersom alltför många betydelsefulla parametrar förblir okända. Avsikten har också varit att utreda om hittills tillämpade material- och konstruktionsdata kan ligga till grund för kalkylering av det årliga värmebehovet för ett helt hus. En noggrann bestämning av det årliga värmebehovet är mer aktuell än någonsin, eftersom småhusen i allt större utsträckning uppvärms elektriskt. Jämfört med oljeuppvärmning som kan karaktäriseras av höga kapitalkostnader och relativt låga energikostnader har eluppvärmningen låga kapitalkostnader men i stället relativt höga driftskostnader. Även vid oljeeldning är det dock angeläget att hålla oljeförbrukningen nere så att bl. a. luftföroreningarna inte blir onödigt stora. Det finns sålunda flera skäl att begränsa energiförbrukningen för uppvärmningsändamål. För att kunna genomföra en noggrann analys av ekonomin hos de olika systemen och för att kunna begränsa energiuttaget är det av synnerligen stor vikt att det årliga värmebehovet kan beräknas noggrant.

De yttre klimatbetingelserna i husets närmaste omgivning såsom temperatur, solinstrålning, vind m. m. har självfallet stor be-

tydelse för värmeförlusterna. Bestämning av det s. k. mikroklimatet vid huset har därför varit en viktig del av undersökningarna. För att kunna analysera de olika klimatfaktorernas inverkan har långtidsförsök under de olika klimatförhållanden som förekommer under eldningssäsongen varit nödvändiga.

6.2 Beräkning av värmebalansen

Värmebalansen kan något förenklat uttryckas enligt ekvationen

$$W_{in} = W_t + W_v - W_s \quad (5.1)$$

där W_{in} = värmeavgivning från värmesystemet
 W_t = värmeförluster på grund av transmission (inkl. värmeförluster genom köldbryggor samt inverkan av in- och utstrålning genom väggar och tak)
 W_v = värmeförluster på grund av ofrivillig ventilation
 W_s = värmeinläckning på grund av solinstrålning genom fönster.

Denna ekvation tar inte hänsyn till värmeavgivning från människor och deras aktiviteter eller från olika värmealstrande apparater, ej heller till värmeförluster som kan återföras till verkningsgraden hos värmeanläggningen. Dessa faktorer har som ovan nämnts eliminerats genom den valda försöksuppläggningsen. Varje ingående storhet i ekvation (5.1) kan i sin tur uppdelas och analyseras.

Värmeförlusterna genom transmission genom olika konstruktioner kan allmänt uttryckas genom ekvationen

$$W_t = \left(\sum_{j=1}^n k_j \cdot A_j \cdot \Delta\bar{\vartheta}_j \right) \cdot t \quad (5.2)$$

där k = värmegenomgångstal
 A = yta
 $\Delta\bar{\vartheta}$ = medeltemperaturskillnad över resp. konstruktion
 t = tid.

Vid försökshuset har värmeflödet genom väggar, golv och tak bestämts genom mätningar varför $k_j \cdot \Delta\bar{\vartheta}_j$ är känt. Värmegenomgångstalen har för övrigt i allmänhet beräknats med hjälp av uppgifter om värmeledningstal i Svensk Byggnorm 67. Värmegenomgångstal för fönster och dörrar har däremot erhållits från VVS-handboken (1963).

Inverkan av in- och utstrålning på värmetransporten genom väggar och tak kan tas antingen genom att med direkta mätningar bestämma värmeflödet eller genom att beräkna en modifierad ekvivalent utetemperatur. I det här fallet har direkta bestämningar kunnat användas. Köldbryggor förekommer i regelhuset bl. a. i form av träreglar som genombryter mineralullsisoleringen. Hänsyn till dessa har tagits genom att tillämpa följande

två approximativa beräkningsmetoder, dels den s.k. k-värdesmetoden

$$k = \sum_{j=1}^n \frac{f_j}{100} \cdot k_j$$

dels den s.k. λ -värdesmetoden

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_j} + \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{f_j}{100} \cdot \lambda_j} + \frac{1}{\alpha_y}}$$

där f_j = andel av de olika partiernas ytor i förhållande till den totala ytan

λ = värmeledningstal

α_i och α_y = inre resp. yttre värmeövergångstal

δ = konstruktionens tjocklek.

Skillnaden i resultat mellan de två metoderna är mycket liten om värmeledningstalen för de olika materialen inte avviker alltför mycket från varandra. De två beräkningsmetoderna ger för en regelvägg normalt mycket liten skillnad hos k-värdena. Det rätta k-värdet ligger mellan de två beräknade värdena. Vid beräkningarna av värmeförlusterna har medelvärdet av dessa värden använts.

Värmeförlusterna på grund av ofrivillig ventilation kan beräknas enligt ekvationen

$$W_v = \text{konst} \cdot n \cdot V \cdot \Delta \bar{\vartheta} \cdot t \quad (5.3)$$

där n = antalet luftomsättningar per timme

V = husets inre volym

$\Delta \bar{\vartheta}$ = medeltemperaturskillnad inne-ute

t = tid.

Som visats i föregående avsnitt beror antalet luftomsättningar på såväl vindhastigheten som temperaturskillnaden inne-ute. Luftomsättningarna kan nämligen bestämmas ur ekvationer av typen

$$n = a + b \Delta \bar{\vartheta} + c v$$

där v = vindhastighet

$\Delta \bar{\vartheta}$ = temperaturskillnad inne-ute

a , b och c = konstanter.

För regelhuset har den enligt kap. 3 bestämda ekvationen

$$n = 0,15 + 0,012 \Delta \bar{\vartheta} + 0,077 v$$

tillämpats.

Vid beräkningen av värmeförlusterna för varje månad har resp. månadsmedelvärden på vindhastighet och temperaturskillnad använts. Den genomsnittliga luftomsättningen har därför varit olika för varje månad.

Solvärmeinläckning genom ett fönster härrör dels från direkt strålning från solen dels från diffus strålning från himlavalvet och från reflexioner.

Energi i form av direkt solstrålning som transmitteras genom fönsterglas kan generellt beräknas enligt följande ekvation

$$d W_s = I \cdot \cos i \cdot T_i \cdot dt \quad (5.4)$$

där $d W_s$ = genom fönstret transmitterad direkt solstrålning

I = solinstrålningsintensitet vinkelrätt mot strålningsriktningen

i = strålningens infallsvinkel

T_i = fönstrets transmissionsfaktor vid infallsvinkeln " i "

dt = tid.

Vid beräkning av det totala energitillskottet på grund av solstrålning tas även hänsyn till den diffusa instrålningen. Beräkningsmetodiken har redovisats i kap. 5.

6.3 Klimatet under försöksperioden. Jämförelse med "normalåret" 1931-1960

För att noggrant kunna beräkna värmebalansen erfordras kännedom om klimatet i och intill byggnaden det s.k. mikroklimatet. Vid provhuset har som tidigare nämnts bl. a. följande klimatdata bestämts under försöken

temperaturer inne och ute, i vindsutrymmet samt under huset

solinstrålningsintensiteter mot fasader och tak

vindhastigheter

nederbörd i form av snö.

6.3.1 Temperaturer

I TAB. 11-13 redovisas månadsmedelvärden på temperaturer, solinstrålning och vindhastigheter. Dessutom har spridningen beräknats för såväl temperaturerna som solinstrålningsintensiteterna. Spridningen är beräknad för dygnsvärdena under resp. månad och avser inte varje enskild observation.

Temperaturerna inomhus har som framgår av TAB. 11 varit praktiskt taget konstanta vid $+22^{\circ}\text{C}$ under hela försöksperioden. Dock har en viss "övertemperatur" förekommit inomhus under våren i mars och april till följd av stark solinstrålning i de sydorienterade rummen.

TAB. 11. Bestämda temperaturer inne, ute, på vinden samt i marken vid regelhuset. I tabellen anges månadsmedelvärden samt övre och undre spridningsgränser.

Mätperiod	Utetemperatur				Innetemperatur				Temperatur i vindsutrymme Marktemp. ¹⁾			
	$\bar{\vartheta}_u - s$	$\bar{\vartheta}_u$	$\bar{\vartheta}_u + s$	$\bar{\vartheta}_i - s$	$\bar{\vartheta}_i$	$\bar{\vartheta}_i + s$	$\bar{\vartheta} - s$	$\bar{\vartheta}$	$\bar{\vartheta} + s$	$\bar{\vartheta}$		
1964 okt. 15-31	+3,6	+5,8	+8,0	+21,6	+22,0	+22,4	+4,1	+6,5	+8,9	+16,3		
nov. 1-30	-0,4	+1,9	+4,2	+21,8	+21,9	+22,0	-1,3	+1,5	+4,3	+15,8		
dec. 1-31	-5,6	-1,0	+3,6	+21,6	+21,9	+22,2	-5,4	-0,5	+4,4	+15,2		
1965 jan. 1-31	-6,6	-2,2	+2,2	+21,9	+22,0	+22,1	-4,6	-0,9	+2,8	+14,8		
febr. 1-28	-8,0	-4,3	-0,6	+21,7	+22,0	+22,3	-4,5	-2,1	+0,3	+14,6		
mars 1-31	-5,6	-1,3	+3,0	+21,7	+22,2	+22,7	-2,0	+1,7	+5,4	+14,4		
april 1-6, 12-30 ²⁾	+1,4	+4,1	+6,8	+21,7	+22,3	+22,9	+4,2	+7,6	+11,0	+14,0		

¹⁾ Mätpunkten belägen i underkant av betongplattan i husets mitt.

²⁾ Mellan den 6 och 12 april har det varit avbrott i värmeförsörjningen på grund av att ett s. k. avsvalningsförsök genomförts.

TAB. 12a. Bestämd solstrålningssintensitet mot söderfasaden och mot en horisontell yta vid mätningar vid regelhuset i Nälsta. I tabellen redovisas dygnsmedelvärdet I, för varje månad, spridningsgränser samt största och minsta dygnsmedelvärde för varje månad. Dessutom redovisas den totalt bestämda intensiteten för månaden mot resp. yta.

Mätperiod	Antal dygn	S-fasad						Horisontell yta					
		kcal/m ² uppmätt			kcal/24 h m ²			kcal/m ² uppmätt			kcal/24 h m ²		
		Min	\bar{I} -s	\bar{I}	Min	\bar{I} +s	Max	Min	\bar{I} -s	\bar{I}	Min	\bar{I} +s	Max
1964 okt. 3-31	29	19.783	0	24	682	1340	1914	25.265	66	230	871	1512	2256
nov. 1-17, 21-30	27	11.400	5	0	422	873	1412	9.530	10	69	353	637	963
dec. 1-31	31	6.066	15	13	196	379	737	5.016	15	29	162	295	528
1965 jan. 1-31	31	5.530	10	29	178	327	580	5.137	24	64	167	270	445
febr. 1-15, 19-28	25	24.252	190	240	970	1700	2880	21.623	225	345	865	1385	2343
mars 1-31 ¹⁾	31 ¹⁾	43.355	75	692	1806	2920	3515	63.157	295	1276	2037	2798	3615
april 1-30	30	49.465	165	421	1649	2877	3745	74.255	550	1089	2475	3861	5240

¹ S-fasaden omfattar endast 24 dygn (tiden 8-31 mars 1965).

TAB. 12b. Bestämd solstrålningsintensitet mot norr- och österfasad vid mätningar vid regelhuset i Nälsta. I tabellen redovisas dygnsmedelvärdet I, för varje månad, spridningsgränser samt största och minsta dygnsmedelvärdet för varje månad. Dessutom redovisas den totalt bestämda intensiteten för månaden mot resp. yta.

Mätperiod	Antal dygn	N-fasad					O-fasad						
		kcal/m ² uppmätt		kcal/24 h m ²			kcal/m ² uppmätt		kcal/24 h m ²				
		Min	I-s	I	I+s	Max	Min	I-s	I	I+s	Max		
1964 okt. 3-31	29	6.692	10	111	231	351	512	16.267	10	71	561	1051	1495
nov. 1-17, 21-30	27	3.025	5	55	112	169	230	8.155	5	0	302	612	1085
dec. 1-31	31	1.745	0	22	56	90	120	3.930	0	0	127	268	430
1965 jan. 1-31	31	2.850	10	32	92	152	255	6.220	10	0	201	434	1000
febr. 1-15, 19-28	25	10.484	209	270	419	568	750	19.864	180	269	795	1331	1862
mars 1-31	31	18.702	100	460	603	746	895	41.078	95	658	1325	1992	2400
april 1-30	30	19.755	180	361	659	957	1120	36.915	190	382	1231	2080	2765

TAB. 13. Bestämda medelvindhastigheter, m/s, vid regelhuset i Nälsta under försöksperioden jämte högsta och lägsta dygnsmedelvärde för varje månad.

Mätperiod	Min. hastighet	Medelvindhastighet	Max. hastighet
1964 okt. 15-31	0,7	1,6	4,9
nov. 1-30	0,2	1,4	3,3
dec. 1-31	0,1	2,0	5,0
1965 jan. 1-31	0,2	2,1	5,8
febr. 1-28	0,6	1,4	2,6
mars 1-31	0,8	1,6	3,7
april 1-6, 12-30 ¹⁾	0,9	2,1	5,1
maj 1-25	0,9	1,8	3,2

¹ Registreringarna under april är något ofullständiga. Värdena har kompletterats med hjälp av SMHI:s registreringar.

Temperaturen i vindsutrymmet har under vintern i medeltal legat nära utomhustemperaturen, vilket är en följd av vindsbjälklagets höga värmemetostånd. Värmetillförseln inifrån har inte förmått höja temperaturen nämnvärt i vindsutrymmet utan värmemet har i det närmaste omgående ventilerats ut. Under soliga dagar, i synnerhet under våren, har vindsutrymmet dock uppvärmts mycket kraftigt, varför medeltemperaturen på vinden under mars och april varit 3 å 4°C högre än lufttemperaturen utomhus. Det mörka yttertaket (belagt med asfaltshingel) har absorberat huvuddelen av solstrålningsenergin varvid mycket värme tillförts vindsutrymmet.

I TAB. 14 redovisas månadsmedeltemperaturerna enligt SMHI:s registreringar i Stockholm dels under försöksperioden dels under normalåret 1931-1960. Därav framgår att temperaturen i Stockholm under försöken genomsnittligt varit nästan densamma som under normalåret. I januari 1965 har det dock varit 1,6°C mildare än normalt, medan det i februari varit något kallare. Under de övriga månaderna har temperaturen avvikit mindre än 0,5°C från motsvarande månadsmedelvärde under normalåret. Från temperatursynpunkt har sålunda försöken genomförts under relativt normala vinterbetingelser för Stockholmstrakten.

6.3.2 Solinstrålning och antal soltimmar

Den totala solinstrålningen mot tre fasader - norr-, öster- och söderfasaden - och mot en horisontell yta redovisas i TAB. 12 a och 12 b.¹ Solarimetrarna på de tre fasaderna har varit placerade så att de tidvis har legat i svag skugga bl. a. orsakad av några träd i närheten av byggnaden. Med god approximation kan man räkna med att samma skuggning har förekommit mot större delen av resp. fasad, vilket styrkts av utförda systematiska observationer av skuggor. Solinstrålningen har, som framgår av tabellerna, varit betydande i synnerhet under oktober, februari, mars och april. Men även under de solfattiga vintermånaderna november, december och januari har betydande strålning förekommit i första hand mot ost- och sydfasaderna samt mot taket. Den totala instrålningen under eldningssäsongen mot fasaderna har självfallet varit störst mot söder och minst mot norr. Trots att norrväggen endast i ringa utsträckning har utsatts för direkt solstrålning har dock den totala strålningen mot denna vägg vår och höst (och givetvis även under sommaren) varit stor. Solstrålningens inverkan kan därför inte försummas ens för norrfasader. Då ett snötäcke funnits intill huset har den reflekterade strålningen varit stor.

Instrålningen mot den horisontella ytan domineras under vintern av den diffusa strålningen. Värdena mot den horisontella ytan kan användas bl. a. för beräkning av yttemperaturer på taket.

Det av SMHI bestämda antalet soltimmar för varje månad under försöksperioden har i jämförelse med antalet soltimmar för normalåret 1931-1960 i genomsnitt varit obetydligt större fram till och med mars månad (se TAB. 15). Under april månad 1965 har

¹ Västerfasaden saknar fönster varför solinstrålningen inte registrerats mot denna fasad.

TAB. 14. Jämförelse mellan bestämd utetemperatur i Stockholm under försöksperioden och motsvarande temperatur för normalåret 1931-1960 enligt SMHI:s registreringar (månadsmedelvärden).

Månad	SMHI:s best. 1964-65	Normal- året 1931-60
Sept.	+12,0	+12,2
Okt.	+ 7,6	+ 7,1
Nov.	+ 2,7	+ 2,8
Dec.	- 0,3	+ 0,1
Jan.	- 1,3	- 2,9
Febr.	- 3,8	- 3,1
Mars	- 0,5	- 0,7
April	+ 4,0	+ 4,4

TAB. 15. Jämförelse mellan antalet soltimmar för varje månad i Stockholm under försöksperioden och under normalåret 1931-1960 enligt SMHI:s registreringar.

Månad	Soltimmar enligt SMHI 1964-65	Soltimmar normalåret 1931-60
Sept.	172	174
Okt.	112	103
Nov.	55	41
Dec.	30	26
Jan.	42	41
Febr.	77	76
Mars	168	151
April	141	208
Maj	353	292

däremot antalet soltimmar varit endast 141 mot normalt 208, vilket är avsevärt mindre än normalvärdet. Detta förhållande torde högst påtagligt ha inverkat på värmestillskottet p. g. a. solstrålning under april månad vilket bör beaktas vid bedömningen av resultaten.

6.3.3 Vindhastigheter

Vindhastigheten har registrerats på taket till försökshuset. Huset ligger i något kuperad skogsterräng och har sålunda varit relativt väl skyddat för stora vindpåkänningar. De bestämda vindhastigheterna redovisas i TAB. 13, varav framgår att månadsmedelvärdena varierat mellan 1,4 och 2,1 m/s. Dessa värden är relativt låga men de torde vara representativa för husets mikroklimat under försöksperioden. Någon jämförelse med SMHI:s registreringar har inte gjorts eftersom det inte finns någon närbelägen observationsplats med någorlunda överensstämmande terrängutformning. SMHI:s vindobservationer sker normalt ca 10 m över marken och ofta vid flygplatser eller öppna fält i avsikt att erhålla mera generaliserbara värden. De värden som då erhålls är därför normalt inte representativa för småhus utan en transformering av värdena måste företas med hänsyn till mikroklimatet. Någon vedertagen praxis för på vilken höjdnivå vindobservationerna bör företas intill en byggnad saknas veterligen.

6.3.4 Snödjup

Snödjupet vid regelhuset har bestämts normalt ca 1 gång per vecka och redovisas i TAB. 16. Snö har förekommit från början av december till mitten av mars. Dock har barmark tidvis förekommit under december och januari. Från månadsskiftet januari-februari och fram till mitten av mars har hela tiden funnits ett mellan 10 och 20 cm tjockt snötäcke.

6.4 Energiförbrukning

Den bestämda värmeförbrukningen redovisas i FIG. 47-54. Där framgår dygns-, dag- och nattvärden för varje dygn från den 15 okt. 1964 till den 25 maj 1965. Dessutom har dygnsmedeltemperaturskillnaden inne-ute redovisats.

Värmeförbrukningen i huset kan allmänt sägas ha varit låg, trots att innetemperaturen under hela eldningssäsongen varit så hög som +22°C.

I FIG. 55 redovisas dygnsmedelförbrukningen för varje månad tillsammans med övre och undre spridningsgränser. Därav framgår att den största värmeförbrukningen genomsnittligt förekommit under månaderna januari och februari, då dygnsmedelförbrukningen något överstigit 80 kWh. Det högsta dygnsvärdet under hela mätsäsongen har bestämts till 113,9 kWh den 10 januari 1965. Då har temperaturen utomhus varit -14,0°C, vilket varit det kallaste dygnet under försöksperioden.

TAB. 16. Snödjupsobservationer vid regelhuset i Nälsta.

Observationer av snödjupet har gjorts ca en gång i veckan vilket ger en god uppfattning om förekomsten av snö och det genomsnittliga snödjupet.

Datum	Snödjup cm
Före den 30 november ingen snö	
1964 dec. 5	15
14	5
21	1
28	0
1965 jan. 4	0
7	5
11	15
18	0
25	2
febr. 2	15
8	10
15	10
22	15
mars 1	20
8	15
15	10
22	0
Efter den 22 mars ingen snö	

FIG. 47-54. Bestämd värmeförbrukning under oktober, november och december månad 1964 samt januari, februari, mars, april och maj månad 1965.

I diagrammen redovisas såväl dygnsförbrukningen som dag- och nattförbrukningen för varje dygn under oktober 1964 - maj 1965. Under de solfattiga månaderna har dag- och nattförbrukningarna varit i det närmaste lika stora. Under senvintern och våren har dagförbrukningen däremot varit betydligt lägre än nattförbrukningen.

För varje månad redovisas också temperaturskillnaden inne-ute. Eftersom innetemperaturen har varit konstant vid $+22^{\circ}\text{C}$ visar dessa diagram indirekt också utomhustemperaturen.

Stor temperaturskillnad korresponderar oftast mot hög värmeförbrukning. Under vissa dygn kan emellertid en viss fördröjning mellan temperaturskillnad och värmeförbrukning iakttas, vilket är följderiktigt p. g. a. husets värmekapacitet.

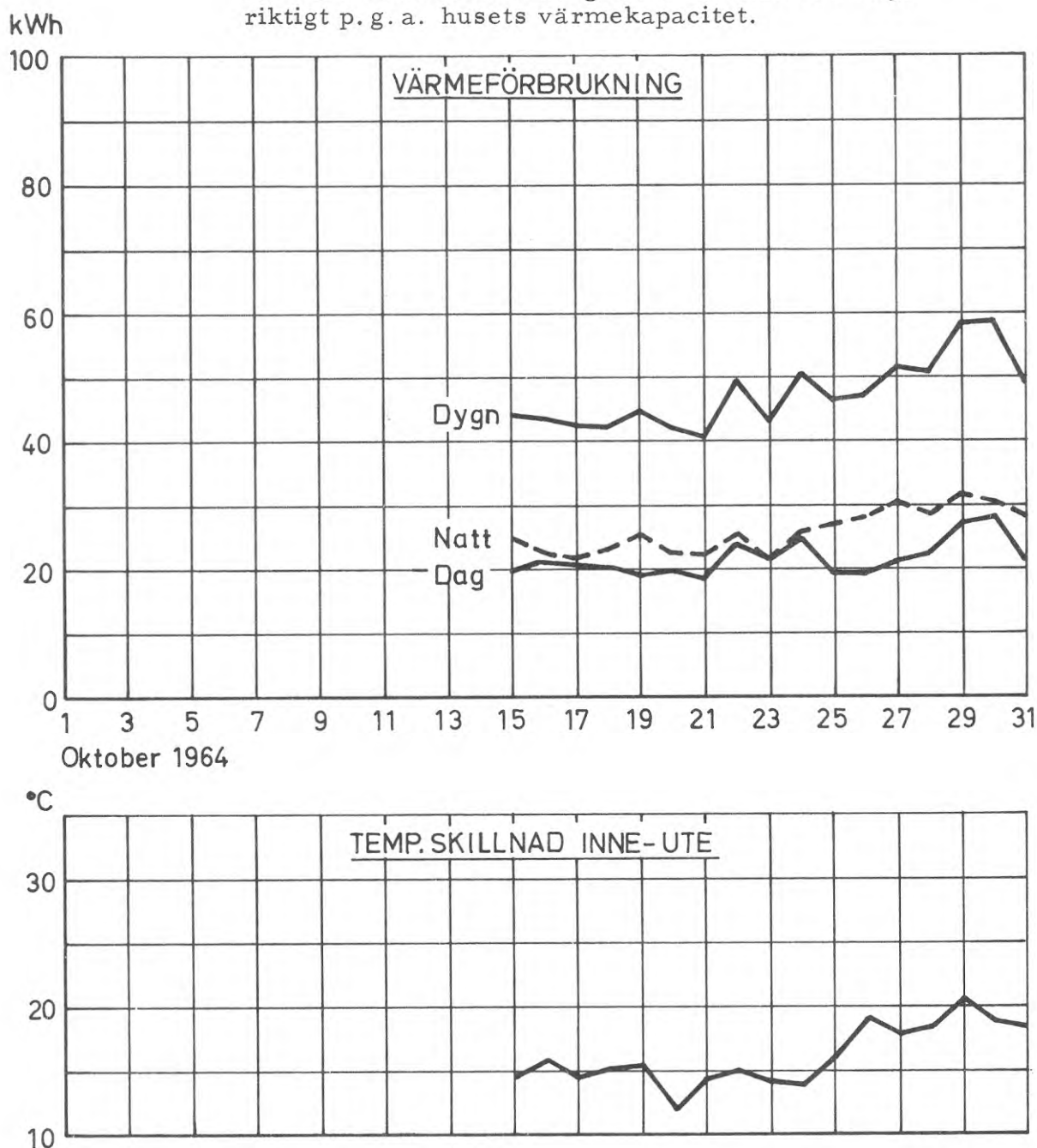


FIG. 47.

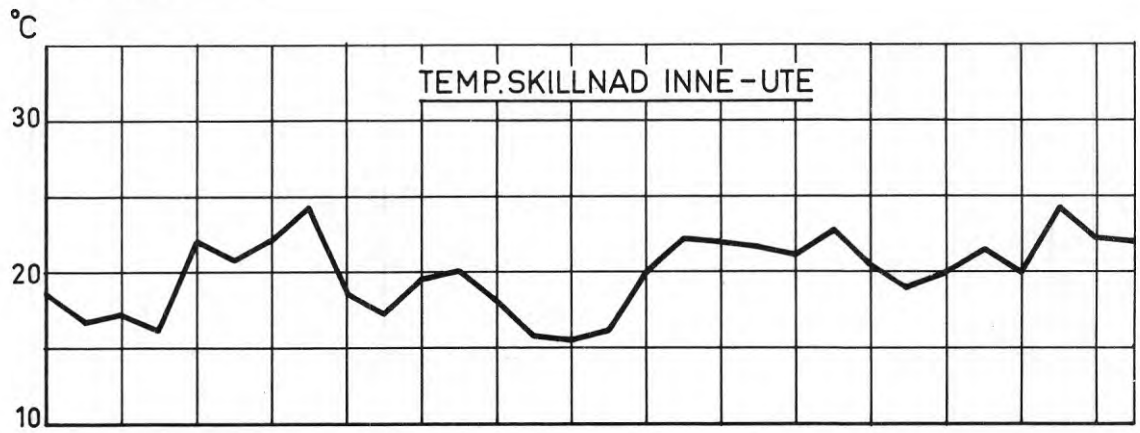
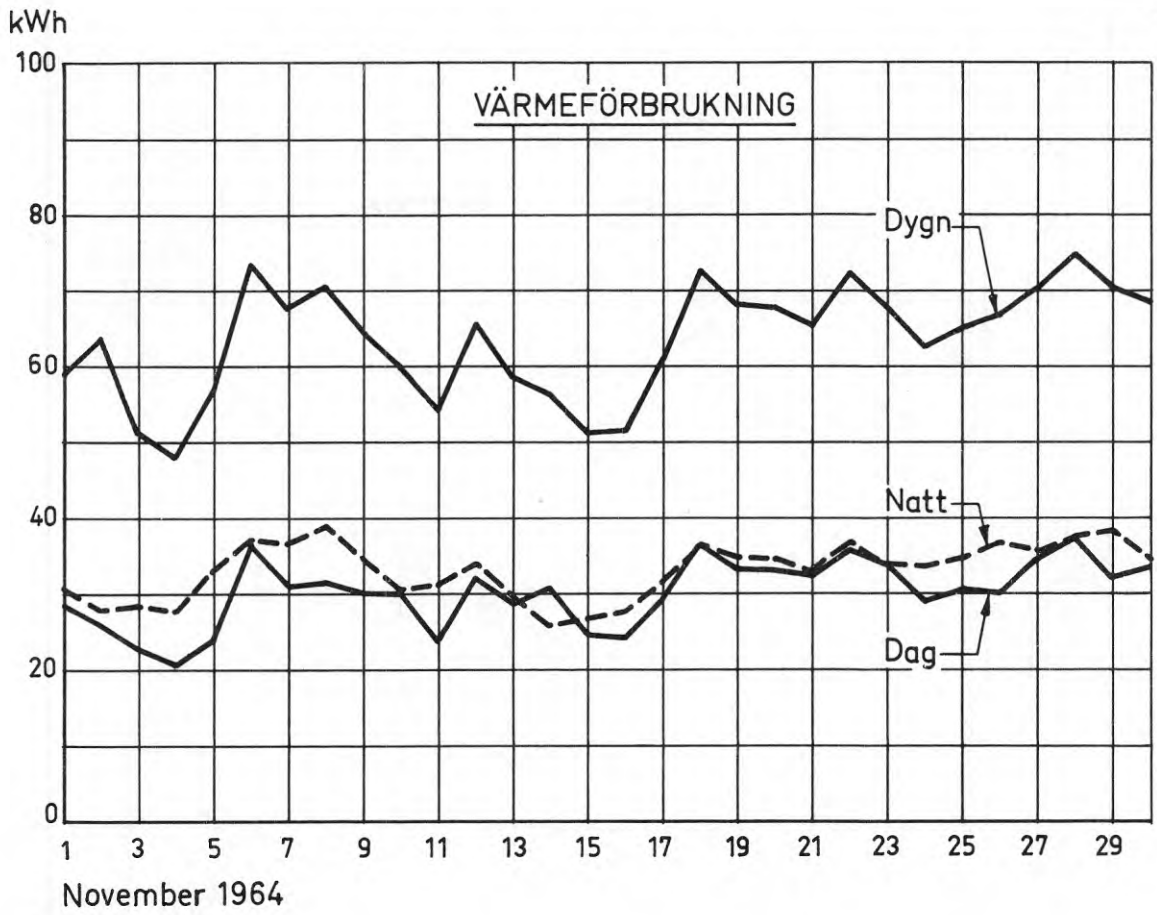


FIG. 48.

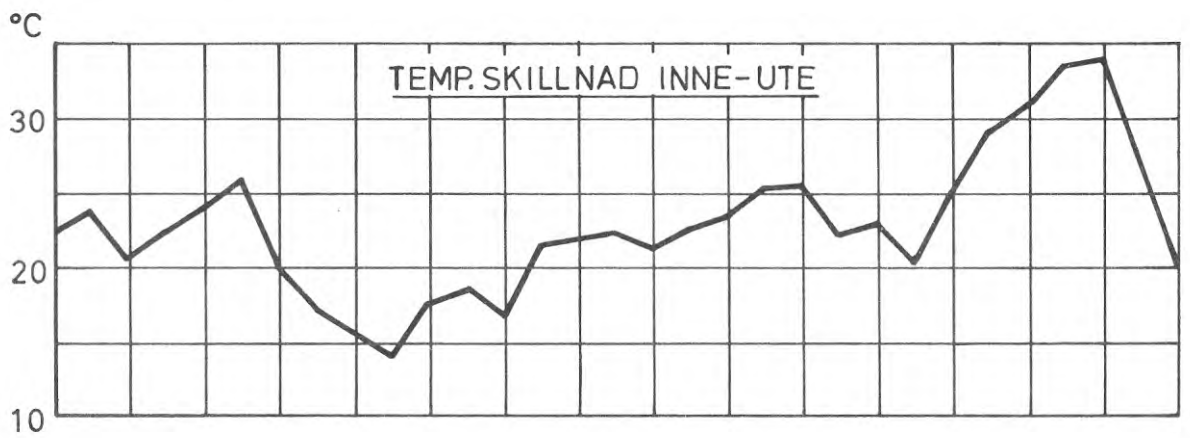
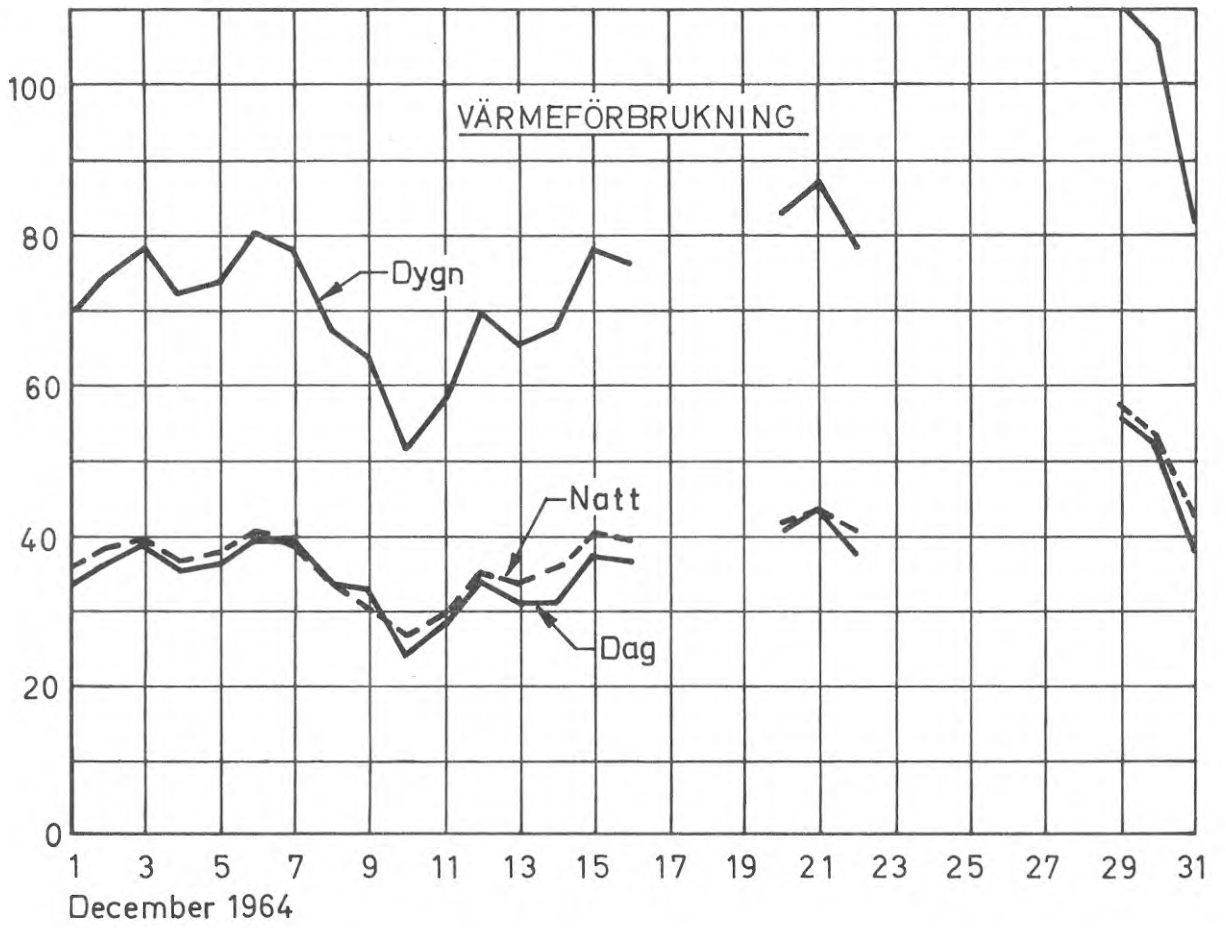


FIG. 49.

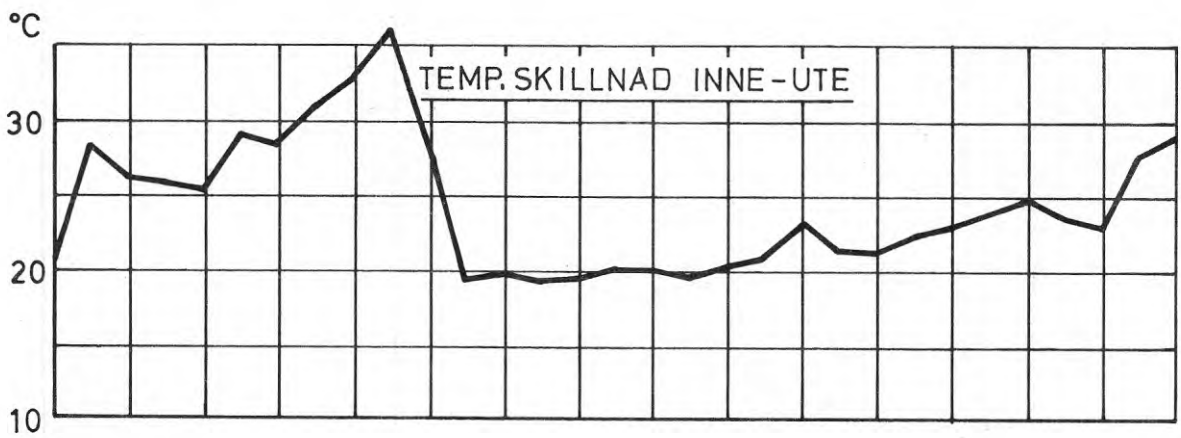
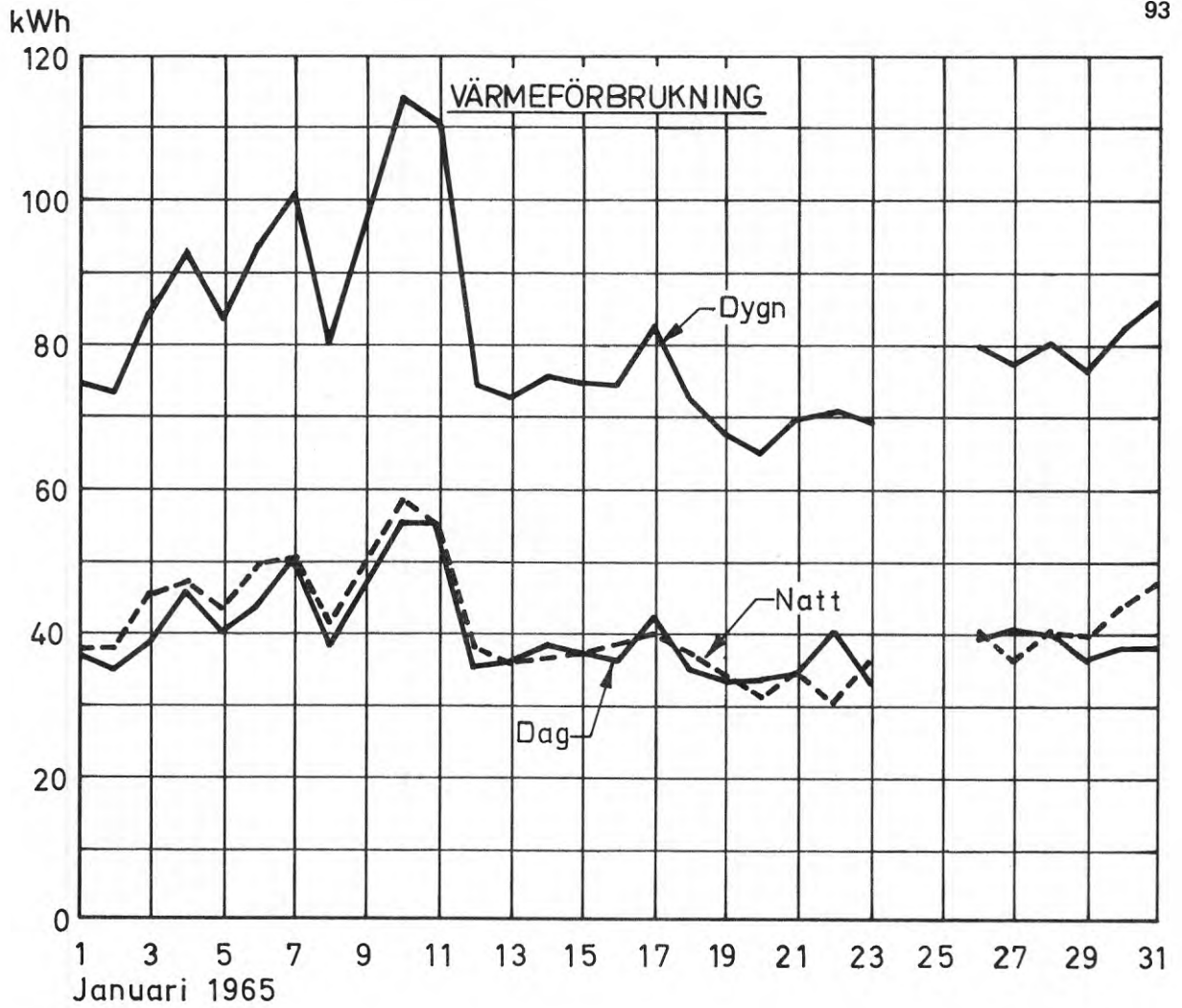


FIG. 50.

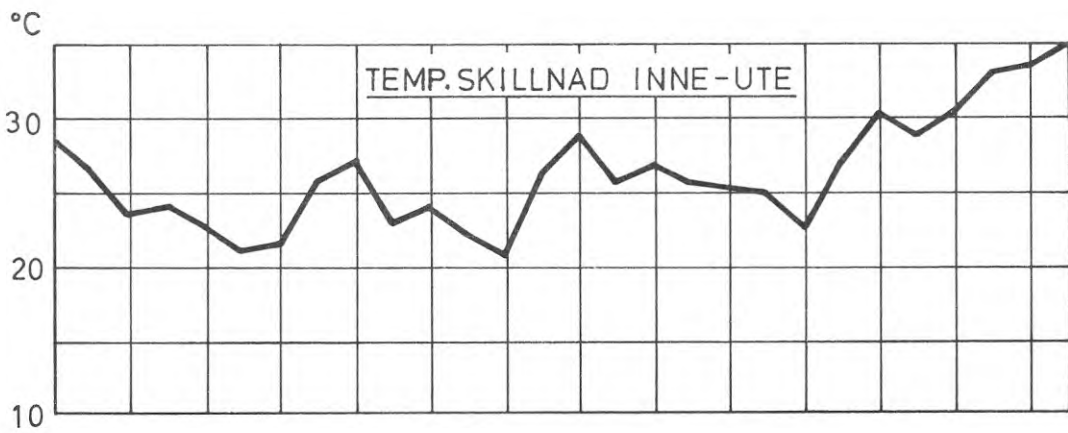
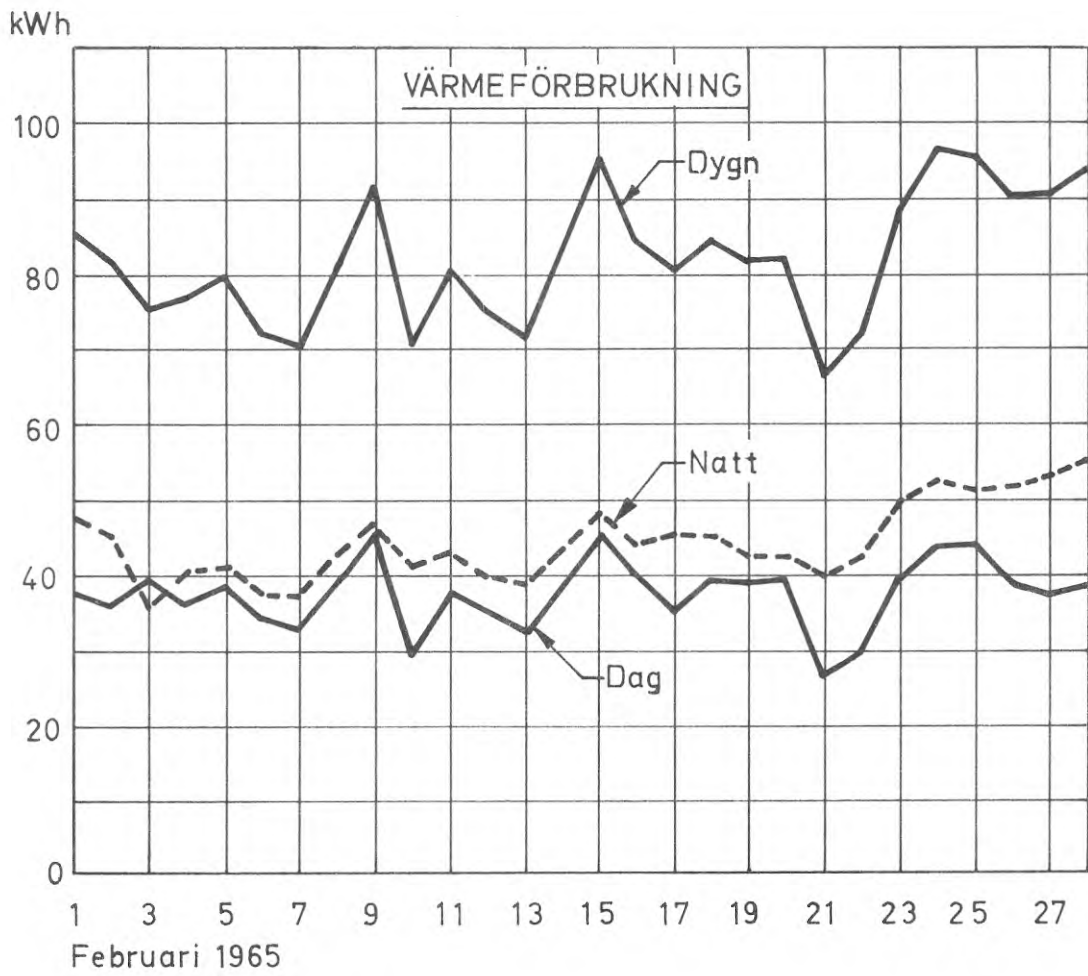


FIG. 51.

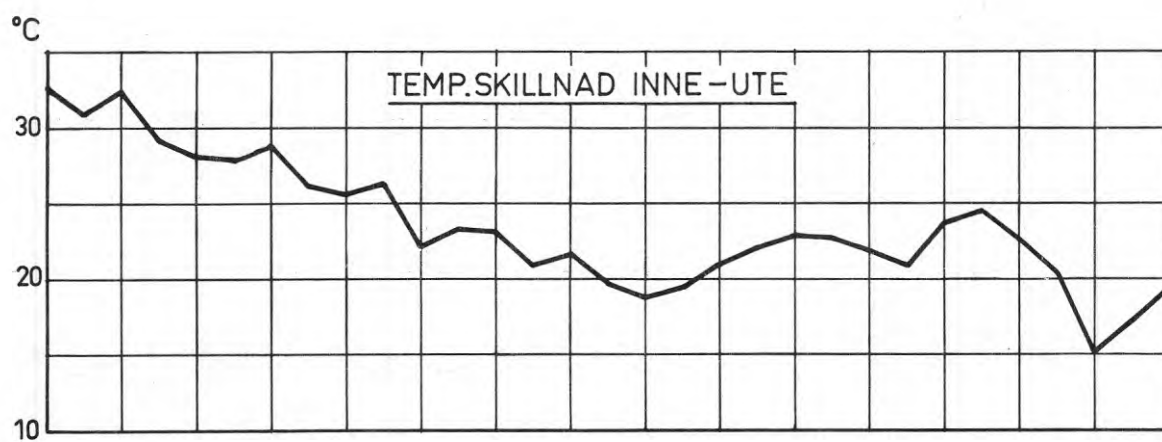
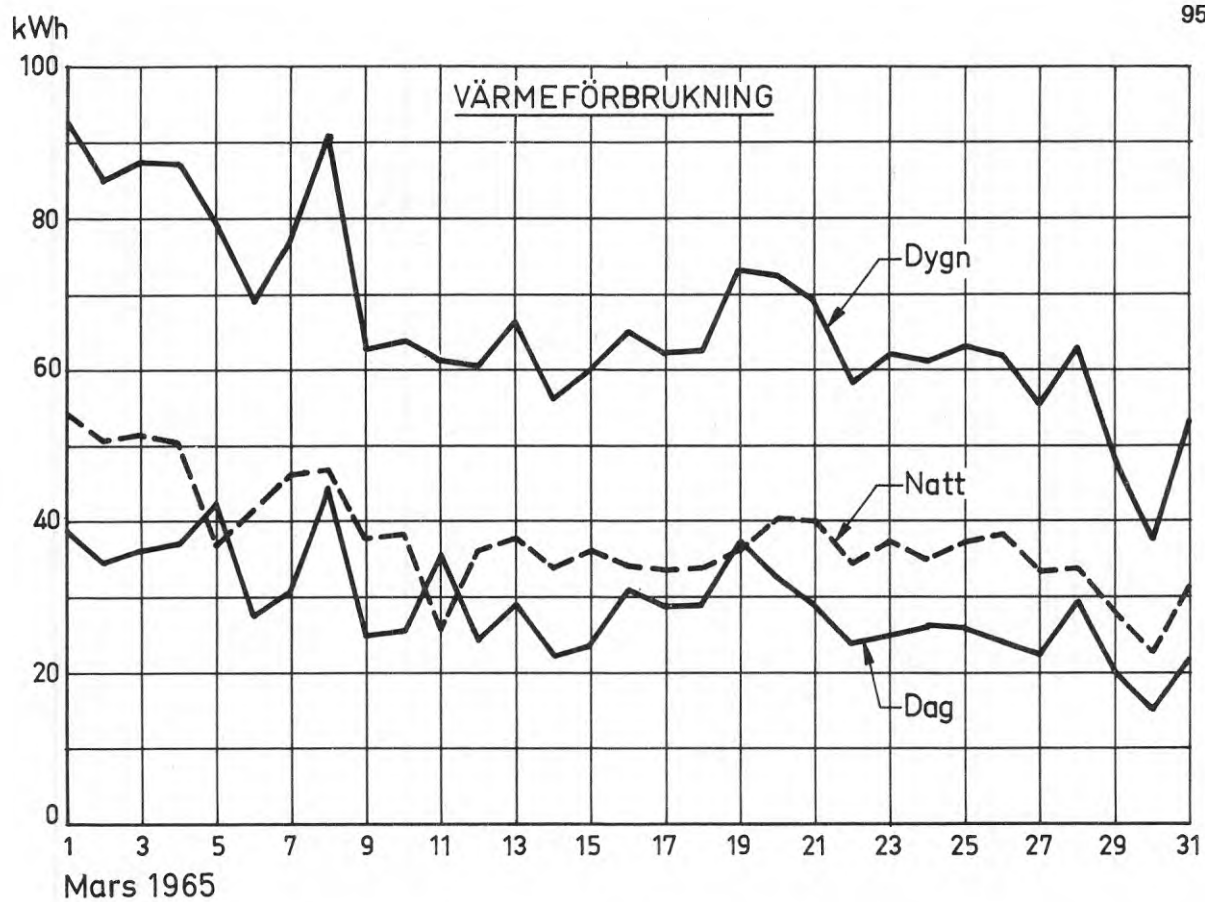
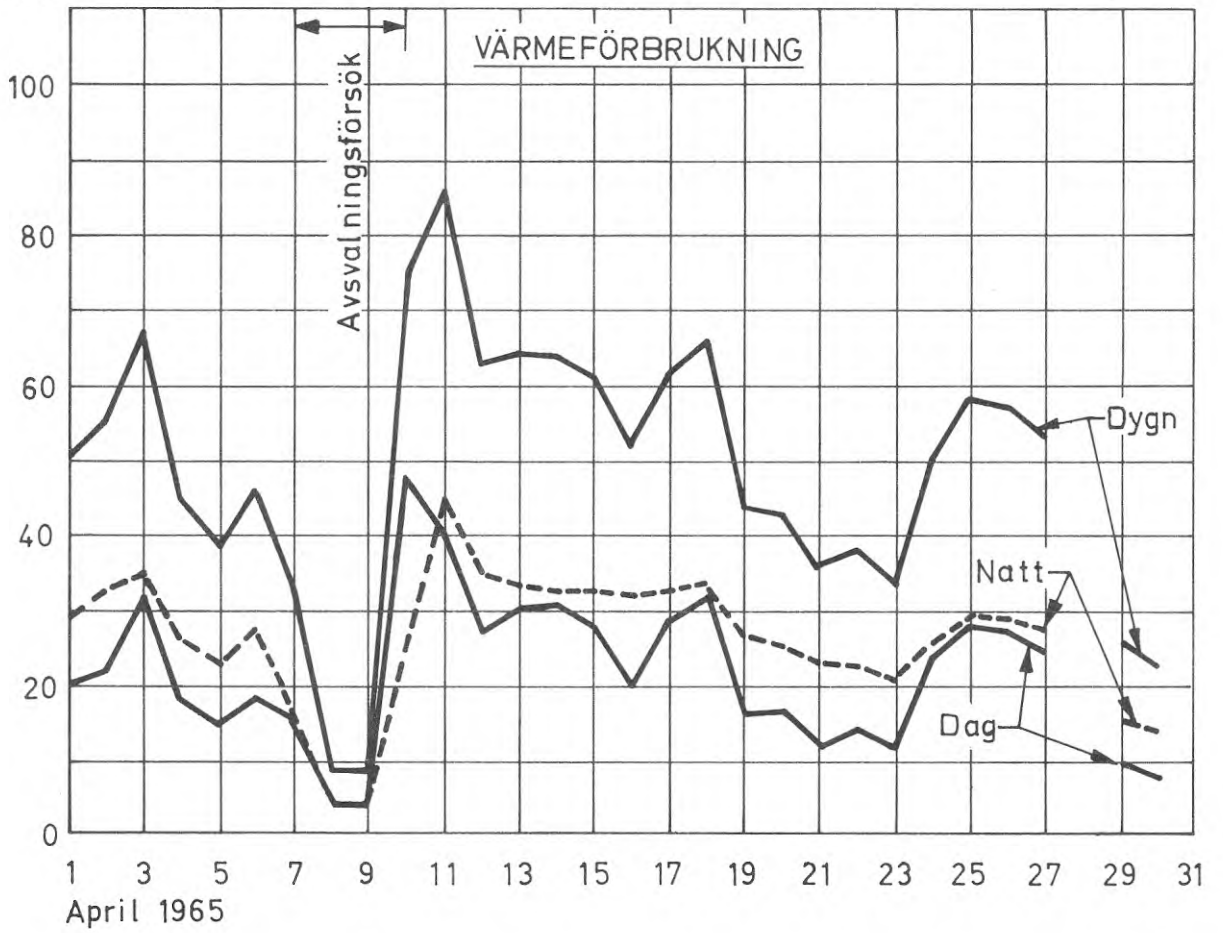


FIG. 52.

kWh



°C

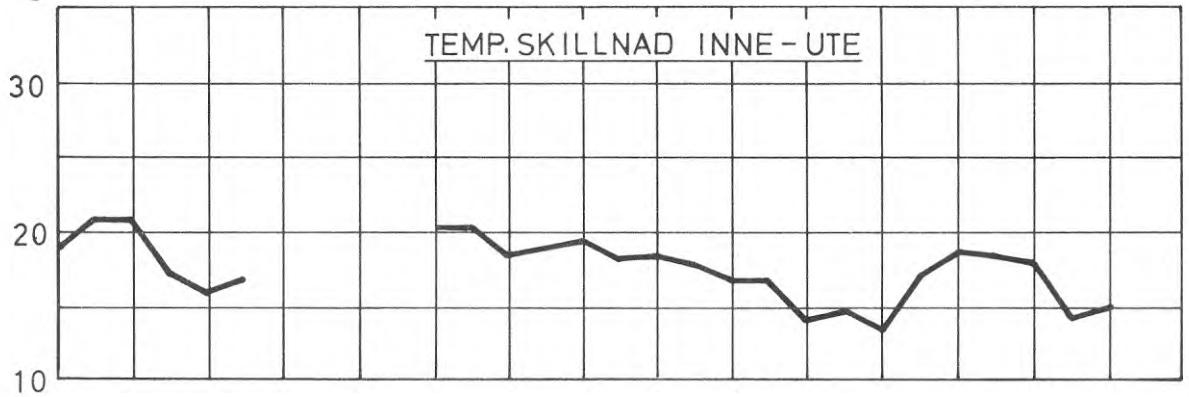
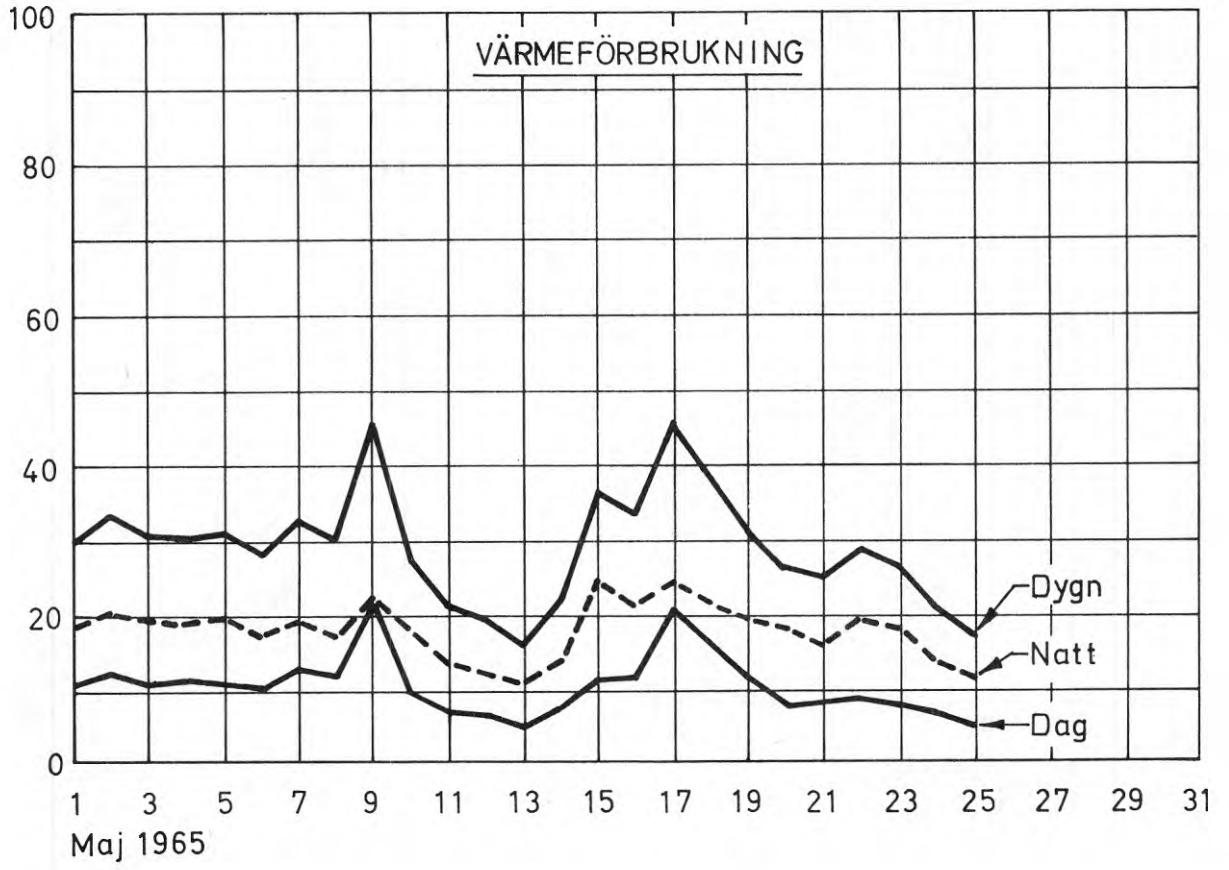


FIG. 53.

kWh



°C

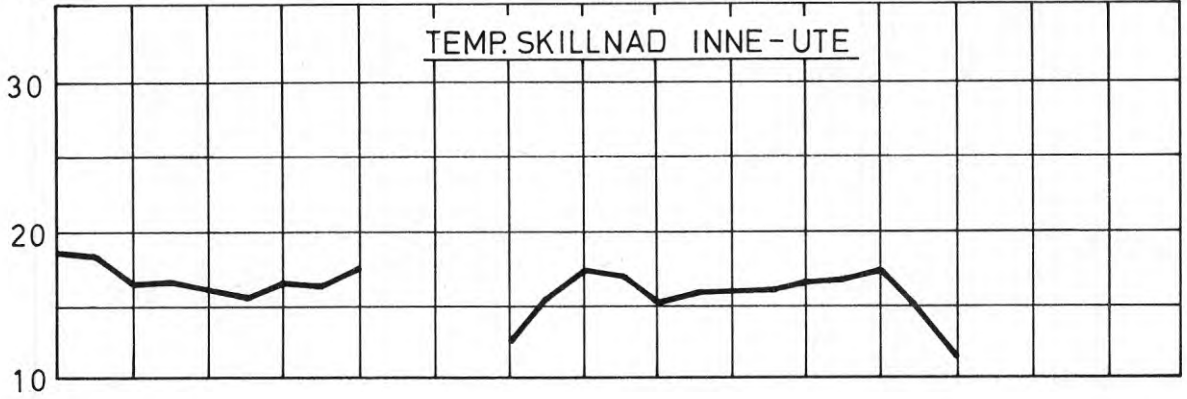


FIG. 54.

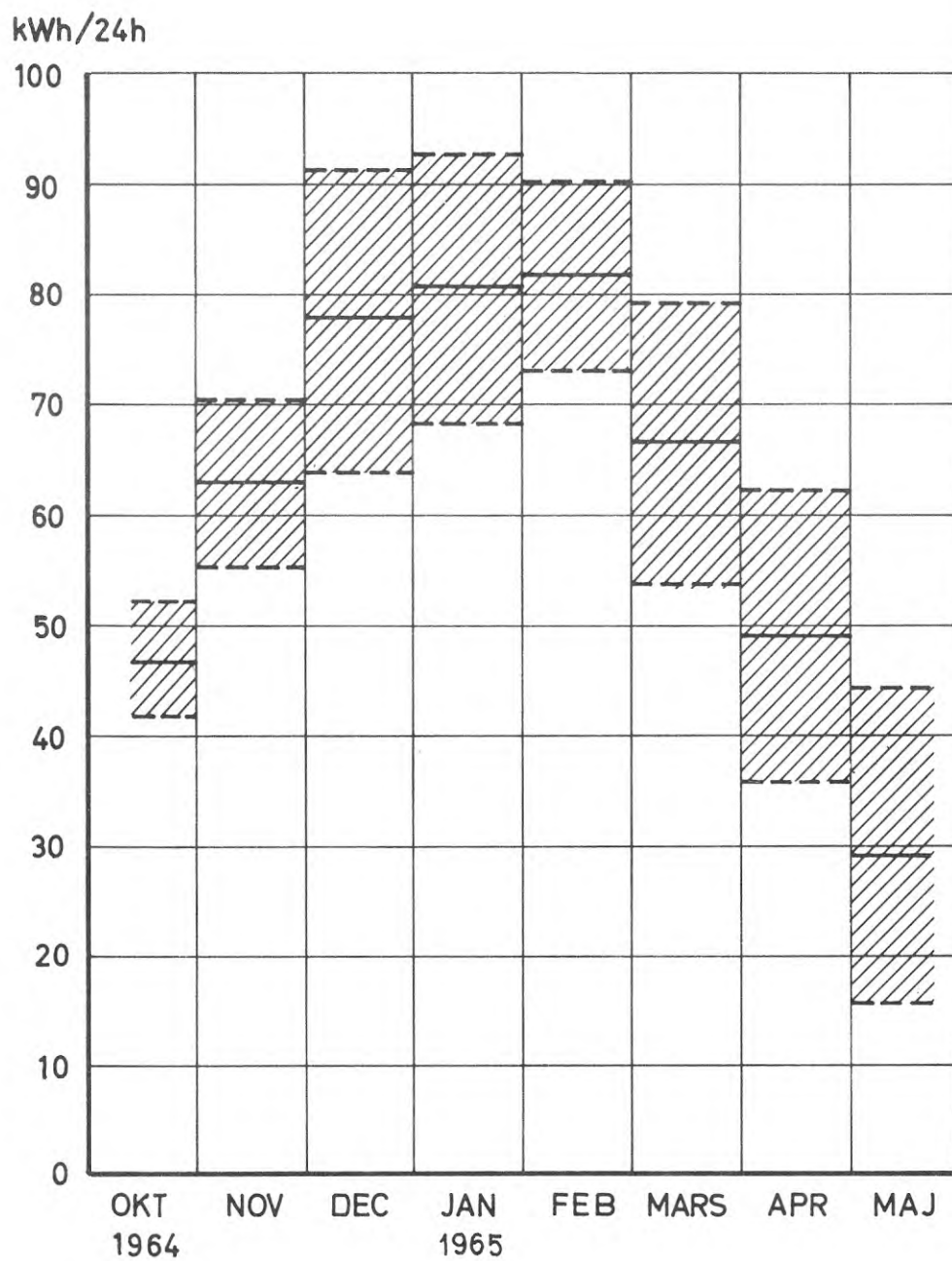


FIG. 55. Värmeförbrukningen i regelhuset under eldningssäsongen 1964-1965, dygnsmedelförbrukning under resp. månad jämte övre och undre spridningsgränser.

Som framgår av FIG. 47-54 beror värmeförbrukningen som väntat starkt på temperaturskillnaden ute-inne. Man finner att kurvorna för temperaturskillnaden ute-inne och värmeförbrukningen i stort sett följer varandra ganska väl under den mörkaste delen av året. Vid några tillfällen är kurvorna emellertid något förskjutna i förhållande till varandra. Under hösten och våren har dock följsamheten mellan temperaturskillnad och värmeförbrukning varit sämre. Detta beror naturligtvis på solinstrålningens inverkan som under våren och hösten reducerat värmebehovet.

I TAB. 17 anges värmeförbrukningen uttryckt i dygnsmedelvärdet för varje månad, största och minsta värde under resp. månad samt spridningsgränser. Dessutom redovisas dygnsmedelvärmeförbrukningen per grad temperaturskillnad inne-ute. Om temperaturskillnaden ute-inne vore tillräcklig - förutom uppgifter om konstruktionsdata - för att bestämma värmeförbrukningen borde värmeförbrukningen per dygn och °C vara konstant under året. Så har emellertid inte varit fallet. Den största värmeförbrukningen per °C har förekommit under december månad som inte varit den kallaste, men haft lägsta antalet soltimmar. Under den kallaste månaden - februari - har värmeförbrukningen per °C varit lägre än t. o. m. i november. Det framgår också att värmeförbrukningen per °C i april varit större än under mars, vilket överensstämmer med det förhållandet att antalet soltimmar (TAB. 15) varit större under mars än under april. Den lägsta värmeförbrukningen per °C under försöksperioden har bestämts för maj månad.

Dessa resultat ger således en god uppfattning om solinstrålningens betydelse för värmeförbrukningen och visar att värmeförbrukningens storlek inte kan bestämmas enbart med kännedom om temperaturskillnaden inne-ute. Detta förhållande har också tidigare påvisats bl. a. genom regressionsanalys av sambandet mellan värmeförbrukning och temperaturskillnad inne-ute, antalet soltimmar samt vindhastighet. Se Höglund (1963).

Den bl. a. från eluppvärmningssynpunkt - med hänsyn till taxor och sammanlagringseffekt m. m. - intressanta frågan när under dygnet den största värmeförbrukningen förekommer belyses något av TAB. 18. I denna redovisas dels värmeförbrukningen under dagen (kl. 06-18) resp. under natten (kl. 18-06), dels kvoten mellan dessa förbrukningar. Under november, december och januari har dag- och nattförbrukningen varit i det närmaste lika stora. Under de övriga månaderna har däremot dagförbrukningen betydligt understigit nattförbrukningen. Under första hälften av mars har dagförbrukningen varit endast ca 70 % av nattförbrukningen. Detta beror på att det under denna årstid ofta är mycket klart väder, vilket förutom en betydande solinstrålning under dagen också medför en mycket kraftig nettoutstrålning under natten med stora värmeförluster och även låga utetemperaturer som följd. Se även Höglund (1963). I bebodda hus kan den beräknade kvoten förväntas förskjutas något eftersom lägre rumstemperaturer vanligen accepteras nattetid. Detta skulle möjligen innebära att skillnaden mellan dag- och nattförbrukning skulle bli ringa utom under vår- och höstmånaderna. Det bör också framhållas att om den positiva effekten av solinstrålningen skall kunna tillvaratas får inte värmesystemet

TAB. 17. Bestämda värmeförbrukningar i regelhuset.

Mätperiod	Antal dygn	kWh/24 h				W _{uppm}	kWh 24h · °C	kWh 24h · °C · m ²	kWh 24h · °C · m ³	
		Min	$\bar{Q}-s$	\bar{Q}	$\bar{Q}+s$ Max					
1964 okt.	15-31	17	40,5	41,8	47,1	52,4	58,4	2,92	0,0122	
nov.	1-30	30	48,1	55,3	62,9	70,5	74,8	3,17	0,0132	
dec.	1-31	31	51,5	64,2 ⁽¹⁾	77,8	91,4 ⁽¹⁾	110,5	3,41	0,0142	
1965 jan.	1-31	31	65,0	68,3 ⁽²⁾	80,5	92,7 ⁽²⁾	113,9	3,33	0,0139	
febr.	1-28	28	66,7	73,2	81,7	90,2	96,7	3,11	0,0130	
mars	1-31	31	37,7	53,8	66,4	79,0	92,7	2,85	0,0119	
april 1-6 och 12-30 ⁽³⁾	25	1223	33,9	35,6	48,9	62,2	85,9	3,01	0,0301	
maj	1-25	25	722	16,3	-	28,9	-	45,5	1,77	0,0177
									0,0074	

Ytan A = 100 m²
 Rumshöjden h = 2,4 m
 Husets volym V = 240 m³
 $\frac{\text{Fönsterarea brutto}}{\text{Total väggarea}} = 17,2\%$

Teckenförklaringar: W_{uppm} = uppmätt värmeförbrukning, totalt för den aktuella perioden

\bar{Q} = värmeförbrukning per dygn, medelvärden

s = standardavvikelse

ϑ_r = innelufttemperatur

ϑ_u = utelufttemperatur

1 $\bar{Q}-s$ och $\bar{Q}+s$ beräknade för 22 dygn.

2 $\bar{Q}-s$ och $\bar{Q}+s$ beräknade för 29 dygn.

3 Mellan den 6 och 12 april har det varit uppehåll i värmeförbrukningen för att kunna genomföra ett s.k. avsvältningsförsök.

Anmärkingar:

TAB. 18. Värmeförbrukningen under dagen och under natten samt kvoten mellan dag- och nattförbrukning för varje 1/2 månad.

Mätperiod	Värmeförbrukning under dagen kl. 06-18		Värmeförbrukning under natten kl. 18-06		<u>Dagförbrukning</u> <u>Nattförbrukning</u>
	kWh		kWh		
Okt. 15-31	362,6		438,3		0,83
Nov. 1-15	417,3		469,8		0,89
	16-30	484,3	516,0		0,94
Dec. 1-15	512,6		530,1		0,97
	16-31	-	-		-
Jan. 1-15	634,4		662,9		0,96
	16-31	-	-		-
Febr. 1-15	549,1		635,4		0,87
	16-28	491,5	611,5		0,80
Mars 1-15	450,0		644,0		0,70
	16-31	417,5	545,8		0,76
April 1-15	355,3		406,1		0,88
	16-30	287,5	382,1		0,75
Maj 1-15	158,9		271,2		0,59
	16-25	105,0	186,4		0,56

TAB. 19. Antal timmar då temperaturen överstiger +22°C i regelhuset samt i förhållande till totala antalet timmar. Beträffande rumsnummer se FIG 1.

Månad	Rum 1		Rum 2		Rum 3		Rum 4		Rum 5		Rum 6		Rum 7	
	Antal tim.	%	Antal tim.	%	Antal tim.	%	Antal tim.	%	Antal tim.	%	Antal tim.	%	Antal tim.	%
Januari	2,7	0,4	9,9	1,3	10,3	1,4	14,3	1,9	8,2	1,1	6,7	0,9	12,4	1,7
Februari	0,7	0,1	-	-	26,0	3,9	46,1	6,9	-	-	-	-	-	-
Mars	15,7	2,1	0,5	0,1	139,4	18,7	159,6	21,5	5,2	0,7	-	-	-	-
April	61,3	10,7	14,1	2,5	106,2	18,6	112,1	19,6	20,5	3,6	-	-	-	-

Anm. Övertemperaturerna i januari beror till huvudsaklig del på störningar i samband med studiebesök och luftomsättningsmätningar.

Endast rum 3 och 4 har fönster rakt mot söder.

Under tiden oktober - december 1964 har övertemperaturer förekommit endast i obetydlig utsträckning.

ha alltför stor tröghet. Värmesystemet får alltså inte fortsätta avge värme sedan behovet täckts av solenergin. Om så sker kan besvärande övertemperaturer erhållas. Under vissa tider har värmertilskottet p. g. a. solstrålning varit så stort att även i regelhuset temperaturen inomhus har stigit över önskade $+22^{\circ}\text{C}$. Hur stor del av försökstiden temperaturen i de olika rummen varit högre än $+22^{\circ}\text{C}$ redovisas i TAB. 19. Betydande övertemperaturer har endast förekommit i rum 3 och 4 (dvs. ett sovrum och vardagsrum) som har förhållandevis stora fönsterytor mot sydliga väderstreck. (Beträffande rumsnumrering se FIG. 1.)

I FIG. 56 har energiförbrukningen beräknats som dygnsmedelvärden för resp. månad och per grad temperaturskillnad inneute. Energiförbrukningen har därvid varit högst i december och januari och avtagit mot våren. Dvs. det åtgår inte lika mycket energi på våren för att klara motsvarande uppvärmning som under vintern. I figuren redovisas också antal soltimmar och medelvindhastigheter för resp. månad. Medan man inte kan utläsa något direkt samband mellan vindhastighet och energiförbrukning är sambandet mellan den senare och antalet soltimmar desto bättre - ju fler soltimmar desto mindre energiförbrukning.

Solinstrålningen har också olika effekt på olika orienterade rum. För att belysa detta har värmeförbrukningen i två ungefär lika stora hörnrum (nr 3 och 6) jämförts, se FIG. 57. Det ena rummet (rum nr 3) ligger åt sydost och har fönster enbart i söderväggen, medan det andra ligger åt nordväst med fönster enbart i norrväggen. I TAB. 20 redovisas värmeförbrukningen månad för månad i de två rummen liksom några karaktäristika för dem. Söderrummet har något större omslutande ytor - såväl golv och tak som väggar. Fönsterytan är drygt 50 % större i söderrummet än i norrummet. Under vintern har värmeförbrukningen i söderrummet varit betydligt större än i norrummet - nämligen 32 % större under december och januari. Under mars och april har den däremot varit lägre i söderrummet än i norrummet. I april har värmeförbrukningen i söderrummet således endast uppgått till 91 % av den i norrummet. Detta visar återigen solinstrålningens stora betydelse under framför allt hösten och våren. Det indikerar också att rum som ligger i olika väderstreck nödvändigtvis måste ha separat reglering av värmertilförseln om samma temperatur eftersträvas i alla rum.

6.5 Fönstrens värmebalans

Fönstrens värmegenomgångstal beräknade med hänsyn till värmetransmissionen är höga, jämfört med t. ex. en ytterväggs. En betydande värmemängd tillförs emellertid byggnaden genom fönstren som visats i det föregående. Hänsyn härtill bör tas vid bedömning av fönstrens inverkan på årsvärmebehov resp. behov av installerad värmeeffekt. För beräkning av en byggnads erforderliga uppvärmningseffekt kan inte solen p. g. a. molnighet förväntas ge något värmertilskott. De värmegenomgångstal som enbart tar hänsyn till transmissionsförlusterna bör då användas. Vid kalkylering av det årliga värmebehovet måste en reduktion av de beräknade transmissionsförlusterna göras eftersom solvärmeinläckningen ger ett värmertilskott som inte kan försum-

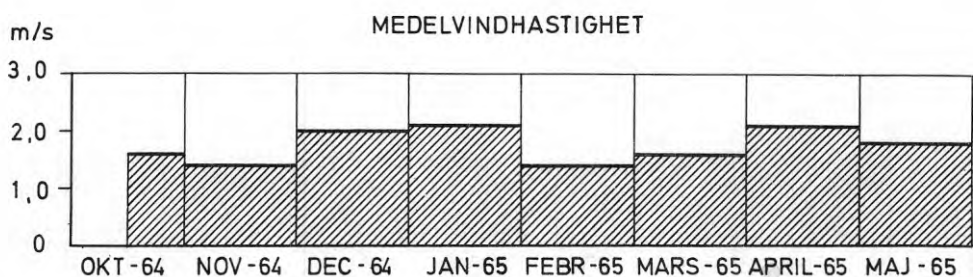
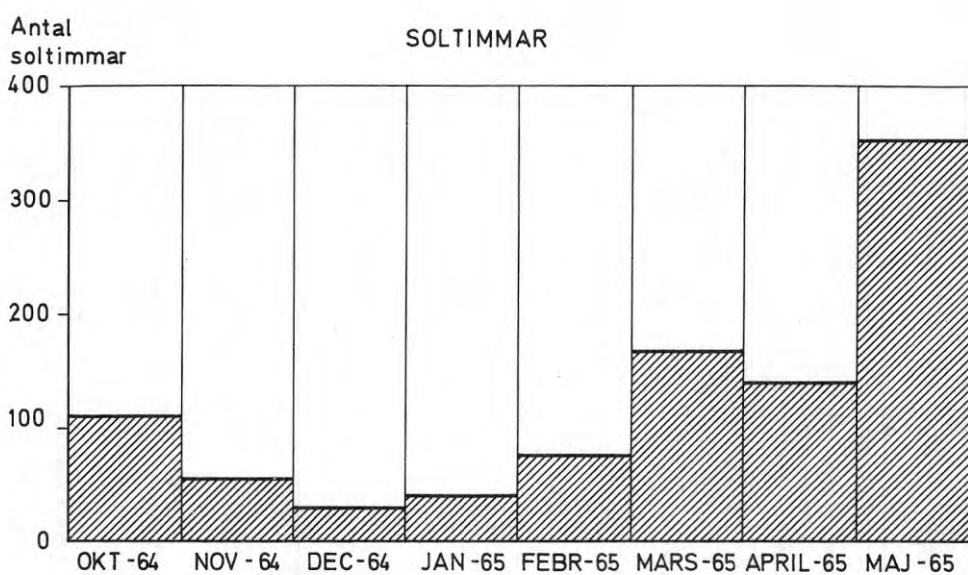
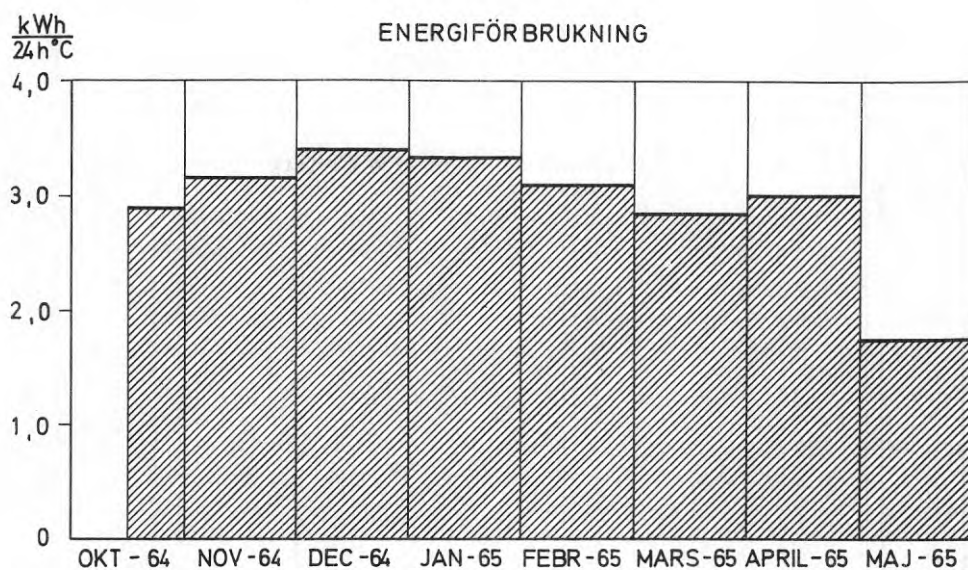


FIG. 56. I det övre diagrammet redovisas energiförbrukningen som dygnsmedelvärden för resp. månad och per grad temperaturskillnad inne-ute. I de undre diagrammen redovisas antalet soltimmar varje månad och medelvindhastigheten för resp. månad.

Om temperaturskillnaden inne-ute helt bestämde energiförbrukningen per grad borde denna vara konstant under året. Så har inte varit fallet utan energiförbrukningen har minskat under våren. Av figurerna framgår att det finns ett tydligt samband mellan energiförbrukningen och antalet soltimmar.

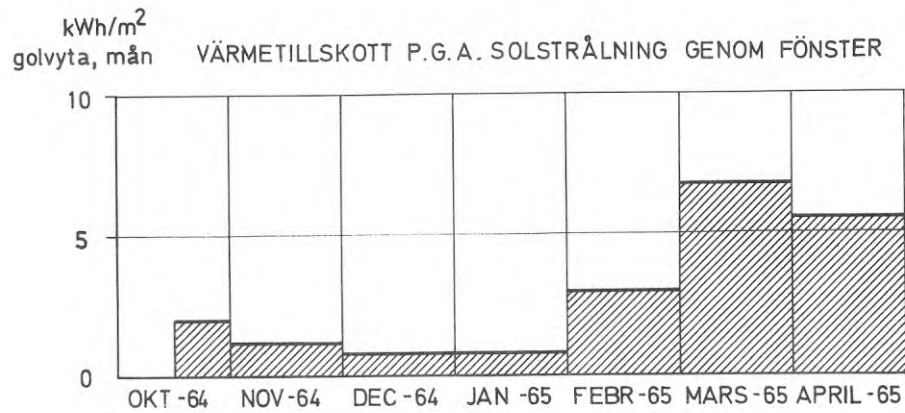
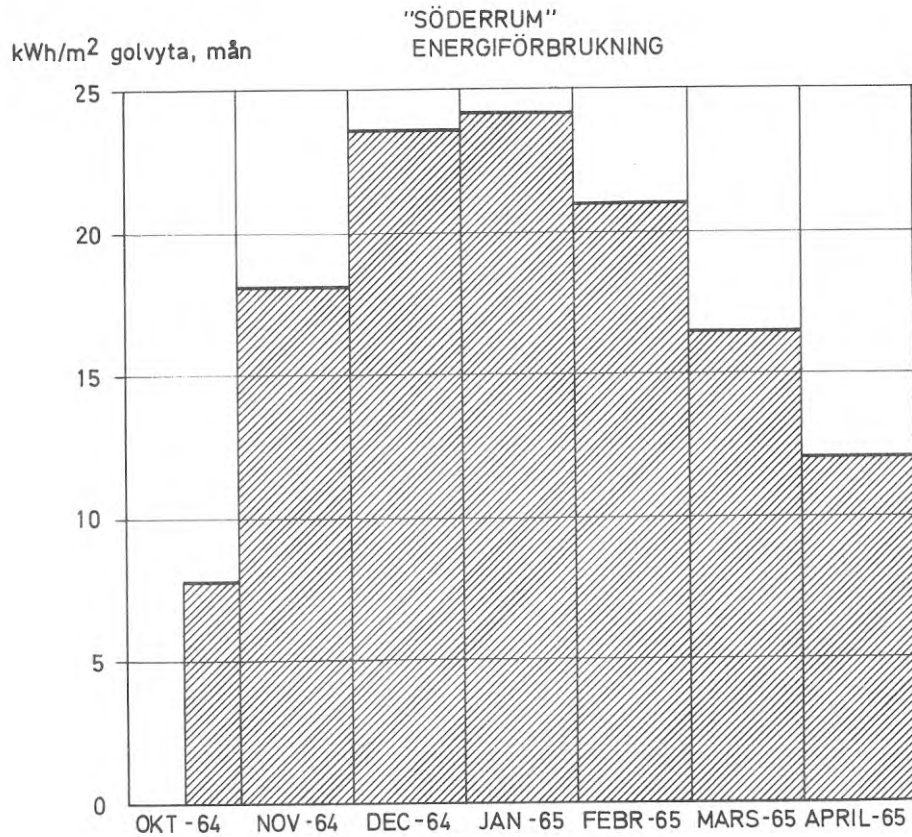


FIG. 57 a och b. Uppmätt energiförbrukning månadsvis i ett rum med söderfönster - FIG. 57 a - resp. ett rum med norrfönster - FIG. 57 b. Karaktäristika för rummen (som är i det närmaste lika stora) redovisas i TAB. 20b. För månaderna november och mars redovisas i diagrammet också beräknat värmetillskott p. g. a. solstrålning genom fönster till resp. rum.

Under november - februari har värmeförbrukningen varit betydligt större i söderrummet till följd av att detta har något större yta och drygt 50 % större glasyta än norrummet. Under mars och april har däremot solvärmeinläckningen varit så stor i söderrummet att värmeförbrukningen t. o. m. varit lägre i detta än i norrummet.

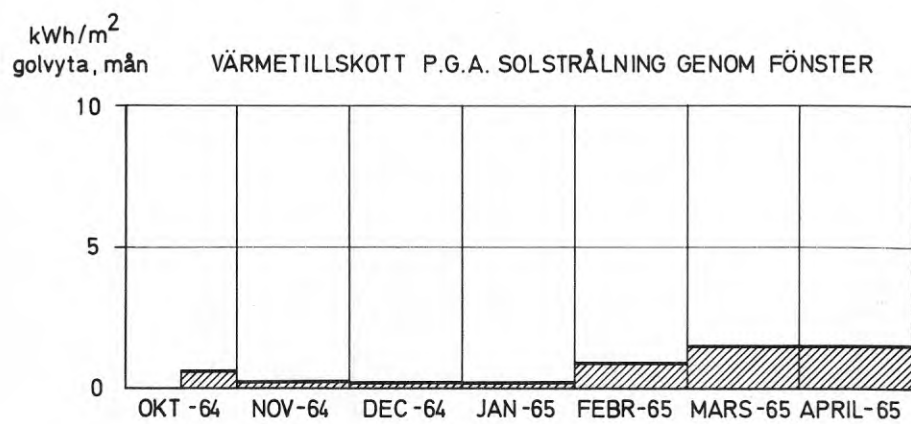
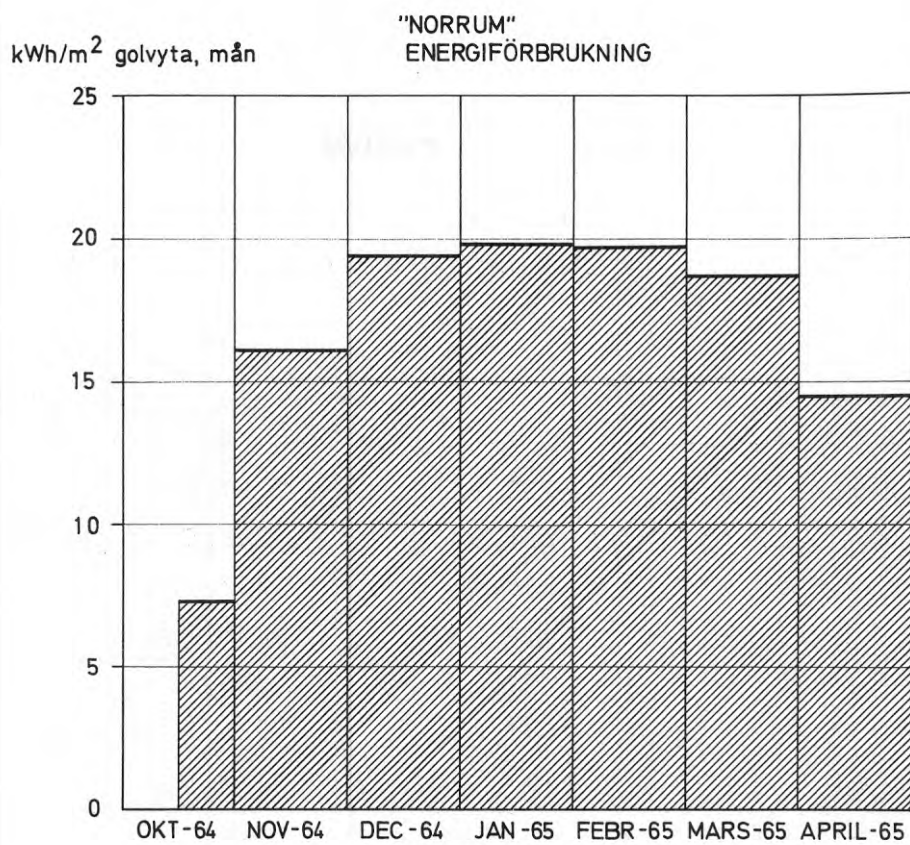


FIG. 57b.

TAB. 20a. Jämförelse mellan uppmätt värmeförbrukning i ett norrum och ett söderrum i regelhuset i Nälsta.

	Söderrum (3) kWh	Norrum (6) kWh	$\frac{\text{S-rum}}{\text{N-rum}} \cdot 100 \%$
1964 oktober 15-31	100,2	87,0	115
november "	235,6	192,5	122
december "	306,8	233,0	132
1965 januari "	314,3	238,2	132
februari "	272,0	226,9	120
mars "	217,2	225,0	96
april "	157,7	174,3	91
15 oktober 1964 - - april 1965	1603,8	1376,9	117

TAB. 20b. Karaktäristika för jämförelserummen.

	Golvnya, inre mått, m ²	Glasyta, m ²	Yttervägg inkl. fönster, inre mått, m ²
Söderrum	13,0	2,7 S	8,6 S + 8,6 Ö
Norrum	12,0	1,7 N	6,9 N + 9,7 V

mas. För att åskådliggöra sambandet mellan värmertilskott och värmeförluster under eldningssäsongens olika månader och för olika orienterade fönster kan ett "ekvivalent k-värde" beräknas. För regelhuset i Nälsta har "ekvivalenta k-värden" beräknats för månaderna november 1964 - april 1965. De har beräknats så att från på konventionellt sätt beräknade transmissionsförluster har dragits värmertilskott p. g. a. solinstrålning. Det k-värde som direkt skulle ha givit dessa nettoförluster är det "ekvivalenta" k-värdet. I detta fall har det ekvivalenta "k-värdet" beräknats som ett medelvärde för samtliga fönster i huset (8,7 m² glasyta åt söder, 4,7 m² åt norr och 3,4 m² åt öster). Se TAB. 21. Under december och januari reduceras k-värdet endast obetydligt av solinstrålningen - från 1,5 till 1,4 kcal/m²h⁰C. Under april däremot har värmeinläckningen varit praktiskt taget lika stor som värmeförlusterna p. g. a. transmissionen genom fönstren varför det "ekvivalenta" k-värdet då har beräknats bli nära noll.

Värmeinläckningens storlek varierar självfallet med väderstrecksorienteringen. TAB. 22. Fönstren i de olika fasaderna får därför olika "ekvivalenta" k-värden. För t. ex. mars 1965 har värmeinläckningen genom fönstren i de olika ytterväggarna räknat per m² glasyta under hela den relativt solrika marsmånaden uppgått till 14 kWh, 29 kWh och 44 kWh för resp. N-, Ö- och S-fönster, dvs. förhållandet är approximativt 1:2:3. Detta synes väl överensstämma med vad Höglund (1963) redovisar vid tidigare undersökningar i Skövde för norr- och söderfönster. Beräknas de ekvivalenta "k-värdena" för varje väderstreck under mars månad fås "k" = 0,6, 0,1 och -0,4 för N-, Ö- resp. S-fönster. Under mars har alltså i genomsnitt mer värme från solen tillförts byggnaden genom söderfönstren än vad som transmitterats ut genom desamma p. g. a. temperaturskillnaden inute.

6.6 Transmissionsförluster genom omgivande byggnadsytor

I föregående avsnitt har ingående redovisats bestämda värmemotstånd och beräknade värmegenomgångstal för de olika bygghedlarna. Dessa värden har utnyttjats för beräkning av transmissionsförlusterna i huset.

Utförliga beräkningar av transmissionsförlusterna genom alla omgivande byggnadsytor redovisas i bilagorna 1-6. I TAB. 23 har en sammanställning gjorts som visar den procentuella fördelningen av transmissionsförlusterna genom ytterväggar, fönster och dörrar, vindsbjälklag samt golvbjälklag månadsvis under försökstiden.

Av TAB. 23 framgår att transmissionsförlusterna genom fönster och dörrar har uppgått till närmare hälften av de totala transmissionsförlusterna trots att fönstren och dörrarna utgör bara en mindre del av de totalt omslutande ytterytorna. Ändå finns 3-glasfönster i detta hus, varför åtgärder vidtagits för att minska värmeförlusterna genom fönsterpartierna. I detta sammanhang erinras om att några tillslag till transmissionsförlusterna p. g. a. otätheter hos fönstren inte gjorts vilket stundtals tilläm-

TAB. 21. Fönstrens värmebalans under försöksperioden nov. 64 - april 65 (kWh). Det ekvivalenta k-värdet beräknas enligt

$$k_{\text{ekv}} = \frac{\Delta \bar{T} \cdot A \cdot t}{W_{t \text{ brutto}} - W_s}$$

	Nov.	Dec.	Jan.	Febr.	Mars	April
Värmeförluster, ¹⁾ $W_{t \text{ brutto}}$	629	745	785	770	712	400
Värmeinläckning på grund av solinstrålning, W_s	101	51	60	263	564	362
Netto värmeförluster, $W_{t \text{ netto}}$	528	694	725	507	148	38
"Ekvivalent" k-värde, k_{ekv}	1,3	1,4	1,4	1,0	0,3	0,1

¹ Vid beräkning av transmissionsförlusterna har antagits att k-värdet är 1,5 kcal/m²h°C.

TAB. 22. Värmeinläckning, kWh per m² glasyta, genom 3-glasfönster i Nälsta, månadsmedelvärden.

Månad	Värmeinläckning kWh/m ² glasyta, mån		
	Fönsterorientering		
	S (+36°)	N (-144°)	O (-54°)
1964 okt.	18,0	5,7	10,6
nov.	8,2	2,4	5,2
dec.	4,0	1,3	2,9
1965 jan.	3,9	2,1	4,5
febr.	19,5	9,0	15,3
mars	44,4	14,1	29,1
april	36,8	14,5	25,7

TAB. 23. Procentuell fördelning av transmissionsförlusterna på ytterväggar, fönster och dörrar, vindsbjälklag samt golvbjälklag under november 64 - april 65.

Månad		Transmissionsförluster genom			
		Ytterväggar	Fönster och dörrar	Vindsbjälklag	Golvbjälklag
		%	%	%	%
Nov.	1964	19,7	46,4	15,4	18,4
Dec.		19,6	47,2	15,0	18,3
Jan.	1965	19,9	47,2	14,5	18,7
Febr.		19,7	48,0	14,4	17,8
Mars		20,0	47,0	13,4	19,6
April		19,6	45,8	12,1	22,7

pas vid VVS-beräkningar.

Värmeförlusterna genom ytterväggarna har bara uppgått till ca en femtedel av de totala transmissionsförlusterna. Andelen genom vindsbjälklaget har varit synnerligen liten vilket beror på att isolergraden hos vindsbjälklaget är ovanligt hög. En tolkning av resultaten så att isolergraden hos ytterväggar och andra omslutande ytterytor än fönster och dörrar är betydelselös för värmekonomin ligger därför nära till hands eftersom värmeförlusterna genom fönstren är så stora och dominerande. Detta skulle dock vara en grov feltolkning. Det är just på grund av att väggar och bjälklag har en för resp. konstruktionstyp i det närmaste optimal isolergrad som denna fördelning erhållits. Riskerna med att ensidigt studera fördelningen av transmissionsförlusterna på omgivande byggnadsytor bör därför beaktas vid bland annat s.k. ekonomisk dimensionering av isolertjocklekar. Detta problem kan inte förenklas till att t. ex. ange generella k-värdeskrav för en hel byggnad. I stället måste dimensioneringen göras så att den optimala isolergraden beräknas för varje konstruktion och byggnadsdel för sig.

Den i TAB. 23 visade fördelningen av transmissionsförlusterna är inte konstant från månad till månad. Andelen genom vindsbjälklaget minskar under vårmånaderna medan andelen genom golvbjälklaget tenderar att öka. Yttertaket absorberar solstrålningens energi vilket främst under våren resulterar i en förhöjd vindstemperatur och följaktligen mindre värmeförluster genom vindsbjälklaget. I marken sker en magasinering av värme p.g.a. dennas stora värmekapacitet, vilket medför en fördröjning av värmetransporten genom golvbjälklaget i förhållande till temperaturförändringarna under året. Under hösten blir därför värmeförlusterna genom golvet relativt sett mindre och på våren större än vad som motsvaras av de aktuella utetemperaturerna.

6.7 Ventilationsförluster orsakade av luftväxling inne-ute

Bestämmande för ventilationsförlusternas storlek är antalet luftomsättningar vilket i det föregående visats bero på såväl vindhastigheten ute som temperaturskillnaden inne-ute. Genom regressionsanalys har därvid olika samband beräknats för inverkan av dels enbart vindhastigheten dels vindhastigheten och temperaturskillnaden inne-ute ($n = 0,39 + 0,073 v$ resp. $n = 0,15 + 0,012\Delta\vartheta + 0,077 v$). I TAB. 24 redovisas de beräknade värmeförlusterna enligt båda dessa samband. Det enklare sambandet ger i jämförelse med det mera komplicerade något större värmeförluster under höst och vår. Under de kallaste månaderna blir däremot förlusterna något mindre vid beräkning enligt den enklare metoden. Vid beräkningen av värmebalansen har endast värden enligt det mera komplicerade sambandet använts.

Värmeförlusterna på grund av ventilation har varit högst betydande, TAB. 24. Ventilationsförlusterna tenderar att bli störst när det är som kallast ute vilket beror dels på att det åtgår mera energi för uppvärmning av den kallare ventilationsluften dels på att antalet luftomsättningar har visat sig bli större när

TAB. 24. Värmeförluster på grund av ofrivillig ventilation.

Mätperiod		Vindhastighet \bar{v} m/s	Temp-skillnad ute-inne $\Delta \bar{\vartheta}$ °C	Oms/h ¹⁾		Värmeförluster 2)	
				n_1	n_2	W_{v1} kWh	W_{v2} kWh
1964 okt.	15-31	1,6	16,2	0,51	0,46	291	262
nov.	1-30	1,4	20,0	0,49	0,50	608	621
dec.	1-31	2,0	22,9	0,54	0,57	793	838
1965 jan.	1-31	2,1	24,2	0,54	0,60	839	932
febr.	1-28	1,4	26,3	0,49	0,57	747	869
mars	1-31	1,6	23,5	0,51	0,55	769	829
april	1- 6, 12-30	2,1	18,2	0,54	0,53	508	499

¹ Antalet luftomsättningar per timme har beräknats enligt

$$n_1 = 0,39 + 0,073 v$$

$$n_2 = 0,15 + 0,012 \Delta \bar{\vartheta} + 0,077 v$$

² Värmeförlusterna beräknade enligt

$$W_{v1} = 0,31 \cdot n_1 \cdot V \cdot \Delta \bar{\vartheta} \cdot t \cdot 1,16 \text{ kWh}$$

$$W_{v2} = 0,31 \cdot n_2 \cdot V \cdot \Delta \bar{\vartheta} \cdot t \cdot 1,16 \text{ kWh}$$

TAB. 25. Sammanställning av beräknade värmeförluster och värmetillskott. Differens mellan uppmätta och beräknade värden (kWh).

Art	Period	Nov. 64	Dec. 64	Jan. 65	Febr. 65	Mars 65	April 65 ¹⁾
Transmissionsförluster (W_t)		1544	1802	1909	1828	1852	1001
Ofrivillig ventilation (W_v)		621	838	932	869	829	499
Totala värmeförluster (W_{tot})		2165	2640	2841	2697	2681	1500
Värmeinläckning på grund av solstrålning (W_s)		101	51	60	263	564	362
Beräknad värmeförbrukning (W_{ber})		2064	2589	2781	2434	2117	1138
Uppmätt värmeförbrukning (W_{uppm})		1887	2413	2495	2288	2057	1223
$W_{ber} - W_{uppm}$		177	176	286	146	60	-85
$\frac{W_{ber} - W_{uppm}}{W_{uppm}} \cdot 100$		9,4	7,3	11,5	6,4	2,9	-7,0

¹ Avser tiden 1-6 och 12-30 april 1965.

utetemperaturen är lägre (under förutsättning att vindhastigheten är oförändrad). Detta förhållande påverkar dimensioneringen av det maximala värmebehovet. Praktiskt kan t. ex. de stora värmeförlusterna p. g. a. ventilation vid låga utemperaturer leda till att en i och för sig normal och även önskvärd luftväxling kan ge upphov till drag.

Absolut sett utgör värmeförlusterna p. g. a. ventilation en mycket stor post i värmebalansen. Vid de försöksbetingelser som gällt vid provhuset med varje rum tillstängt kan ventilationen ha varit något mindre än vad ventilationsbestämningarna visat. Dessa har ju nämligen gjorts med alla innerdörrar öppna för att i första hand erhålla representativa bestämningar avseende normalt boende. De bestämda ventilationsförlusterna kan därför vara något för stora eftersom man erhåller större luftmotstånd vid stängda dörrar.

6.8 Jämförelse mellan uppmätt energiförbrukning och beräknade värmeförluster samt värmetillskott

Beräknade värmeförluster och värmetillskott samt uppmätt energiförbrukning har sammanställts månadsvis för november 1964 - april 1965 i TAB. 25 och FIG. 58. Dessutom anges differensen mellan beräknad och uppmätt energiförbrukning - den s. k. restposten. Som framgår såväl av tabellen som av FIG. 58 är restposten relativt liten - den största avvikelsen från uppmätt energiförbrukning är 11,5 % för januari månad. För att kunna göra en närmare analys av värmebalansen måste orsakerna till restposten närmare studeras.

Som inledningsvis framhållits är värmebalansen sammansatt av fyra huvudposter - transmissionsförluster, ventilationsförluster, solinläckning och energiförbrukning - var och en bestämda med viss felmarginal.

Värmeförlusterna p. g. a. transmission består av flera delposter t. ex. förluster genom fönster, dörrar, golv, väggar, tak och köldbryggor. Värmeflöden har bestämts genom väggar och tak samt under viss del av försöksperioden även genom golv. Under mars och april saknas tyvärr registreringar av värmeflödet genom golv varför extrapolering måst företas. Då golvkonstruktionen inkl. den underliggande marken har stor värmekapacitet fås en stor fördröjning av värmetransporten genom golvet i förhållande till klimatförändringarna utomhus. Att utan direkta mätningar exakt bestämma inverkan av denna fördröjning medför vissa osäkerheter. Hänsyn har emellertid så långt möjligt tagits till fördröjningen vid extrapoleringen. Under april har dygnsmedeltemperaturen utomhus dock stigit betydligt mer än under t. ex. mars varför extrapoleringen för april kan ha blivit osäkrare än för mars. Det kan därför vara möjligt att värmeförlusterna genom golvet beräknats något för lågt under april. Dessutom har under månaden ett avbrott i det ordinarie försöksprogrammet gjorts för ett s. k. avsvalningsförsök (ej redovisat i denna rapport) vilket har inverkat störande i synnerhet för värmetransporten genom golv.

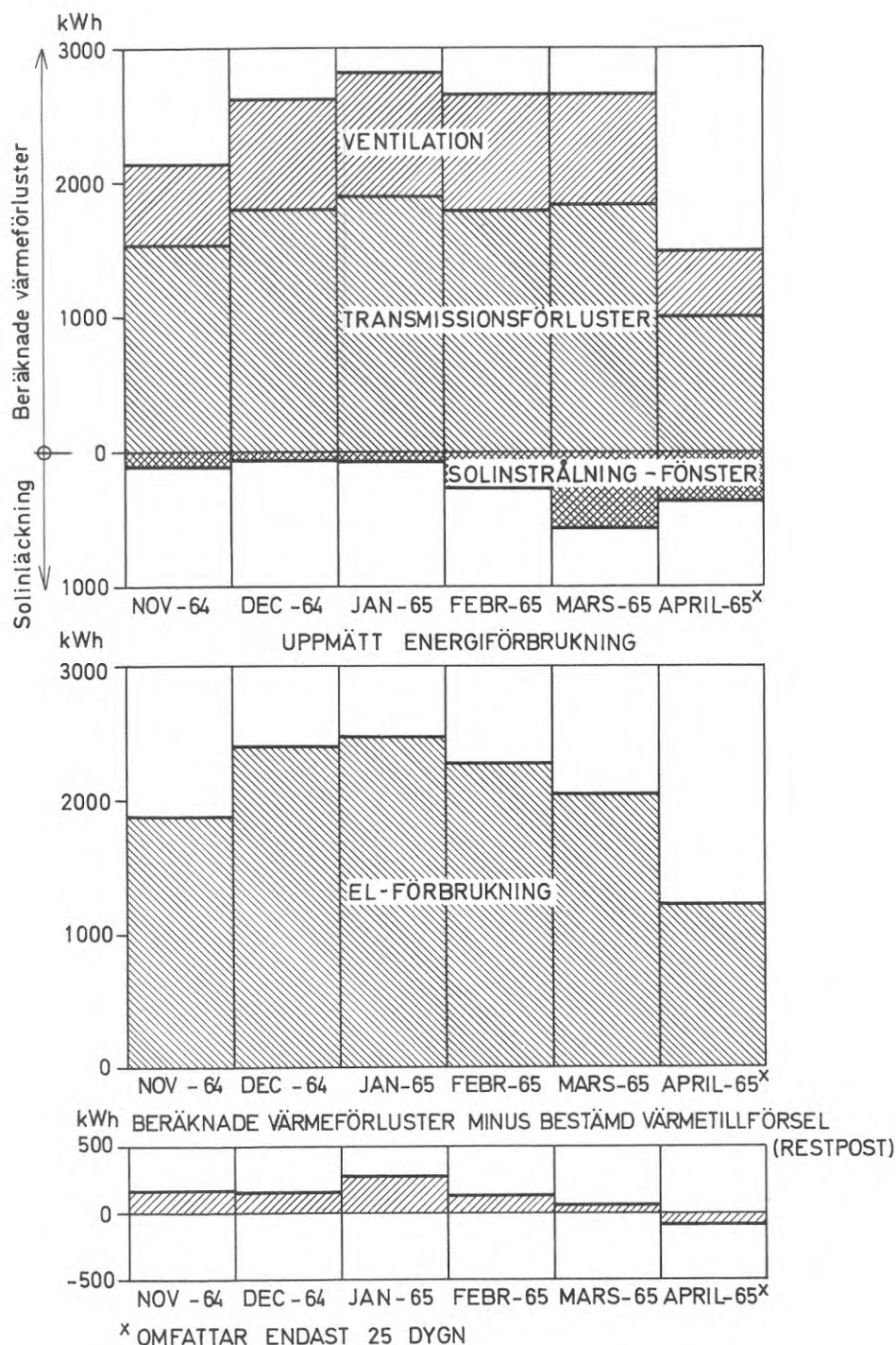


FIG. 58. Diagram över beräknade värmeförluster och värmestillskott för varje månad från och med november 1964 till och med april 1965. Dessutom visas skillnaden mellan beräknade värmeförluster och bestämd värmestillskott. Av den senare redovisningen framgår att den erhållna restposten för flertalet månader är mycket liten. Överensstämmelsen mellan värmeförbrukning och beräknat värmebehov har sålunda varit mycket god.

Vid beräkning av värmeförluster genom fönster och dörrar har teoretiskt bestämda värmegenomgångstal tillämpats. En relativt sett liten avvikelse från korrekt värmegenomgångstal medför för dessa betydande förändringar av de beräknade värmeförlusterna.

Kontinuerliga bestämningar av luftomsättningar har inte varit möjligt att genomföra. I stället har en ingående analys av de faktorer som påverkar den ofrivilliga ventilationens storlek gjorts. Eftersom ventilationsförlusternas andel av de totala förlusterna har varit stor har det varit synnerligen angeläget att noggrant bestämma storleken på denna andel. De bestämningar på ventilationsomsättningar och den analys av sambandet mellan luftomsättning, vindhastighet och temperaturskillnad som gjorts synes ha varit tillräckliga för att kunna bestämma ventilationsförlusterna med acceptabel noggrannhet för hela försöksperioden. Ventilationsförlusterna kan dock enligt avsnitt 6.7 ha beräknats något för högt till följd av att luftomsättningsmätningarna gjorts med alla invändiga dörrar öppna medan energiförbrukningen bestämts när de varit stängda. Detta har medfört ett mindre systematiskt fel.

Solvärmeinläckningen har bestämts med utgångspunkt från direkta mätningar och från en noggrann teoretisk modell. Vid helt klart väder liksom vid helt mulet erhålles en mycket säker avläsning av den registrerade solstrålningsintensiteten. Under dagar med växlande molnighet växlar intensiteten snabbt mellan höga och låga värden varvid en säker avläsning försvåras med större onoggrannhet som följd. Under april har rått mycket molnigt väder. Antalet soltimmar har varit mindre än normalt. Detta har medfört att den diffusa strålningens andel av den totala solstrålningen varit förhållandevis stor - större än normalt för årstiden. Beräkningen av solvärmeinläckningen har därigenom försvårats i hög grad under denna månad. Man kan därför inte utesluta att den beräknade solvärmeinläckningen under april är något för hög.

Energitillförseln har skett via elektriska fläktelement som har en verkningsgrad mycket nära 100 %. Registreringen har skett med särskilt kalibrerade kWh-mätare. Den bestämda energiförbrukningen torde därför vara mycket säker.

I FIG. 59 redovisas värmeförlusterna uppdelade på transmissions- och ventilationsförluster för varje månad under försöksperioden. Dessutom redovisas värmestillskott genom solinläckning genom fönster och uppmätt energiförbrukning. Av FIG. 58 framgår att den s. k. restposten är relativt liten. Med undantag för april månad har de beräknade värmeförlusterna varit något större än de uppmätta energiförbrukningarna. Orsaken till att värmebalansen är något annorlunda för april än för de övriga månaderna torde enligt ovan bero på att värmestillskottet genom solinstrålning är något osäkert denna månad och att transmissionsförlusterna genom golv inte kunnat beräknas lika noggrant som för övriga månader bl. a. till följd av ett s. k. avsvalningsförsök. För övriga månader har alltså de beräknade värmeförlusterna varit större än energiförbrukningen. Orsaken till detta kan bl. a. vara att ventilationsförlusterna systematiskt bestämts till något för höga värden. Å andra sidan kan resultaten tolkas

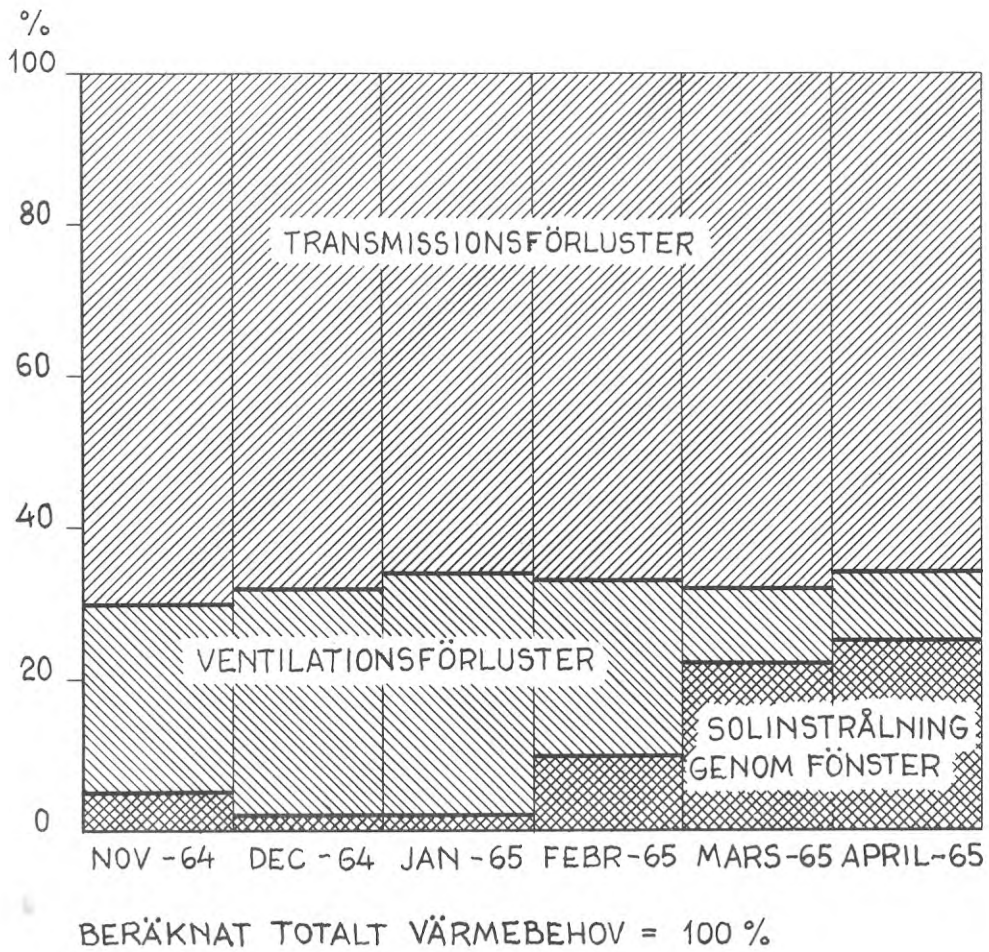


FIG. 59. Det totalt beräknade värmebehovet fördelat på ventilations- och transmissionsförluster. I figuren har också visats hur stor andel av de totala värmeförlusterna som kompenseras av värmetillskottet p. g. a. solinstrålning genom fönster. Under mars och april har solinstrålningen kompenserat större delen av ventilationsförlusterna p. g. a. ofrivillig ventilation. Under december och januari är däremot solinstrålningen obetydlig.

så att de beräknade värmeförlusterna högst kan uppgå till angivna värden. Detta är ett intressant resultat eftersom bestämningarna av temperaturer, värmeflöden m. m. endast har kunnat göras för begränsade vägg-, golv- och takpartier. De värden som erhållits gäller därför strängt taget endast för resp. partier men eftersom överensstämmelsen mellan det beräknade värmebehovet och den uppmätta energiförbrukningen är god kan de vid undersökningarna erhållna värdena anses generaliserbara och representativa för resp. byggnadsdel. De värmemotstånd för väggar, golv och tak samt fönster och dörrar som har uppmätts resp. beräknats torde därför relativt väl motsvara verkligheten.

Som framgår av FIG. 59 utgör transmissionsförlusterna i genomsnitt under vinterperioden ca $2/3$ av de totala värmeförlusterna och ventilationsförlusterna ca $1/3$. Solinläckningen har under november, december och januari endast motsvarat en obetydlig del av det totala värmebehovet för byggnaden. För dessa månader har den s. k. restposten i värmebalansen varit av samma storleksordning som eller t. o. m. större än solinläckningen varför jämförelsen mellan värmetillskott och värmebehov inte kan användas för att kontrollera om solvärmeinläckningen beräknats rätt. Däremot har solinläckningen under februari, mars och april varit väsentligt större. Under mars och i ännu högre grad under april har solinläckningen varit nästan lika stor som ventilationsförlusterna. Under våren kan den därför anses ha kompenserat större delen av värmeförlusterna för ofrivillig ventilation, medan så givetvis inte varit fallet under de solfattiga vintermånaderna.

7 SLUTSATSER OCH PRAKTISKA KONSEKVENSER

7.1 Förhållandet mellan uppmätta och beräknade värmeförbrukningar

Värmebalansen för ett hus är sammansatt av ett flertal delposter vilka var för sig kan bestämmas genom olika undersökningar. Fullskaleförsök kan ge svar på om resp. delpost i värmebalansen är korrekt bestämd för de randvillkor avseende klimat och konstruktioner som gäller vid ett hus.

Genom en omfattande och ingående analys av varje delpost i värmebalansen har det vid undersökningarna i provhuset i Nälsta varit möjligt att uppnå god överensstämmelse mellan beräknade värmeförluster och energiförbrukning. Beräkningarna visar att drygt 1/3 av energiförbrukningen erfordras för att täcka de ofrivilliga ventilationsförlusterna. Värmeinläckningen på grund av solinstrålning genom fönstren har varit betydande under hösten och våren. Den har då varit så stor att den nästan helt kompen-serat transmissionsförlusterna genom fönstren. Det har också varit av mycket stor betydelse att värmesystemet har liten tröghet för att solvärmeinläckningen skall kunna utnyttjas. Trots de goda individuella regleringsmöjligheterna vid undersökningarna i regelhuset - elvärme - har temperaturen i söderrummen (stora fönsterytor) stigit soliga dagar utöver önskat +22°C. En konsekvens av detta resultat bör vara att värmeförseln vid vattenburen värme bör ske via olika stammar till norr- och söderrum och med separat reglering.

7.2 Värmemotstånden hos olika byggnadsdelar

Ytterväggarnas värmemotstånd har under hela försöksperioden bestämts på nivån 1,6 m över golv. Om man bortser från värmeflödesvariation i höjddled hos de aktuella ytterväggarna är de bestämda värmemotstånden höga - så höga att det beräknade värmeledningstalet för mineralullen skulle vara lägre än 0,035 kcal/m h°C. Detta värde tillämpas för närvarande för mineralull av kvalitetsgrupp A medan kvalitet B ($\lambda = 0,040$ kcal/m h°C) använts vid provhuset. Emellertid har värmeflödet för de undersökta ytterväggarna varierat betydligt i höjddled. Detta beror i viss mån på smärre köldbryggor vid golv och tak men främst på makrokonvektion inuti resp. vägg.

Beräknas genomsnittliga värmegenomgångstal för hela vägghöjden - aktuellt vid värmebehovsberäkningar - överstiger dessa utom för norrväggar de tal som kan beräknas enligt SBN 67 med $\lambda = 0,040$ kcal/m h°C för mineralullen. Makrokonvektionen ("konstruktionskonvektionen") i de aktuella väggarna har således medfört att relativt kraftiga tillslag till det laboratoriebestämda värmeledningstalet bör göras om värmegenomgångstalet skall vara representativt för hela väggen. Ett sådant tillslag synes erforderligt trots att mineralullen applicerats under noggrann kontroll i en riktigt utformad konstruktion.

De bestämda värmemotstånden för vindsbjälklaget har något överstigit de enligt SBN 67 beräknade. De bestämda värmemotstånden motsvarar det värmeledningstal som tillämpas för kvalitetsgrupp A trots att de använda mineralullsskivorna i vindsbjälklaget tillhör kvalitetsgrupp B medan de använda mineralullsmattorna inte ens uppfyllt kraven för denna kvalitetsgrupp. Tillslag för konvektion och dylikt syns därför inte nödvändigtvis behöva vara lika stora för bjälklag som för väggar. Å andra sidan visar erfarenheten från inventeringar och besiktningar att utförandet av isoleringsarbetena på vindsbjälklag ofta är undermåligt.

Bestämningar av värmeflödet genom golv har visat att i husets mitt har detta endast uppgått till ca halva det värde som bestämts intill yttervägg. Det "ekvivalenta" värmegenomgångstalet beräknat på basis av uppmätta värmeflöden och lufttemperaturer har endast uppgått till 0,10 - 0,13 kcal/m²h^oC i genomsnitt för de delar av golvet som ligger mer än 1 m från yttervägg. Beräknat värmegenomgångstal enligt SBN 67 uppgår till 0,41 kcal/m²h^oC. Värmeflödet genom golvet har således varit väsentligt mindre än beräknat enligt normernas anvisningar. Även för randzonen närmast ytterväggarna har lägre värmegenomgångstal bestämts än vad som beräknats enligt SBN 67. Vid beräkning av värmebalansen har det därför varit viktigt att tillämpa de genom direkta mätningar bestämda värmeflödena.

Värmeflödet genom golv har under vintern varierat mycket litet - från november till februari har det varit i det närmaste konstant - trots att utelufttemperaturen sjunkit väsentligt under denna period. Markens - i detta fall bergets - värmekapacitet är således betydande och har medfört en väsentlig utjämning av värmeförlusterna genom golv.

Temperaturen på golvet mitt inne i huset har under hela mätperioden varit högre än +20^oC (lufttemperatur i rummet +22^oC) vilket måste anses vara tillfredsställande från hygienisk synpunkt. Intill yttervägg och särskilt vid ytterhörn har golvtemperaturen dock varit betydligt lägre. Vid ytterhörn har den t. o. m. legat under +17^oC under kortare tidsperioder. Med olämpligt golvbeläggingsmaterial kan denna temperatur kännas obehagligt låg för bar fot. Detta visar att även vid en relativt väl utformad och utförd konstruktion med lågt värmegenomgångstal och utan större köldbryggor vid anslutningarna kan det erfordras extra värmetillförsel vid golv längs ytterväggarna om höga krav på komfort ställs.

7.3 Inverkan på värmebehovet av direkt och diffus solinläckning

Genom kontinuerliga registreringar av solinstrålningen har solvärmeinläckningen genom fönster kvantitativt kunnat bestämmas för hela försöksperioden. Genom en särskild analysmetod har hänsyn tagits till bl. a. molnighet och avskärmningar. Detta har varit en nödvändig förutsättning för att noggrant kunna bestämma värmebalansen för en längre tidsperiod.

Solvärmeinläckningen under november, december och januari

har varit relativt liten men under våren har den varit så stor att den i hög grad påverkat värmebalansen för hela huset. I mars och april har värmestillskottet från solinstrålningen sålunda varit i det närmaste lika stort som värmeförlusterna på grund av ofrivillig ventilation.

Transmissionsförlusterna genom fönstren har uppgått till nära hälften av de totala transmissionsförlusterna. Under våren har emellertid solinläckningen genom fönstren i regelhuset varit av samma storleksordning som de genomsnittliga transmissionsförlusterna genom fönstrens glasytor. Genom enbart söderfönstren tillförs under våren i genomsnitt mer värme från solen än vad som transmitteras ut på grund av temperaturskillnaden. Detta förhållande innebär att fönstren inte svarar för så stor andel av värmeförlusterna som enbart en transmissionsberäkning visar. Å andra sidan kommer i bebodda hus solavskärmningsanordningar sannolikt att något minska solvärmeinläckningen.

Solinstrålningen är väderstrecsberoende vilket medfört att ett betydligt större värmestillskott tillförts rum med söderfönster än rum med enbart norrfönster. För att uppnå jämn temperatur i ett hus måste därför värmestillskottet kunna regleras separat i åtminstone norrum och söderrum. Undersökningarna har t. ex. visat att solinstrålningen kan reducera värmebehovet i söderrummen med storleksordningen 40 % under mars-april i förhållande till norrummen.

7.4 Den ofrivilliga ventilationens storlek

Ventilationsförlusterna har bestämts genom stickprovskontroll av antalet luftomsättningar och genom en ingående analys av sambandet mellan antal luftomsättningar, vindhastighet, v , och temperaturskillnad inne-ute, $\Delta\vartheta$. Analysen visar att luftomsättningen n kan uttryckas med ekv. av typen $n = a + b\Delta\vartheta + cv$ där a , b och c är konstanter, som beror på bl. a. konstruktion och utförande. Vid provhuset har följande ekv. erhållits $n = 0,15 + 0,012\Delta\vartheta + 0,077v$. Vintertid har temperaturskillnad och vindhastighet inverkat i det närmaste lika mycket på den ofrivilliga ventilationens storlek.

Antalet luftomsättningar per timme på grund av ofrivillig ventilation har under eldningssäsongen varierat mellan 0,4 och 0,8 vid lufthastigheter upp till 5 m/s och en lufttemperaturskillnad ute-inne mellan 15 och 25°C. Som riktvärde bör 0,5-0,7 ggr/h kunna tillämpas för flertalet småhus. Detta resultat styrks av undersökningar gjorda av oss i fem småhus och även av omfattande amerikanska undersökningar i småhus.

Undersökningarna av antalet luftomsättningar i småhus visar också entydigt att huvuddelen av luftläckningen sker genom skorstenar, ventiler och springor vid fönster och dörrar. Genom golv-, vägg- och takkonstruktionerna är luftläckningen - vid rätt utförda konstruktioner - relativt liten - luftomsättning ca 0,1-0,2 ggr/h.

Luftomsättningen i ventilerade vindsutrymmen kan vara relativt

stor. Luftomsättningar på upp till ca 3 ggr/h har bestämts i regelhuset. Det har funnits en 1,5 cm bred luftsprunga i vartannat takstolsfack vid resp. takfot. Denna ventilation har starkt berott på vindhastigheten.

Transmissionsförluster genom olika byggnadsdelar under november 1964.

1	2	3	4	5	6	7
Väder- streck	Byggnadsdel	Yta	Beräknat värme- genom- gångstal k	Medel- temp. - skillnad Δt	Uppmätt värme- flöde q	Transmissions- förluster k · A · Δt resp. q · A
		A m ²	kcal/m ² h°C	°C	kcal/m ² h	kcal/h
N	Fönster	4,6	1,5	20,0	-	138,0
	Fönsterbalkar	1,2	0,35	"	-	8,4
	Fönsterdörr	3,6	1,3	"	-	93,6
	Betongvägg	4,7	0,42	"	-	39,5
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	15,3
	" min. ullsdel	8,9	-	-	4,97	44,2
Ö	Fönster	4,4	1,5	20,0	-	132,0
	Fönsterbalkar	1,4	0,35	"	-	9,8
	Ytterdörr	2,7	0,7	"	-	37,8
	Yttervägg: regeldel	1,7	0,51	"	-	17,3
	" min. ullsdel	14,3	-	-	5,30	75,6
S	Fönster	7,7	1,5	20,0	-	231,0
	Fönsterbalkar	1,6	0,35	"	-	11,2
	Fönsterdörr	6,1	1,3	"	-	158,6
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	15,3
	" min. ullsdel	7,6	-	-	5,51	41,9
V	Ytterdörr	2,7	0,7	20,0	-	37,8
	Dörrbalk	1,6	0,35	"	-	11,2
	Yttervägg: regeldel	2,1	0,51	"	-	21,4
	" min. ullsdel	18,1	-	-	5,77	104,7
-	Vindsbjälklag	104,0	0,13 ⁽¹⁾	20,4	-	275,8
-	Golv	104,0	-	-	3,16	328,7

¹ Delvis uppmätt värde.

Σ 1.849,1

$$W_t = 720 \cdot 1849,1 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} = 1.544 \text{ kWh}$$

Transmissionsförluster genom olika byggnadsdelar under december 1964.

1	2	3	4	5	6	7
Väder- streck	Byggnadsdel	Yta	Beräknat värme- genom- gångstal k	Medel- temp. - skillnad Δt	Uppmätt värme- flöde q	Transmissions- förluster k · A · Δt resp. q · A
		A m ²	kcal/m ² h°C	°C	kcal/m ² h	kcal/h
N	Fönster	4,6	1,5	22,9	-	158,0
	Fönsterbalkar	1,2	0,35	"	-	9,6
	Fönsterdörr	3,6	1,3	"	-	107,2
	Betongvägg	4,7	0,42	"	-	45,2
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	17,4
	" min. ullsdel	8,9	-	-	5,01	44,7
Ö	Fönster	4,4	1,5	22,9	-	151,1
	Fönsterbalkar	1,4	0,35	"	-	11,2
	Ytterdörr	2,7	0,7	"	-	43,3
	Yttervägg: regeldel	1,7	0,51	"	-	19,8
	" min. ullsdel	14,3	-	"	6,04	86,2
S	Fönster	7,7	1,5	22,9	-	264,5
	Fönsterbalkar	1,6	0,35	"	-	12,8
	Fönsterdörr	6,1	1,3	"	-	181,6
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	17,5
	" min. ullsdel	7,6	-	-	6,32	48,1
V	Ytterdörr	2,7	0,7	22,9	-	43,3
	Dörrbalk	1,6	0,35	"	-	12,8
	Yttervägg: regeldel	2,1	0,51	"	-	24,5
	" min. ullsdel	18,1	-	-	6,49	117,4
-	Vindsbjälklag	104,0	0,13 ⁽¹⁾	22,4	-	302,8
-	Golv	104,0	-	-	3,55	368,9

¹ Delvis uppmätt värde.

Σ 2.087,9

$$W_t = 744 \cdot 2087,9 \cdot 1,16 \cdot 10^{-5} \text{ kWh} = 1.802 \text{ kWh}$$

Transmissionsförluster genom olika byggnadsdelar under januari 1965.

1	2	3	4	5	6	7
Väder- streck	Byggnadsdel	Yta	Beräknat värme- genom- gångstal	Medel- temp. - skillnad	Uppmätt värme- flöde	Transmissions- förluster
		A m ²	k kcal/m ² h°C	$\Delta\vartheta$ °C	q kcal/m ² h	k · A · $\Delta\vartheta$ resp. q · A kcal/h
N	Fönster	4,6	1,5	24,2	-	167,0
	Fönsterbalkar	1,2	0,35	"	-	10,2
	Fönsterdörr	3,6	1,3	"	-	113,6
	Betongvägg	4,7	0,42	"	-	47,8
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	18,5
	" min. ullsdel	8,9	-	-	5,66	50,4
Ö	Fönster	4,4	1,5	24,2	-	157,3
	Fönsterbalkar	1,4	0,35	"	-	11,8
	Ytterdörr	2,7	0,7	"	-	45,7
	Yttervägg: regeldel	1,7	0,51	"	-	21,0
	" min. ullsdel	14,3	-	-	6,47	92,4
S	Fönster	7,7	1,5	24,2	-	279,5
	Fönsterbalkar	1,6	0,35	"	-	13,6
	Fönsterdörr	6,1	0,51	"	-	191,9
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	18,5
	" min. ullsdel	7,6	-	-	6,85	52,1
V	Ytterdörr	2,7	0,7	24,2	-	45,7
	Dörrbalk	1,6	0,35	"	-	13,6
	Yttervägg: regeldel	2,1	0,51	"	-	25,9
	" min. ullsdel	18,1	-	-	6,99	126,6
-	Vindsbjälklag	104,0	0,13 ⁽¹⁾	22,9	-	309,6
-	Golv	104,0	-	-	3,84	399,5

¹ Delvis uppmätt värde.

Σ 2.212,2

$$W_t = 744 \cdot 2212,2 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} = 1.909 \text{ kWh}$$

Transmissionsförluster genom olika byggnadsdelar under februari 1965.

1	2	3	4	5	6	7
Väder- streck	Byggnadsdel	Yta	Beräknat värme- genom- gångstal k	Medel- temp. skillnad $\Delta\vartheta$	Uppmätt värme- flöde q	Transmissions- förluster k · A · $\Delta\vartheta$ resp. q · A
		A m ²	kcal/m ² h°C	°C	kcal/m ² h	kcal/h
N	Fönster	4,6	1,5	26,3	-	181,5
	Fönsterbalkar	1,2	0,35	"	-	11,0
	Fönsterdörr	3,6	1,3	"	-	123,1
	Betongvägg	4,7	0,42	"	-	51,9
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	20,1
	" min. ullsdel	8,9	-	-	6,16	54,8
Ö	Fönster	4,4	1,5	26,3	-	171,0
	Fönsterbalkar	1,4	0,35	"	-	12,9
	Ytterdörr	2,7	0,7	"	-	49,7
	Yttervägg: regeldel	1,7	0,51	"	-	22,8
	" min. ullsdel	14,3	-	-	6,31	90,3
S	Fönster	7,7	1,5	26,3	-	303,8
	Fönsterbalkar	1,6	0,35	"	-	14,7
	Fönsterdörr	6,1	1,3	"	-	208,6
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	20,1
	" min. ullsdel	7,6	-	-	7,02	53,4
V	Ytterdörr	2,7	0,7	26,3	-	49,7
	Dörrbalk	1,6	0,35	"	-	14,7
	Yttervägg: regeldel	2,1	0,51	"	-	28,2
	" min. ullsdel	18,1	-	-	7,30	132,6
-	Vindsbjälklag	104,0	0,13 ⁽¹⁾	24,1	-	325,8
-	Golv	104,0	-	-	3,88	404,1

¹ Delvis uppmätt värde.

Σ 2.344,8

$$W_t = 672 \cdot 2344,8 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} = 1.828 \text{ kWh}$$

Transmissionsförluster genom olika byggnadsdelar under mars 1965

1	2	3	4	5	6	7
Väder- streck	Byggnadsdel	Yta	Beräknat värme- genom- gångstal k	Medel- temp. - skillnad Δt	Uppmätt värme- flöde q	Transmissions- förluster k · A · Δt resp. q · A
		A m ²	kcal/m ² h°C	°C	kcal/m ² h	kcal/h
N	Fönster	4,6	1,5	23,5	-	162,2
	Fönsterbalkar	1,2	0,35	"	-	9,9
	Fönsterdörr	3,6	1,3	"	-	110,0
	Betongvägg	4,7	0,42	"	-	46,4
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	18,0
" min. ullsdel	8,9	-	-	-	5,78	51,4
Ö	Fönster	4,4	1,5	23,5	-	152,8
	Fönsterbalkar	1,4	0,35	"	-	11,5
	Ytterdörr	2,7	0,7	"	-	44,4
	Yttervägg: regeldel	1,7	0,51	"	-	20,4
	" min. ullsdel	14,3	-	-	-	6,10
S	Fönster	7,7	1,5	23,5	-	271,4
	Fönsterbalkar	1,6	0,35	"	-	13,2
	Fönsterdörr	6,1	1,3	"	-	186,4
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	18,0
	" min. ullsdel	7,6	-	-	-	6,16
V	Ytterdörr	2,7	0,7	23,5	-	44,4
	Dörrbalk	1,6	0,35	"	-	13,2
	Yttervägg: regeldel	2,1	0,51	"	-	25,2
	" min. ullsdel	18,1	-	-	-	7,18
-	Vindsbjälklag	104,0	0,13 ⁽¹⁾	20,5	-	277,2
-	Golv	104,0	-	-	3,9 ⁽²⁾	405,6

¹ Delvis uppmätt värde.

Σ 2.145,9

² Extrapolerat värde med hjälp av temperaturmätningar.

$$W_t = 744 \cdot 2145,9 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} = 1.852 \text{ kWh}$$

Transmissionsförluster genom olika byggnadsdelar under 1-6 och 12-30 april 1965

1	2	3	4	5	6	7
Väder- streck	Byggnadsdel	Yta	Beräknat värme- genom- gångstal k	Medel- temp. - skillnad Δt	Uppmätt värme- flöde q	Transmissions- förluster
		A m ²	kcal/m ² ·h·°C	°C	kcal/m ² ·h	k·A· Δt resp. q·A kcal/h
N	Fönster	4,6	1,5	18,2	-	125,6
	Fönsterbalkar	1,2	0,35	"	-	7,6
	Fönsterdörr	3,6	1,3	"	-	85,2
	Betongvägg	4,7	0,42	"	-	35,9
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	13,9
	" min. ullsdel	8,9	-	-	4,72	42,0
Ö	Fönster	4,4	1,5	18,2	-	118,3
	Fönsterbalkar	1,4	0,35	"	-	8,9
	Ytterdörr	2,7	0,7	"	-	34,4
	Yttervägg: regeldel	1,7	0,51	"	-	15,8
	" min. ullsdel	14,3	-	-	4,85	69,4
S	Fönster	7,7	1,5	18,2	-	210,2
	Fönsterbalkar	1,6	0,35	"	-	10,2
	Fönsterdörr	6,1	1,3	"	-	144,3
	Yttervägg: regeldel	1,5	0,51	"	-	13,9
	" min. ullsdel	7,6	-	-	4,51	35,4
V	Ytterdörr	2,7	0,7	18,2	-	34,4
	Dörrbalk	1,6	0,35	"	-	10,2
	Yttervägg: regeldel	2,1	0,51	"	-	19,5
	" min. ullsdel	18,1	-	-	5,72	103,6
-	Vindsbjälklag	104,0	0,13 ⁽¹⁾	14,7	-	198,7
-	Golv	104,0	-	-	3,6 ⁽²⁾	374,4

¹ Delvis uppmätt värde.

Σ 1.711,8

² Extrapolerat värde med hjälp av temperaturregistreringar.

$$W_t = 504 \cdot 1711,8 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ kWh} = 1.001 \text{ kWh}$$

LITTERATUR

Adamson, B, Domnér, G & Rönning, M, 1964, Marktemperaturer under hus utan källare. (Statens råd för byggnadsforskning.) Handlingar nr 46. Stockholm.

Allcut, E A & Ewens, F G, 1939, Thermal Conductivity of Insulating Materials. (Can. J. Research.) A17, s. 209-215. Ottawa.

Andersen, N F, 1968, Mineralulds varmeisoleringsveue. (Varme.) Februari. Köpenhamn.

Andersson, L O, 1967, Vindens påverkan på en byggnadskropp från ventilationsteknisk synpunkt. Lic. arbete vid Institutionen för uppvärmningsteknik. (KTH.) Stockholm.

ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967, American Society of Heating. (Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.) New York.

Bahnfleth, D R, Moseley, T D, & Harris, W S, 1957, Measurements of Infiltration in two Residences. Part I, Technique and Measured Infiltration. Part II, Comparison of Variables Affecting Infiltration. (ASHRAE Transactions.) Vol. 63. New York.

Bankvall, C G, 1970a, Ensidig evakuerbar och roterbar plattapparat för varmeisoleringsundersökningar. (Inst. för byggnadsteknik, LTH.) Rapport 14. Lund.

Bankvall, C G, 1970b, Värmetransport i fibrösa material. (Inst. för byggnadsteknik, LTH.) Rapport 15. Lund.

Bankvall, C G, 1972, Värmetransport i isoleringsmaterial. Värmeisoleringsmaterialets funktion i konstruktion. Byggnästaren nr 1 och 2. Stockholm.

Brown, G, 1959, Ytterväggars varmeisoleringsförmåga. (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Handlingar 36. Stockholm.

Brown, G & Tuominen, T, 1962, Solar position at various hours, dates and latitudes. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport nr 75. Stockholm.

Brown, G, 1966, Solvärme genom fönster och solskydd. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport nr 11. Stockholm.

Brown, G & Isfält, E, 1969, Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar. Tabeller och diagram. (Statens institut för byggnadsforskning.) Rapport nr 19. Stockholm.

Calvet, P, 1963, Transmission de la chaleur dans les matériaux poreux à cellules ouvertes, granulaires ou fibreux. (Revue Générale de Thermique.) Oct., Nov., Déc. Paris.

Cammerer, W F, 1962, Der Konvektionseinfluss auf die Wärmeleitfähigkeit von Wandisolierungen aus Mineralfaserstoffen. (Allgemeine Wärmetechnik.) Band 11, Heft 6.

Coblentz, C W, & Achenbach, P R, 1963, Field measurements of air infiltration in ten electrically-heated houses. (ASHRAE Transactions.) Vol. 69. New York.

Dick, J B, 1949, Experimental studies in natural ventilation of houses. J. Inst. Heat. Vent. Eng. 17.

Elmroth, A & Höglund, I, 1965, Influence of Moisture on the Thermal Resistance of External Walls of Cellular Concrete - relating to two newer types of constructions. Rapport till RILEM/CIB-symposium. (Även utgivet som meddelande 45 från Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Helsingfors.

Elmroth, A, 1966, Fukt- och temperaturförhållanden i kryprum. Lättbetong 1. (Även utgivet som meddelande 45 från Institutionen för byggnadsteknik, KTH.) Stockholm.

Elmroth, A & Höglund, I, 1968, Mineralull för värme, köld, ljud. (Husbyggaren.) Nr 6. Stockholm.

Elmroth, A & Höglund, I, 1970, Analys av ofrivillig ventilation i småhus. (VVS.) Nr 2. Stockholm.

Eriksson, B E, 1962, Bostadsventilation. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 77. Stockholm.

Fournier, D, André, G & Klarsfeld, S, 1966, Etudes récentes sur la conductibilité thermique des isolants fibreux effectuées à l'aide d'un appareil de mesure rapide de la conductibilité thermique en régime permanent. (Réunion Commission 2, I. I. F.) Bulletin I. I. F. Trondheim.

Fournier, D, André, G & Klarsfeld, S, 1967, Nouvelles recherches sur les relations existant entre la structure des isolants fibreux et leur conductibilité thermique. (Internationella kylkongressen.) Rapport 2. 17. Madrid.

Gasquet, R, 1963, Methodes de mesure de la conductivité. Application aux matériaux isolants fibreux. (Revue Générale de Thermique.) Oct., Nov., Déc. Paris.

Höglund, I, 1963a, Ekonomisk värmeisolering av småhus. (Gullkornet.) Nr 2. Stockholm.

Höglund, I, 1963b, Högisolerande ytterväggars värmemotstånd. (Statens råd för byggnadsforskning.) Handlingar 41. Stockholm.

Höglund, I, 1963c, Värmeförluster i småhus - resultat från två försökshus. (Statens råd för byggnadsforskning.) Handlingar 43. Stockholm.

- Höglund, I & Hansson, T, 1964, Inre konvektion i byggnads-konstruktioner. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 106. Stockholm.
- Höglund, I, 1964, On Thermal Insulation Properties of External Multilayer Walls. (Statens råd för byggnadsforskning.) Foreign Language Series, no 7. Stockholm.
- Höglund, I & Elmroth, A, 1964, Värmebalans hos småhus av lättbetong - glimtar från pågående undersökningar. (Lättbetong.) Nr 1. Stockholm.
- Höglund, I & Elmroth, A, 1965, Värmebalans hos småhus. (Gullkornet.) Nr 2. Stockholm.
- Höglund, I & Stephenson, D G, 1968, Tabeller för beräkning av solinstrålning mot byggnader. (Statens institut för byggnads-forskning.) Rapport 49. Stockholm.
- Ingelman-Sundberg, M, 1966, Vindtunnelprov på markbundna objekt. Teknisk Tidskrift nr 13. Stockholm.
- Jordan, R C, Erickson, G A & Leonard, R R, 1963, Infiltration measurements in two research houses. (ASHRAE Transactions.) Vol. 69. New York.
- Klarsfeld, S, 1970, Champs de température associés aux mou-vements de convection naturelle dans un milieu poreux limité. (Revue Générale de Thermique.) Nr 108. Paris.
- Lachenbruch, A A, 1957, Three-dimensional Heat Conduction in Permafrost Beneath Heated Buildings. Geol. Survey Bull., 1052-B. Washington.
- Laschober, R R & Healy, J H, 1964, Statistical analyses of air leakage in split-level residences. (ASHRAE Transactions.) Vol. 70. New York.
- Levecque, M, 1963a, Conductivité convection naturelle et perméabilité. (Revue Générale de Thermique.) Oct., Nov., Déc. Paris.
- Levecque, M, 1963b, Perfectionnements aux techniques de mesure de la conductivité des matériaux et fibreux. (Revue Générale de Thermique.) Oct., Nov., Déc. Paris.
- Lotz, W, 1964, Heat and air transfer in cold storage insulation. (ASHRAE Semiannual Meeting.) January 27-29. New Orleans.
- Lunelund, H, 1936, Värmestrålning och ljusstrålning i Finland. (Svenska Tekniska Vetenskapsakademien i Finland.) Acta 12. Helsingfors.
- Martin, G & Haselden, G G, 1963, Heat Transfer by Natural Convection in Porous Insulants. Int. Congress of Refrig. München.

Min, T C, 1958, Winter infiltration through swinging-door entrances in multistorey buildings. (ASHRAE Transactions.) Vol. 64. New York.

Mumaw, J R, 1968, Variations of the Thermal Conductivity Coefficient for Fibrous Insulation Materials. (Ohio State University.) Columbus.

Nevander, L E, Palm, V, Öberg, S, Adamson, B & Höglund, I, 1961, Köldbryggor i ytterväggar. Meddelande nr 26 från Institutionen för byggnadsteknik. (KTH.) Stockholm.

Nylund, P O, 1963, Kondens i väggar. (Statens institut för byggnadsforskning.) Informationsblad 26. Stockholm.

Petersen, E, 1966, Solinfald gennem vinduer. Danmarks tekniska högskola. Laboratoriet för värmeisolering. Meddelande 13. (Akademisk förlag.) Köpenhamn.

Pleijel, G, 1954, The computation of natural radiation in architecture and town planning. (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Meddelande nr 25. Stockholm.

Praktiskt tillämpbara värmeledningstal för mineralullsprodukter. 1964. Kungl. Byggnadsstyrelsens meddelanden 1964:9. Stockholm.

Riktlinjer för värmeisoleringsbestämmelser. NKB-skrift 8. (Nordiska Kommittén för byggnadsbestämmelser. Maj 1967. Stockholm.

Rydberg, J & Arnell, Å, 1949, Ventilationens storlek i bostäder. (Statens kommitté för byggnadsforskning.) Meddelande nr 15. Stockholm.

Rydberg, J, 1968, Om ventilationssystemens funktion. (VVS.) Nr 2. Stockholm.

Rönning, M, 1961, Värmeisolering av golv på mark. (Väg- och Vattenbyggaren.) Nr 5. Stockholm.

Rönning, M, 1967, Praktiskt tillämpbara värmeledningstal för mineralullsprodukter. Byggmästaren 4. Stockholm.

SMHI, 1964 och 1965, Sveriges Meteorologiska och hydrologiska institut. Månadsöversikter över väderlek och vattentillgång. Stockholm.

Tamura, G T & Wilson, A G, 1964, Air leakage and pressure measurements on two occupied houses. (ASHRAE Transactions.) Vol. 70. New York.

Tamura, G T & Wilson, A G, 1966, Pressure differences for a nine-storey building as a result of chimney effect and ventilation system operation. (ASHRAE Transactions.) Vol. 72. Part I, p. 180. New York.

Verschoor, J D & Greebler, P, 1952, Heat Transfer by Gas Conduction and Radiation in Fibrous Insulations. Transactions of the ASME. 74, p. 961-968. New York.

Wolf, S, 1966, A Theory for the Effects of Convective Air Flow through Fibrous Thermal Insulation. (ASHRAE Transactions.) Vol. 72. Part II. New York.

Wolf, S, Solvason, R & Wilson, A G, 1966, Convective Air Flow Effects with Mineral Wool Insulation in Wood-Frame Walls. (ASHRAE Transactions.) Vol. 72. Part II. New York.

Vourelainen, O, 1960, The Temperature Field Produced in the Ground by a Heated Slag Låin Direct on Ground, and the Heat Flow from Slab to Ground. (Statens tekniska forskningsanstalt.) Publikation 52. Helsingfors.

VVS-handboken, 1963. (Förlags AB VVS.) Stockholm.

CAPTIONS

- FIG. 1. Plan and section of the test house. Kitchen fittings were not complete on the occasion of the experiments. Space is available in the fairly roomy hall for a flight of stairs to the floor above. The figures refer to the numbers of the rooms.
- FIG. 2. Vertical section through an external wall in the timber-frame house including junctions at windows, attic floor, roof, ground floor and foundations.
- FIG. 3. The entire "wet core" of the house was prefabricated and delivered from the factory complete with appliances and internal finishes. The photograph shows a securely wrapped "wet core" unit in place on the completed foundations.
- FIG. 4. External walls are wind-proofed with one layer of fibre-board (1/2" asfboard). Each joint between panels coincides with a stud and is covered on the outside with a strip of wood which at the same time serves as an anchorage for the cladding of weather-boarding.
- FIG. 5. Detail of junction between weather-boarding and door frame. The figure also shows how electric wiring has been taken through the fibre-board and how the hole for it has been given excessive dimensions, thus causing deterioration in the wind-proofing. The example illustrates the practical problems encountered in making holes for wiring etc.
- FIG. 6. The completed house viewed from the north. The instruments on the walls recorded the total amount of solar radiation on the respective elevations. An anemometer was installed on the special bridge on the roof.
- FIG. 7. South elevation.
- FIG. 8. During the studies the kitchen was used as a measurement room and a large amount of the recording took place there. On the left are the kWh-meters and a camera for automatic recording of energy consumption in each room at given times. On the counter on the right are automatic instruments for recording temperature, wind velocity, wind direction and solar radiation.

This experimental arrangement complete with programmed, automatic registration of thousands of data had a number of practical advantages and also permitted greater accuracy in that no-one needed to take manual readings at short intervals. (At this time we did not dispose any data logger.)

- FIG. 9. The instruments attached to the two outer walls of the corner room are what is known as Brown meters which are used to determine heat flow and thermistors for determination of surface temperature. On the floor are two radiation-proof, thermo-electric heat flow meters.
- FIG. 10. Interior of the living-room during experiments. Here we see among others instruments used for measuring heat flows through floor and ceiling, a thermohygrograph for determining temperature and relative humidity and fans fitted with control devices for heating.
- FIG. 11. Positions of thermoelectric heat flow meters on the floor.
- FIG. 12. Comparison of determined coefficients of heat transmission (U-values) for the four external walls of the timber-frame house and the corresponding coefficients obtained by calculation in accordance with the Swedish Building Norm (SBN 67). In the latter case, calculations were based on practically applicable coefficients of thermal conductivity of 0.045 kcal/m h^oC, 0.040 kcal/m h^oC and 0.035 kcal/m h^oC for mineral wool. The U-values determined refer both to the value approximately 1.6 m above the floor (shaded columns) and to the means calculated for the entire wall height (the upper limit in the columns). Convection and the possible small effect of cold bridges causes the mean U-value for the entire wall height to be considerably higher than that recorded at a level 1.6 m above the floor.
- FIG. 13. An earlier project at the Division of Building Technology involved determination of the thermal resistance found in a large number of external wall types (Höglund, 1963 and 1964). These studies, which together may be regarded as a total investigation of multi-layer walls in blocks of flats, mainly in the Stockholm region, erected between 1954 and 1958 and incorporating high-grade insulation, cover a total of 74 different wall designs. 56 of these were insulated with mineral wool slabs. The frequency diagram shows the difference between determined and calculated thermal resistance in these walls insulated with mineral wool expressed as a percentage of the determined thermal resistance. The mean was 16 % better than the calculated values and the standard deviation was 18 %. For the purpose of the calculations, the coefficient of thermal conductivity was for mineral wool assumed to be 0.040 kcal/m h^oC according to the Swedish code of practice of 1960 (BABS 1960). The coefficients of thermal conductivity for other materials in the walls were also taken from BABS 1960. However, approximately 23 % of the thermal resistance values determined were lower than those calculated, primarily due to faulty workmanship. The mean of all the

thermal resistance values is equivalent to a k value for mineral wool slabs of approximately 0.035 kcal/m h°C on condition that other materials in the walls have the coefficient of thermal conductivity recommended in BABS as being practically applicable.

FIG. 14a. Vertical distribution of heat flow according to tests on the west wall over the period 25th March 1971 and 14th April 1971 using thermoelectric heat flow meters. The heat flow at 1.6 m above the floor has been assumed to be the equivalent of 100 %, this choice being motivated by the long-term recordings made using the Brown meter at this level.

The results show that the average heat flow over the entire wall height is considerably higher than at 1.6 m above the floor. The results of the long-term recordings using the Brown meter should therefore be corrected if the values are to apply for the entire wall height.

FIG. 14b. Vertical distribution of temperature on the inside of the west wall over the period 25th March to 14th April 1971. The mean temperature of the outdoor air was +3.5°C during this period. Despite the relatively high outdoor temperature the surface temperature of the wall was approximately 3°C higher near to the ceiling than at around 15 cm above the floor.

FIG. 15. Sketch showing positions on the floor of heat flow meters A-G and the points at which temperatures were recorded. When establishing the total heat flow through the floor it was assumed that the flow was cyclosymmetrical around the centre of the house. This naturally involves approximation, primarily in respect of values in the vicinity of outer corners. It has nevertheless been accepted since it is on the whole only small transmission surfaces which are affected by such edge disturbances. The approximation means that the total calculated heat flow is a little too large. FIGS. 17 and 18 show how the heat flow varies along sections a-a and b-b subject to the conditions listed here.

FIG. 16. Positions of the sections where temperature has been recorded at floor level and in the ground. Sections 1 and 5 are symmetrically situated as are sections 2 and 4.

FIG. 17. Variations in heat flow (monthly mean values) along section a-a according to FIG. 15. Heat flow was recorded at points D-G. As was expected, the heat flow was slightest in the middle of the house during the months in question. It was greatest in the vicinity of external walls where it was almost twice that recorded in the middle of the house. This marked variation is notable in view of the fact that the layer of thermal insulation is twice as thick along external walls.

FIG. 18. Variation in heat flow (monthly mean values) along section b-b according to FIG. 15. Once again the heat flow was assumed to be cyclosymmetrical around the centre of the house. This figure shows not only that heat flow is slightest at floor level in the middle of the house, but also how it varies adjacent to outer walls (heat flow meters A-D were placed next to outer walls). Heat flow was greatest at point A which is near to a corner, but only slightly greater than at the other three measurement points (B-D) at the outer wall. The major heat flow at the corner is limited to a fairly small area.

FIG. 19. Floor temperature measured at three points in the house between October 1964 and May 1965. The floor temperature at the centre of the house was very even throughout the test period and was never less than $+20^{\circ}\text{C}$, a satisfactory temperature from the point of view of hygiene. The lowest temperature recorded was of course at corners. This area was also most sensitive to fluctuations in the outdoor temperature. The surface temperature was less than $+17^{\circ}\text{C}$ for shorter periods of time despite the fact that the temperature of the air in the room remained constant at $+22^{\circ}\text{C}$. This temperature may be uncomfortable to bare feet if an unsuitable floor covering with too high a coefficient of thermal diffusivity is used.

FIGS. 20-26. This series of seven charts shows temperature variations, on the floor and in the ground during the test period, October 1964 - May 1965 in seven different sections through the structure. Each figure consists of a plan of the test field plus a vertical section showing the positions of the different measuring points. More or less the same temperatures were recorded at comparable heights in the symmetrically situated sections (FIGS. 20 and 24 and FIGS. 21 and 23). Fluctuations in temperature outdoors did of course exert the greatest influence on the temperature immediately outside the outer corners of the house, reducing gradually towards the centre of the building.

It is quite clear from FIGS. 20, 21 and 22 that the temperature drop over the mineral wool insulation is fairly large. On the other hand, the temperature of the upper and lower surfaces of the concrete slab was more or less the same, as indeed was expected. The temperature drop was small even over a thick layer of coarse gravel.

FIG. 27. Correlation between wind velocity and wind pressure. The wind velocities given by meteorological observation stations are as a rule the means for 10 minute intervals. In a squally though moderate wind the velocity may deviate from this mean by $\pm 50\%$. Wind pressures may therefore vary within the dashed field on the chart.

- FIG. 28. Distribution of air pressure in the vertical plane both inside and outside a house. The diagram on the left shows only the effect of a chimney, the neutral zone being assumed to lie about half way up the house. The centre diagram illustrates the effect of the wind alone which in principle causes the same pressure at all levels. Finally on the right, we see the pressures reached under the combined influence of the chimney and wind stresses. In this case, the influence of the wind is so great that it balances the effect of the chimney at the top of the house i. e. the difference in pressure between the inside and the outside is zero on the windward elevation. The latter is however a more or less theoretical case since conditions are liable to be in a constant state of change.
- FIG. 29. Correlation between number of air changes and wind velocity in five test houses. The dashed line marked "Cellular concrete house S 1" shows the correlation between air change and wind velocity when one of the rooms in that house was without floor covering, thus causing air leakage between residential space and crawl space. Apart from these results, the amount of air change in the different houses was more or less the same. Where wind velocities were normal the number of air changes during the winter varied between approximately 0.5 and 0.7 times/h.
- FIG. 30. Air change recorded in five test houses when all spaces around windows and doors were specially sealed with airtight tape and when all vents had been closed. (In house A which was of brick a supply air vent was open during the test, thus explaining the high rate of air change in that particular house.) The results show that leakage of air through floors, walls and ceilings during winter contributes 0.1-0.2 air changes per hour. The dominant source of leakage thus appears to be concentrated around vents and spaces round doors and windows etc.
- FIG. 31. Example showing relation of intensity of solar radiation on a patch of ground to the height of the sun in the sky. The direct radiation at right angles to the direction of radiation is shown by curve 3. The diffuse radiation on to a horizontal surface is shown both for a clear sky (1) and for overcast conditions (2).
- FIG. 32. Schematic diagram showing solar radiation through a window.
- FIG. 33. Transmission of solar radiation through windows at different angles of incidence and with differing numbers of panes.
- FIG. 34. Angles for calculation of solar radiation.
- FIG. 35. The intensity of direct solar radiation calculated for clear weather and a south elevation at different hours

of the day throughout the year. This diagram permits us to read off the intensity of direct solar radiation in clear weather on each day and at each hour. The values are approximate in that they give means without taking into account local variations in the clearness of the air or annual variation in the extinction of the atmosphere (i. e. weakening of the intensity of radiation on passing through the atmosphere).

FIG. 36. The intensity of direct solar radiation calculated for clear weather and an east elevation at different hours of the day throughout the year. This diagram permits us to read off the intensity of direct solar radiation in clear weather on each day and at each hour. The values are approximate in that they give the means without taking into account local variations in the clearness of the air or annual variations in the extinction of the atmosphere (i. e. weakening of the intensity of radiation on passing through the atmosphere).

FIG. 37. The intensity of direct solar radiation calculated for clear weather and a north elevation at different hours of the day throughout the year. This diagram permits us to read off the intensity of direct solar radiation in clear weather on each day and at each hour. The values are approximate in that they give the means without taking into account local variations in the clearness of the air or annual variations in the extinction of the atmosphere (i. e. weakening of the intensity of radiation on passing through the atmosphere).

FIG. 38. Calculation of direct solar radiation transmitted through triple-glazed windows on a south elevation. For days with clear weather the heat gain due to direct solar radiation through the exposed glazed area at each hour throughout the year can be read off directly from the diagrams.

FIG. 39. Calculation of direct solar radiation transmitted through triple-glazed windows on an east elevation. For days with clear weather the heat gain due to direct solar radiation through the exposed glazed area at each hour throughout the year can be read off directly from the diagrams.

FIG. 40. Calculation of direct solar radiation transmitted through triple-glazed windows on a north elevation. For days with clear weather the heat gain due to direct solar radiation through the exposed glazed area at each hour throughout the year can be read off directly from the diagrams.

FIG. 41. Window shaded by recess, vertical section.

FIG. 42. Window shaded by recess, horizontal section.

FIG. 43. Diagram showing the greatest possible glazed area in the path of solar radiation in south-facing windows at different hours during the season when the heating system is in use. Only the orientation and shape of the house were taken into account; any screening of the horizon was ignored.

FIG. 44. Diagram showing the greatest possible glazed area in the path of solar radiation in east-facing windows at different hours during the season when the heating system is in use. Only the orientation and shape of the house were taken into account; any screening of the horizon was ignored.

FIG. 45. Diagram showing the greatest possible glazed area in the path of solar radiation in north-facing windows at different hours during the season when the heating system is in use. Only the orientation and the shape of the house were taken into account; any screening of the horizon was ignored.

FIG. 46. Diagram showing the position of the sun as seen from the south wall of the test house in Nälsta. The normal orientation of the south wall is 36° (i. e. between south and west). The shaded area in the diagram indicates when the horizon is screened by vegetation or adjacent buildings.

This diagram permits us, for instance, to establish that on 1st October the facade was reached by direct solar radiation at 9.30 a. m. and that it was temporarily in the shade between 12.00 noon and 12.30. The sun disappears behind vegetation around 3.00 p. m., thus leaving the facade in the shade.

FIG. 47-54- Diagrams 47-54 show total consumption plus the respective daytime and nighttime consumptions on each day between October 1964 and May 1965. Consumption during the day and at night was more or less equal in the months when there was little sun. However, late in the winter and in the spring the daytime consumption was considerably lower than the nighttime.

The difference in temperature between indoors and outdoors is also given for each month. Since the indoor temperature remained constant at $+22^{\circ}\text{C}$, these diagrams also give an indirect idea of the outdoor temperature.

A large difference in temperature is often synonymous with the consumption of a large amount of heat. A certain time lag between difference in temperature and heat consumed can however be observed for certain days. This is perfectly natural in view of the heat capacity of the house.

- FIG. 47. Heat consumption recorded in OCTOBER 1964.
- FIG. 48. Heat consumption recorded in NOVEMBER 1964.
- FIG. 49. Heat consumption recorded in DECEMBER 1964.
- FIG. 50. Heat consumption recorded in JANUARY 1965.
- FIG. 51. Heat consumption recorded in FEBRUARY 1965.
- FIG. 52. Heat consumption recorded in MARCH 1965.
- FIG. 53. Heat consumption recorded in APRIL 1965.
- FIG. 54. Heat consumption recorded in MAY 1965.
- FIG. 55. Heat consumption in the timber-frame house during the 1964/65 heating season. Mean daily consumption for the respective months plus the upper and lower dispersion limits.
- FIG. 56. The top diagram shows energy consumption as a daily mean for the respective months and per degree of temperature difference indoors and out. The bottom diagram shows the number of hours of sunshine per month plus the mean wind velocity for the respective months.
- If the energy consumption per degree of temperature were entirely controlled by the difference in temperature between indoors and out, it should remain constant throughout the year. This was not the case here. Instead the energy consumption fell in the spring. The diagrams demonstrate that there is a clear correlation between energy consumption and hours of sunshine.
- FIG. 57. Monthly records of energy consumption in a room with a south-facing window (FIG. 57a) and in a room with a north-facing window (FIG. 57b). Characteristic features of the rooms (which are more or less the same size) are specified in TAB. 20b. The diagram also shows the heat gain in November and March due to solar radiation through the windows of the respective rooms.
- Heat consumption was considerably higher in the south-facing room in November-February due to its slightly larger area and its more than 50 % increase in glazed area as opposed to the north-facing room. In March and April however, solar heat gains in the south-facing room were so great that heat consumption was even lower than in the north-facing room.
- FIG. 58. Diagram showing calculated heat losses and heat gains each month from November 1964 to April 1965. In addition, we see the difference between the calculated heat losses and the recorded heat gains. It is clear from the latter piece of information that the

difference arrived at for most of the months is very small. There was thus an excellent measure of agreement between heat consumption and the calculated heat requirements.

FIG. 59. The total calculated heat requirement divided between ventilation and transmission losses. The ventilation losses are about $1/3$ of the total heat losses during the whole test period. The figure also shows what percentage of the total heat losses are compensated for by heat gain due to solar radiation through windows. In March and April, solar radiation compensated for most of the heat losses caused by natural ventilation. In December and January, on the other hand, solar radiation was negligible.

- TAB. 1. Records and measurements deriving from the timber-frame house.
- TAB. 2. Surface temperatures, heat flows, thermal resistance and U-values of external walls facing north and east.
The values are the means from measurement periods of one month and refer to a level of 1.6 m above the floor. No corrections have been made for deviations in heat flows.
- TAB. 3. Surface temperatures, heat flows and U-values of external walls facing south and west.
The values are the means from measurement periods of one month and refer to a level of 1.6 m above the floor. No corrections have been made for deviations in heat flows.
- TAB. 4a. Recorded monthly means for heat flow through the oversite concrete slab in the timber-frame house from November 1964 to February 1965.
- TAB. 4b. Calculated "equivalent" heat transmission coefficients (U-values) for floor structures based on the heat flows and air temperatures recorded both indoors and out.
- TAB. 5. Amount of natural ventilation in the timber-frame house.
- TAB. 6. Amount of natural ventilation in ten electrically heated single-family houses according to Coblenz & Achenbach (1963).
- TAB. 7. Calculation of solar radiation. Nälsta, 26th March 1965.
- TAB. 8. Calculation of solar heat gain through windows. Nälsta, 26th March 1965.
- TAB. 9. Example of calculation of the solar heat gain through south-facing windows on 26th March 1965. On that particular day the sky was almost completely free of cloud. Calculation followed the method presented by Höglund & Stephenson (1968) and uses the tables published by them. The table values for 60°N and for windows in south-west walls were used.
- TAB. 10. Solar heat gain through windows.
- TAB. 11. Temperatures determined indoors, outdoors, in the attic, and in the ground around the timber-frame house. The table gives the monthly means plus the upper and lower dispersion limits.
- TAB. 12a. Intensity of solar radiation recorded on south elevation and on horizontal surface when conducting measurements at the timber-frame house in Nälsta. The table gives the daily means, I, for each month, dispersion

limits and the lowest and highest daily mean for each month. It also gives the total recorded intensity for the month on the respective surfaces.

- TAB. 12b. Intensity of solar radiation recorded on north and east facing elevations when conducting measurements at the timber-frame house in Nälsta. The table gives the daily means, I, for each month, dispersion limits and the lowest and highest daily mean for each month. It also gives the total recorded intensity for the month on the respective surfaces.
- TAB. 13. Mean wind velocities recorded (m/s) at the timber-frame house in Nälsta during the test period plus the highest and lowest daily mean for each month.
- TAB. 14. Comparison of outdoor temperature recorded in Stockholm during the test period and the corresponding temperature for the normal period 1931-1960 according to the statistics of the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (monthly means).
- TAB. 15. Comparison of the number of hours of sunshine each month in Stockholm during the test period and during the normal period 1931-1960 according to the statistics of the Swedish Meteorological and Hydrological Institute.
- TAB. 16. Observations of snow depth at the timber-frame house in Nälsta.
Observations of snow depth were made approximately once a week, thus providing a good idea of the presence of snow and its average depth.
- TAB. 17. Heat consumption levels determined in the timber-frame house.
- TAB. 18. Heat consumption during the day and during the night and the ration of day consumption to night consumption for each two-week period.
- TAB. 19. Number of hours when the temperature was more than $+22^{\circ}\text{C}$ in the timber-frame house and in relation to the total number of hours.
For room No. , see FIG. 1.
- TAB. 20a. Comparison of recorded heat consumption in a north-facing room and a south-facing room in the timber-frame house in Nälsta.
- TAB. 20b. Features of the rooms compared.
- TAB. 21. Heat balance at windows during the test period November 1964 - April 1965 (kWh). The equivalent U-values is calculated using

$$k_{\text{equ}} = \frac{\Delta \bar{T} \cdot A \cdot t}{W_{t \text{ gross}} - W_s}$$

- TAB. 22. Solar heat gain in kWh per m² of glazed area through triple-glazed windows in Nälsta (monthly means).
- TAB. 23. Distribution in per cent of transmission losses over external walls, windows and doors, attic floor and ground floor structure between November 1964 and April 1965.
- TAB. 24. Heat losses due to natural ventilation.
- TAB. 25. Calculated heat losses and heat gains. Difference between recorded and calculated values (kWh).

R7:1973

Denna rapport avser anslag C 575 från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.

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

Pris: 25 kronor