



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.



ROBERT ÖMAN

# Överglasning av stora byggnads- volymer

R18: 1993

En tvärvetenskaplig ut-  
värdering av ett köpcentrum

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129259

 BYGGFORSKNINGSRÅDET

R18:1993

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA  
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD  
BIBLIOTEKET

# Överglasning av stora byggnadsvolymer

En tvärvetenskaplig utvärdering av ett köpcentrum

Robert Öman

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 890608-4 från Statens råd för byggnadsforskning och anslag från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond till Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm.

## REFERAT

Systematiserade erfarenheter av stora överglasningars funktion i samband med köpcentrum, hotell, kontor m m är ännu förhållandevis begränsade. Syftet med denna avhandling är att tillföra utökade kunskaper och erfarenheter om stora överglasningar. De överglasade gågatorna i det ombyggda Skärholmens Centrum i Stockholm är huvudsakligt referensobjekt. De tvärvetenskapliga studierna omfattar termisk komfort, temperaturförhållanden, ventilation, energibalans, fuktförhållanden – mykologi, akustik, drift – underhåll – beständighet och sociologi.

Sammanfattningsvis visar resultaten att stora överglasningar i offentlig miljö i skandinaviskt klimat har goda förutsättningar att fungera väl både tekniskt och socialt. Genom överglasningen av gågatorna i Skärholmens Centrum har man t ex erhållit 4 000 m<sup>2</sup> uppskattade och väl utnyttjade ytor med ett i huvudsak bra termiskt klimat, samtidigt som hela anläggningens energiförbrukning för uppvärmning utifrån både teoretiska beräkningar och mätningar påvisas minska med storleksordningen 10 %. Avslutningsvis kan konstateras att stora överglasningar medför en rad fysikaliska / tekniska problem, men att dessa går att bemästra med dagens teknik.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R18:1993

ISBN 91-540-5536-9  
Byggforskningsrådet, Stockholm

Gotab 97391, Stockholm 1993

# INNEHÅLL

Förord	6
Summary	7
Beteckningar	14
1. Inledning och bakgrund	16
2. Forskningsprojektets mål, avgränsning, organisation och metodik	19
3. Beskrivning av den studerade överglasningen i Skärholmens Centrum	23
3.1 Byggnadsteknisk beskrivning	25
3.2 Beskrivning av värme- och ventilationssystem	37
3.3 Några erfarenheter från produktionsskedet	42
4. Termisk komfort	45
4.1 Bakgrund och definitioner	45
4.1.1 Använda storheter	47
4.2 Rekommendationer	51
4.3 Inverkan av olika faktorer	52
4.3.1 Lufthastighet	53
4.3.2 Klädsel och aktivitet	56
4.4 Mätutrustning och metodik	57
4.5 Kort beskrivning av överglasningen i Kichijoji, Tokyo	59
4.6 Undersökningsresultat	62
4.6.1 Skärholmens Centrum	62
4.6.2 Kichijoji, Tokyo	73

5.	Temperaturförhållanden	77
5.1	Bakgrund och metodik	77
5.2	Undersökningsresultat	81
5.2.1	Temperaturförhållanden sommartid	81
5.2.2	Temperaturförhållanden vintertid	84
5.2.3	Samband mellan inne- och utetemperatur och begreppet uppvärmningsgrad	88
5.2.4	Temperaturprofil nära golv	100
5.2.5	Temperatur i omgivande byggnader	104
5.2.6	Temperatur i lastgator	105
6.	Ventilation och luftrörelser	110
6.1	Mekanisk och naturlig ventilation	110
6.2	Överluftsflöde mellan överglasning och omgivande byggnader	113
6.3	Lufthastigheter i vistelsezonen	118
6.4	Tryckskillnader	121
7.	Energibalans	123
7.1	Inledning	123
7.2	Metodik	124
7.3	Uppmätt energiförbrukning	131
7.4	Stationära beräkningar av energibalans	140
7.5	Datorberäknad energibalans	147
7.5.1	Energibalans för månader och år	147
7.5.2	Energibalans och temperatur för enstaka dygn	166
7.5.3	Några erfarenheter av datorberäkningarna med BRIS	178
7.6	Sammanfattning	180
8.	Fuktförhållanden och mykologi	183
8.1	Bakgrund och metodik	183
8.2	Luftfuktighet	185
8.3	Mykologi	187

9.	Akustik	190
9.1	Bakgrund och problemställning	190
9.2	Storheter och mät- och beräkningsmetoder	191
9.3	Överglasningens inverkan	193
	9.3.1 Mätresultat	194
	9.3.2 Datorsimuleringar	195
9.4	Öppna butiksentréers inverkan	198
	9.4.1 Mätresultat	199
	9.4.2 Datorsimuleringar	201
10.	Drift-underhåll-beständighet	206
10.1	Bakgrund och metodik	206
10.2	Några erfarenheter av täthet	207
10.3	Tätningens beständighet	208
10.4	Glasluckors temperaturrörelser	216
10.5	Städning och tvättning av fönster	218
10.6	Övriga erfarenheter	225
11.	Sociologiska undersökningar	228
11.1	Bakgrund och metodik	228
11.2	Resultat avseende offentliga byggnader	230
	11.2.1 Allmänt	230
	11.2.2 Besvärreaktioner	235
	11.2.3 Semantisk miljöbeskrivning	239
11.3	Kompletterande erfarenheter avseende flerbostadshus	242
12.	Jämförelse mellan resultat från tekniska och sociologiska undersökningar	251
12.1	Termisk komfort	251
12.2	Övriga resultat	256
13.	Sammanfattning och slutsatser	261
	Referenser	274
Bilaga 1	Normalårskorrigeringsmetod av uppmätt energiförbrukning	283
Bilaga 2	Datormodell och indata för beräkningarna av energibalans	294

# Förord

Denna avhandling omfattar en tvärvetenskaplig utvärdering av stora överglasningars funktion. Referensobjekt är i första hand den stora överglasning som gjordes 1984 i Skärholmens Centrum i sydvästra Stockholm.

Detta forskningsprojekt, som påbörjades i slutet av 1984, har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning och Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond. En mindre del av arbetet har gjorts i Japan, vilket blev ekonomiskt möjligt bl a tack vare Allmänna Ingenjörbyråns (AIB:s) Stipendium till H. G. Torulfs minne och Svenska Institutets (SI:s) Stipendier till yngre forskare. Det avslutande arbetet med att skriva denna avhandling har finansierats av Jubileumsstipendiet från Stockholms Byggnadsförening.

Inom ramen för detta forskningsprojekt har ett flertal personer medverkat på olika sätt, vilket bl a framgår av kapitel 2. Till min handledare, professor Ingemar Höglund, och alla andra som medverkat och stött mig med detta arbete vill jag framföra ett varmt tack.

Stockholm i mars 1993

Robert Öman



# Summary

Large glass-covered spaces related to shopping centres, hotels, office buildings etc are quite common nowadays, at the same time as systematized experiences of the function of these spaces are still relatively limited. The aim of this thesis is to provide additional knowledge and experience of large glass-covered spaces (atrium buildings) by means of studies of a large number of problem areas. The glazed pedestrian precincts of the rebuilt Skärholmen Centre in south-west Stockholm are the main object of these interdisciplinary studies. Emphasis is placed on technical and physical conditions, though these are supplemented by sociological investigations. The method employed includes various field measurements and theoretical calculations, together with interviews and questionnaires.

From the point of view of construction and installation techniques Skärholmen Centre is relatively simple and conventional, that is to say, the results presented here have been obtained without the need to consider any kind of advanced experimental construction. The glazed pedestrian precincts have floor-heating coils and a mechanical supply and exhaust ventilation system.

The thermal climate of the glass-covered pedestrian precincts of Skärholmen Centre, with as well as without active heating with floor-heating coils, is good on the whole, which is evident from comprehensive determinations of both thermal comfort and temperature conditions, as well as from supplementary sociological investigations. Various items of clothing, mainly outdoor clothes, lead to compensation for various climates (seasons) which are shown to be of great importance. The indoor temperature varies greatly during the day, and this has proved to correspond to a considerable saving in energy compared with what would happen if the temperature were to be kept more constant.

In spite of having no cold draught protections (special heaters), the experience of Skärholmen Centre shows that cold draught in practice does not have to cause any major problems in a glass-covered space. In winter, however, it is difficult to avoid much lower temperatures in the vicinity of outer entrances than those obtaining in the central areas of the glass-covered space. Here, the temperatures noted at floor level are clearly linked to the distance inside the entrances that consist of revolving doors.

Field measurements carried out at Skärholmen Centre indicate that even in summer this large glass-covered space provides a thermal climate that is generally favourable. An unpleasantly warm climate and problems with solar radiation in summer have largely been avoided. It is shown that an outdoor temperature of 25 °C corresponds to an approximate break point in this case; above this outdoor temperature the average temperature during the afternoon is lower indoors than outdoors. Important reasons for this favourable result are the protection provided from solar radiation by surrounding buildings and the varying geometry of the glazing and the relatively limited glazed surfaces, but also passive cooling from the air-conditioned surrounding buildings would also seem to have a bearing on the moderate indoor temperatures. In this case solar radiation has remarkably little effect on the mean indoor temperature. The conclusion drawn from these results is that in the Scandinavian climate large glass-covered spaces can well be undertaken in a way that avoids problems of excessive temperatures, even without air conditioning or even such things as curtains.

A supplementary study has been made of the thermal comfort in glazed pedestrian precincts in a Tokyo shopping mall. Even at these more southerly latitudes with a much warmer climate than that of Scandinavia it emerges that in summertime a very simple glass-covered space can in fact provide a cooler and consequently better thermal climate indoors compared with the outdoor one.

The relationship between the indoor and outdoor temperature provides a good deal of interesting information about temperature conditions where glass-covered spaces are concerned, and the relationship shows in principle the "extent" to which the space is heated. In order to quantify the degree of heating the following is introduced:

$$DH = 100 \cdot (1 - k) (\%)$$

where DH = the degree of heating (%) and k = the slope of the straight line that constitutes the best approximation of the indoor temperature as a function of the outdoor temperature. This degree of heating enables a simple comparison of the temperature conditions (the degree of heating in relation to the outdoor climate) between different glass-covered spaces and/or buildings in general.

In this case the degree of heating for the glazed pedestrian precincts with floor heating in operation during the heating season is about 85 % both day and night (with indoor temperatures of about 19 °C and 15 °C respectively at an outdoor temperature of 0 °C). Without floor heating the degree of heating

during the day is still over 80 %, though it falls to below 60 % during the night (with indoor temperatures of about 17 °C and 13 °C respectively at an outdoor temperature of 0 °C).

The glass-covered pedestrian precincts and surrounding shops in Skärholmen Centre have separate mechanical supply and exhaust ventilation systems, and the planning did not allow for any flow of transferred air via, for example, the entrances. However, it seems clear that the transferred air between surrounding buildings and the glazed space via open shop entrances is very considerable, and this clearly is very important for the energy balance as well as for the thermal climate. The transferred air is obviously the main cause of the variations in the indoor temperature and the main cause of this transferred air is that the mechanical supply and exhaust air flow rates in the shops are different. In summer, when the ventilation is natural, with open entrances and glass hatches, incoming air enters the glazed space in the first place as transferred air via the open entrances to the shops, and not therefore via the open outer entrances.

In most places in the occupied zone of the glazed space the air velocity is low. It is mainly near the outer entrances and the entrances to the shops that the air velocity is considerable, and one small problem in this connection is that the climate in the entrances themselves, in summer as well as in winter, can be experienced as unpleasant and cold because of the high air velocity. Directly under the glass roof (between 5 and 21 m above the floor) there is usually positive pressure, corresponding to air exfiltration. At floor level the pressure varies between slightly positive and negative, and this, *inter alia*, is important as regards the climate inside outer entrances that consist of sliding doors.

The results as regards the energy balance are based on a large body of material relating to energy consumption recorded as well as to the calculated energy balance. The measurement results show that the average annual consumption of energy corrected to a normal year for heating the whole complex (the glass-covered space and the surrounding buildings) fell by 2 % when the glazed space had floor heating in operation and by 7 % when it had not. According to computer calculations using the BRIS programme corresponding values are 10 % and 14 % respectively. A similar result was also obtained with a much simpler computer calculation and with an ordinary manual calculation with stationary conditions.

The average energy saving of 7 % without floor heating corresponds to almost 500 MWh/year or about 200,000 SEK per year if the price of energy is assumed to be 0.40 SEK/kWh.

The results relating to the measured consumption of energy must in this connection be interpreted with some caution since this result is greatly affected by the control of the heating and ventilation systems. The results obtained from the computer calculations ought also to be interpreted with a certain caution, in view, *inter alia*, of certain simplifications and rather uncertain input data. Even so, the outcome on the basis of measurements and computer calculations shows a similar result where the energy needed for heating has in fact fallen thanks to the glass-covering. The greater saving of energy obtained according to the computer calculations probably indicates that a certain potential for saving energy has not been utilized.

The measured temperature conditions of the glass-covered space are described relatively well and are given a theoretical explanation by means of the computer calculations. The temperature variations during the winter period are shown to have been due mainly to the transferred air from surrounding buildings, despite the fact that the transferred air flow rate on the basis of measurements has been assumed to correspond to only 17 % of the total air flow rate of surrounding buildings. As a result of this research project, as from the winter of 1988/89 the manager of Skärholmen Centre made a point of replacing virtually all the heating of the pedestrian precincts with transferred air from the shops instead of active heating by means of floor heating coils. The air from the shops is more or less equivalent to free waste heat which was simply lost prior to the glass-covering. According to the computer calculations the saving obtained through the switching off of floor heating corresponds to nearly 300 MWh/year or more than 100,000 SEK a year if the price of energy is assumed to be 0.40 SEK/kWh.

The conclusion of these results is that the planning of large glass-covered spaces affords great opportunities of improving the finances, on the one hand by simplifying or completely eliminating heating installations and, on the other hand, by using mainly free heat for heating purposes. This free waste heat in the form of warmed exhaust air (transferred air) from surrounding buildings is available in all places where the heat content of the air is not utilized in some other way (with, for example, a heat exchanger or an exhaust air heat pump).

Determinations of the humidity conditions of the glass-covered space at Skärholmen Centre during different seasons of the year show that the additional absolute humidity (compared to outdoor air) is low, usually between 0 and 1 g/m<sup>3</sup>. Typical values of the relative humidity are from 20 % to 40 % in winter and from 30 % to 60 % in summer. These low values are explained by the increase in air temperature in relation to the outdoor air and also by the fact that the emission of humidity is small in relation to the ventilation.

The dry air means that the risk of condensation is virtually eliminated in this case. Where mycology is concerned it may, to sum up, be noted that glass-covering has not involved any health hazards that can be attributed to the number of microscopic fungus spores in the indoor air, which is logical when the relative humidity is as low as it is in this case.

The acoustics have been studied by field measurements as well as by computer simulations. As was expected, it transpired that the large glass-covering led to no significant increase in noise level, while the reverberation time was considerably longer. The changes are so large that they are assumed to have a negative effect on the way people experience the glass-covered pedestrian precincts. The open entrances of surrounding buildings can more or less serve to absorb noise and the influence of these entrances on the important speech intelligibility is demonstrated. The conclusion is that when planning glass-covered spaces account ought to be taken of the effect of open entrances on the acoustics. This can lead to a saving in that sound absorbents can be partly or wholly replaced by open entrances.

Some results are shown relating to operations, maintenance and durability. After eight years the glass roof and the vertical glazed areas at Skärholmen Centre showed no visible damage and the structure is still proof against water leaks. Experience gained from other structures, however, reveals that leaks have been a usual problem affecting glass roofs, and in many cases these leaks could be explained as "teething problems" affecting the relatively new glass roofing technology.

Investigations using different methods in the laboratory indicate that six years of using EPDM rubber glazing gaskets have not revealed any significant effect as regards the efficiency of the gaskets. This positive result applies to gaskets facing north as well as south, and it is not expected that any leakage in the glass roof due to the ageing of these gaskets will occur in the foreseeable future.

The glass-covering of the pedestrian precincts at Skärholmen Centre has in practice also led to an often overlooked advantage in that the need for cleaning and window cleaning in surrounding premises is reduced. Since in most cases the costs of cleaning and window cleaning are high, and are for example higher than the costs of heating and electricity, even a relatively small saving will be quite considerable. For this reason, when large glass-covered spaces are planned an attempt should be made to assess the effect on the need for cleaning and window cleaning.

That the glass roof becomes dirty is not a serious problem in this case – cleaning once a year seems sufficient. Nor do snow and ice represent any serious problems. What has been learned confirms that in certain circumstances there is reason to use a reduced snow load for glass roofs.

The sociological enquiries show that the vast majority of people are pleased or very pleased with the glass-covering made at Skärholmen Centre. The glass-covering has led to an increase in the number of new visitors. Many visitors have come more often and have commented on its elegance. Business turnover has increased considerably.

At the same time it is obvious that a glass-covered space such as this can, at least now and then, give rise to certain problems that have to be tackled; one third of those interviewed feel that they sometimes miss the outdoor climate, about one half have felt it has been too warm on occasion, while one third have on at least one occasion felt that the noise level was disturbing. At the same time a number of problems typical of glass-covering have been solved: fewer than one in ten have been blinded or in some other way adversely affected by excessively strong sunlight. Out of seven different adverse reactions it transpired that the feeling of missing the outdoor climate was of greatest importance when assessing public reaction to the glass-covering and this was closely followed by the feeling that the air seemed enclosed. Thus, if a glass-covering is generally viewed as good or bad could to a great extent depend on the air quality.

All things considered, the sociological investigation of, inter alia, Skärholmen Centre shows that large glass-covered spaces in public places are very likely to be appreciated in practice by different groups of users. The few negative remarks that have been made, for example regarding the indoor climate, are connected with problems that are fairly simple to deal with.

The lessons learned from glass-covered spaces in connection with blocks of flats are by no means as positive. The results indicate that large glass-covered spaces in connection with dwellings are less likely to be appreciated by the users than the glass-covered spaces in public places.

Comparisons are made between the results of technical and sociological enquiries. Certain complaints made concerning the thermal indoor climate, the air quality, humidity and the acoustics seem logical enough when compared with the results of measurements etc. It is demonstrated that the colder indoor climate in the glass-covered space in winter can easily be countered by wearing warmer clothing, which explains why virtually none of the visitors felt that the temperature was too low. That the thermal climate in the glass-cove-

red space is in keeping with the outdoor temperature is as it should be since what people wear is determined by the outdoor temperature.

To sum up, there is on the whole good agreement between the results of the two quite separate investigations, that is to say the physical / technical and the sociological / behavioural. Consequently, the results of the two separate investigations support each other, and this means that many of the conclusions from this research project are more certain and general.

To sum up the thesis as a whole, it is clear that in the Scandinavian climate there is every likelihood of large glass-covered spaces in public places functioning well from a technical as well as a social point of view. Through the glass-covering of the pedestrian precincts at Skärholmen Centre it has, for example, been possible to make available 4 000 m<sup>2</sup> of floor space that is appreciated and frequently used in a thermal climate that is good on the whole, at the same time as the energy consumption of heating the whole complex, based on theoretical calculations and measurements, is shown to have been reduced by in the order of 10 %. Finally, it should be noted that large glass-coverings do involve a number of physical / technical problems, but these can be solved by the application of modern technology.

# Beteckningar

a	Temperaturledningstal (termisk diffusivitet), $m^2/s$
A	Absorptionsarea, $m^2 S = m^2 \text{ Sabin}$
B	Totala värmeförluster för en byggnad, $W/^\circ C$
$B_b$	Total värmetransport från omgivande byggnader till överglasning, $kW/^\circ C$
$B_u$	Total värmetransport från överglasning mot uteklimatet, $kW/^\circ C$
c	Specifik värmekapacitet, $J/kg \text{ }^\circ C$
E	Elasticitetsmodul, MPa
EDT	Early Decay Time (ung. tidig efterklangtid), s
F1	Avskärningsfaktor
Fo	Fouriers tal
$h_c$	Värmeövergångstal p g a konvektion, $W/m^2 \text{ }^\circ C$
$h_r$	Värmeövergångstal p g a strålning, $W/m^2 \text{ }^\circ C$
i	Innelufttemperatur (i vissa figurer), $^\circ C$
$I_{cl}$	Klädernas värmeisolerande egenskaper, clo
$I_{sol}$	Total solinstrålning mot en horisontell yta, $W/m^2$
k	Riktningkoefficient
M	Tillgänglig värmekapacitet, $Wh/^\circ C$
M	Människans fysiska aktivitet, metabolismen, met
N	Nätverkstäthet (tvärbindingstäthet)
$P_{\ddot{o}}$	Väretillförsel under överglasningen, kW
PMV	Predicted Mean Vote (förväntat medelutlåtande)
PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied (förväntad procent otillfredsställda), %
Q	Energiförbrukning, MWh/månad eller MWh/år
r	Korrelationskoefficient



STI	Speech Transmission Index (ung. talöverföringsindex), s
T	Tidskonstant, h
T	Efterklangstid, s
$t_a$	Lufttemperatur, °C
$t_{eq}$	Ekvivalent temperatur, °C
$t_o$	Operativ temperatur, °C
$\bar{t}_r$	Medelstrålningstemperatur, °C
u	Utelufttemperatur (i vissa figurer), °C
U	Värmegenomgångskoefficient, W/m <sup>2</sup> °C
UG	Uppvärmningsgrad, %. Se avsnitt 5.2.3
v	Variationskoefficient (relativ standardavvikelse)
V	Volymen för ett rum, m <sup>3</sup>
$v_a$	Lufthastighet, m/s
$\Delta t$	Tidssteg (beräkningssteg), s
$\Delta x$	Tjocklek för ett delskikt, m
$\lambda$	Värmekonduktivitet, W/m °C
$\theta$	Temperatur, °C
$\theta_b$	Innelufttemperatur i byggnader som omger en överglasning, °C
$\theta_u$	Utelufttemperatur, °C
$\theta_{\dot{o}}$	Innelufttemperatur under överglasning, °C
$\rho$	Densitet, kg/m <sup>3</sup>

# 1 Inledning och bakgrund

Intresset för överglasade gågator, gårdar m m har speciellt efter oljekrisen 1973/74 ökat starkt bland projektörer, byggare, förvaltare och allmänhet. Numera är det mycket vanligt med stora överglasningar i samband med köpcentrum, hotell, kontor m m, se t ex Lundquist et al. (1980), Saxon (1983), Børresen et al. (1985), Carlson et al. (1985), Glasoverdækkede uderum (1985), Bednar (1986), Bergman (1989), och Mills (1991). Frågan är om något annat byggnadskoncept fått en sådan snabb internationell spridning sedan de första skyskraporna byggdes i New York i slutet av 1800-talet. Den främsta orsaken till detta torde helt enkelt vara att man med överglasningar kan skapa mycket attraktiva miljöer, vilket naturligtvis är helt avgörande för t ex köpcentrum och hotell. Denna attraktivitet skapas både av själva miljön som normalt präglas av ljus och rymd, men även av det skydd mot uteklimatet som en överglasning kan erbjuda utan att alltför mycket skärma av kontakten med uteklimatet. Det termiska klimat som erhålls är ofta ett mellanting mellan vanligt inne- och uteklimat, och detta "mellanklimat" kan vara ganska idealiskt för personer med ytterklädsel.

Andra orsaker till överglasningars popularitet är den mångsidiga funktionen för kommunikation och olika verksamheter, den rent sociala funktionen som naturlig mötesplats etc., förenklad renhållning och snöröjning och ekonomisk besparing genom förenklat utförande av de fasader som vetter mot överglasningen. Dessutom har man ofta vid projekteringen förhoppning om energibesparing och även förhoppning om förbättrad totalekonomi för hela byggprojektet, d v s att de besparingar som uppnås skall överstiga merkostnaderna för överglasningen.

Trots överglasningars popularitet världen över är dock systematiserade erfarenheter ännu förhållandevis begränsade både i vårt land och internationellt. Inom detta tvärvetenskapliga forskningsprojekt "Överglasning av stora byggnadsvolymer" har därför en tvärvetenskaplig utvärdering gjorts av stora överglasningars funktion i praktiken, och ett flertal problemområden har studerats såväl experimentellt som teoretiskt under som mest åtta år. Dessutom har en kompletterande undersökning gjorts av människors attityder till överglasning.

Praktiskt referensobjekt är i första hand den stora överglasning som gjordes 1984 i Skärholmens Centrum i sydvästra Stockholm, det första riktigt stora överglasningsprojektet för en befintlig centrumanläggning i Sverige. Efter 1984 har överglasning i samband med både ny- och ombyggnad av köpcentrum m m blivit mycket vanligt, se t ex Bengtson et al. (1990).

Detta forskningsprojekt påbörjades i slutet av 1984, samtidigt som ombyggnaden och överglasningen av Skärholmens Centrum gjordes. Den första etappen av detta forskningsarbete redovisades som författarens licentiatavhandling; Höglund, Ottoson och Öman (1987). I denna ingår ett flertal färgfotografier, och bl a därför är denna licentiatavhandling lämplig som komplement till föreliggande doktorsavhandling.

Den överglasning av gågator som gjorts i Skärholmens Centrum är intressant på flera sätt. Den överglasade Storholmsgatans miljö kan jämföras med den parallella icke-överglasade Bredholmsgatan. Överglasningen har också skett med två helt olika system och material, nämligen glas (2-glas isolerrutor) och plast (3-skikts plastpanel). När det gäller ytterentréer finns såväl karusell-dörrar som skjutdörrar. En gynnsam faktor är också att Skärholmens Centrum såväl bygg- som installationstekniskt är relativt enkelt och konventionellt, d v s de resultat som redovisas har uppnåtts utan att det handlar om något avancerat experimentbygge med ett avancerat uppvärmnings- och ventilationssystem. Denna relativa enkelhet gör resultaten mer generellt intressanta, eftersom det ger förutsättningar för att uppnå liknande resultat även för många andra överglasningsprojekt. Den bygg- och installationstekniska beskrivningen av Skärholmens Centrum som tagits fram inom detta forskningsprojekt (se kapitel 3) ger möjligheter att sätta resultaten i relation till verkliga förutsättningar.

Begreppet "överglasning" används genomgående i denna avhandling, och det är motiverat med ett förtydligande. Ordet "glasning" används i praktiken något oegentligt för transparenta konstruktioner, även när dessa består av plast och inte glas. En gård med överbyggnad av plastpanel sägs t ex aldrig vara "överplastad", utan överglasad. Det saknas helt enkelt ett ord som betyder transparent konstruktion av glas eller plast. Vidare används orden överglasning och inglasning ofta med samma betydelse, trots att överglasning kan tyckas syfta mer på en överbyggnad (takkonstruktion) och inglasning mer generellt på en inbyggnad (vägg- och takkonstruktion). Ordet överglasning används vidare både för själva konstruktionen och för den byggnadsvolym (det rum) som överglasningen avgränsar.

En intressant fråga är vidare när en överglasning egentligen borde kallas överbyggnad, eftersom en alltför liten del av konstruktionen är transparent.

Ett sätt att kvantifiera "graden" av överglasning är förslagsvis att dividera den totala arean av såväl vertikala som lutande transparenta ytor mot det fria (inkl. spröjsar o d) med golvarean, vilket t ex skulle kunna kallas "glasningsgrad" och anges i procent. För t ex överglasningen i Skärholmens Centrum erhålls då glasningsgraden  $3\,030\text{ m}^2 / 3\,950\text{ m}^2 = 77\%$ . Genom att ange glasningsgraden kan olika konstruktioner och olika objekt enkelt jämföras, även om naturligtvis även orientering, yttre solavskärmning och glasningens avskärmningsfaktor påverkar solinstrålning och dagsljus. Om glasningsgraden understiger ca 50 % är det kanske inte längre motiverat att kalla det för överglasning.

Följande problemområden ingår i denna avhandling och motsvarar samtidigt kapitel 4–11:

- Termisk komfort
- Temperaturförhållanden
- Ventilation och luftförelser
- Energibalans
- Fuktförhållanden och mykologi
- Akustik
- Drift-underhåll-beständighet
- Sociologiska undersökningar.

Tyngdpunkten i detta arbete ligger på tekniska och fysikaliska förhållanden, vilket dock kompletteras av sociologiska attitydundersökningar till överglasning och användarnas eventuella besvärreaktioner. Detta har möjliggjort en jämförelse av resultat från tekniska/fysikaliska undersökningar ("hårddata") och sociologiska undersökningar ("mjukdata"), vilket redovisas i kapitel 12. Syftet är att slutsatserna från detta forskningsprojekt skall bli så säkra och generella som möjligt, bl a genom att slutsatserna i flera fall bygger på resultat från såväl de tekniska/fysikaliska som de sociologiska undersökningarna, vilka i princip är sinsemellan oberoende.

I samband med utvärderingar av stora överglasningar, vilket motsvarar ett ganska nytt forskningsområde, är ett tvärvetenskapligt arbetssätt mycket motiverat. Detta behov av tvärvetenskaplighet finns egentligen vid utvärdering av byggnader överhuvudtaget. Exempelvis finns det mycket starka samband mellan energibalans, termiskt inneklimat och ventilation, som gör det mycket lämpligt att studera dessa frågor tillsammans. När det t ex gäller termiskt inneklimat är det vidare av största intresse både att kvantifiera klimatet fysikaliskt och dessutom att kvantifiera hur användarna upplever detta klimat; det är ju faktiskt användarnas önskemål som bör vara det primära i detta sammanhang.

## 2 Forskningsprojektets mål, avgränsning, organisation och metodik

### MÅL

Detta forskningsprojekt har som tidigare nämnts en tvärvetenskaplig karaktär, där ett stort antal viktiga problemområden i samband med stora överglasningar har studerats. Målet med detta forskningsprojekt och denna avhandling är att tillföra utökade kunskaper och erfarenheter om stora överglasningar. Förhoppningsvis kan resultaten komma till nytta i samband med olika överglasningsprojekt; såväl vid projektering, byggande som teknisk förvaltning.

### AVGRÄNSNING

Denna avhandling är begränsad till stora överglasningar, d v s av gågator, gårdar o d. Överglasade uteplatser, inglasade balkonger o d ingår alltså inte. Den tvärvetenskapliga utvärderingen (studierna) omfattar i huvudsak de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum. Att utvärderingen kallas tvärvetenskaplig innebär inte att alla problem i samband överglasning har studerats. Som framgår av följande sammanställning går dock innehållet i denna avhandling över flera ämnesgränser, varför arbetet kan kallas tvärvetenskapligt. I det följande har sammanställts de problemområden och några av de delfrågor som ingår. Sammanställningen följer motsvarande indelning i kapitel 4–11.

#### **Termisk komfort**

Lämpliga storheter, definitioner. Rekommendationer för att erhålla ett bra termiskt klimat. Inverkan av lufthastighet m fl faktorer. Termisk komfort under året på olika platser. Resultat även för en överglasning i ett helt annat klimat (i Tokyo).

### **Temperaturförhållanden**

Temperaturer på olika platser under riktigt kalla och varma perioder. Samband mellan inne- och utetemperatur med skillnad mellan dag och natt, mellan klara och mulna dagar, med och utan golvvärme etc. Introduktion av storheten uppvärmningsgrad för att kvantifiera temperaturförhållandena med ett enda värde. Vertikal temperaturprofil, inverkan av ytterentréer (skjutdörrar och karuselldörrar).

### **Ventilation**

Funktion av mekanisk och naturlig ventilation. Inverkan av överluftsflöde mellan överglasning och omgivande byggnader. Tryckskillnader, luft-hastigheter.

### **Energibalans**

Olika normalårskorrigering. Framtagande av en datormodell som förenklat beskriver förhållandena i Skärholmens Centrum. Jämförelse av resultatet med respektive utan överglasning utifrån såväl uppmätt energiförbrukning som datorberäknad energibalans. Enkel stationär energibalans (som komplement till datorberäkningarna). Värmetransport p g a transmission och överluftsflöde mellan överglasning och omgivande byggnader. Inverkan av solinstrålning. Jämförelse mellan teoretiskt beräknade och uppmätta temperaturförhållanden.

### **Fuktförhållanden**

Luftfuktighet och fuktillskott. Risk för kondens. Luftens halt av mögelsporer, artspektrum och eventuella hälsorisker.

### **Akustik**

Akustik för öppen respektive överglasad gågata utifrån fältmätningar och datorberäkningar. Överglasningens inverkan på ljudnivå, efterklangstid och reflektion av ljudvågor. Öppna butiksentréers inverkan på efterklangstid och taluppfattbarhet.

### **Drift – underhåll – beständighet**

Tätheten hos glastak. Beständighet för tätningslister. Verkliga och teoretiska temperaturrörelser hos glasluckor. Överglasningens inverkan på behovet av städning och fönstertvätt i omgivande byggnader. Övriga praktiska erfarenheter av drift och underhåll.

### **Sociologi/beteendevetenskap**

Allmänt omdöme om överglasning från olika kategorier av användare. Frekvens av olika besvärreaktioner. Hur den överglasade miljön upplevs.

Dessutom ingår en jämförelse av resultat från de tekniska/fysikaliska och de sociologiska undersökningarna, vilket redovisas i kapitel 12.

Bland de problemområden som inte ingår i denna avhandling kan nämnas brandskydd. I den första etappen av detta forskningsprojekt ingick dock även en studie av brandskydd, se kapitel 15 i Höglund et al. (1987). Ljusförhållanden ingår inte heller i denna avhandling annat än som en liten del av de sociologiska undersökningarna.

## FORSKNINGSORGANISATION

Projektplanering och -ledning: professor Ingemar Höglund och t o m 1986-04-23 docent Valdis Girdo. Laboratoriepersonalen, Christer Hägglund och Rolf Sundqvist, har arbetat under ledning av laboratoriechefen, teknL Göran Ottoson. Ett flertal figurer i denna avhandling har ritats av ing Birgitta Andersson.

Docent Engelbrekt Isfält, Inst. för installationsteknik, KTH, har fungerat som handledare för datorberäkningarna av energibalans med programmet BRIS. Hjälp med att genomföra dessa beräkningar har även erhållits av civ ing Teddy Rosenthal, DALAB. Ett flertal uppgifter om avläst energiförbrukning m m i Skärholmens Centrum har erhållits av ing Åke Lindblom m fl, AB Svenska Bostäder. Bestämningarna av termisk komfort för ett köpcentrum i Tokyo (avsnitt 4.6.2) kunde genomföras tack vare hjälp av professor Ken-ichi Kimura m fl vid Department of Architecture, Waseda University, Tokyo.

Inom projektet har medverkat följande specialister:

I mykologi (avsnitt 8.1 och 8.3): adj professor Arne Hyppel, Inst. för byggnadsteknik, KTH.

I akustik (kapitel 9): adj professor Sten Ljunggren, Inst. för byggnadsteknik, KTH, och civ ing Erik Rudolphi, DNV Ingemansson AB.

I polymerteknologi (avsnitt 10.3): teknD Folke Björk, Inst. för byggnadsteknik, KTH.

I sociologi (kapitel 11 utom avsnitt 11.3): fil dr Arne Modig, Sociologiska inst., Stockholms Universitet.

## METODIK

Stora och mer eller mindre okonventionella överglasningar erbjuder ett komplext problemområde. Miljön i Skärholmens Centrum har t ex förändrats radikalt genom överglasningen av de tidigare öppna gågatorna. Dessa föränd-

ringar kan beskrivas och kvantifieras på flera olika sätt. Detta forskningsprojekt har i huvudsak varit inriktat på att bestämma tekniska och fysikaliska resultat, s k "hårddata", med både experimentella och teoretiska metoder.

En viktig komplettering utgör dock de sociologiska resultat, s k "mjukdata", som erhållits med hjälp av intervjuer och enkäter i beteendevetenskapliga attitydundersökningar. På detta sätt har eftersträvat en så allmängiltig bild som möjligt av hur stora överglasade miljöer kan fungera i praktiken. Det är nämligen i många fall förhållandevis enkelt att med "hårddata", d v s att med rent tekniska och fysikaliska mått, bestämma det klimat m m som en överglasning medför. Något som däremot ofta är besvärligt, är den egentliga *utvärderingen* (tolkningen) av dessa resultat.

Som ett typexempel kan man här ta de akustiska förhållandena. De aktuella fysikaliska parametrarna är här i de flesta fall ljudnivå och efterklangstid, vilka båda kan bestämmas med standardmetoder. Vad man däremot inte direkt kan säga, är om användarna samtidigt anser att akustiken är "bra" eller "acceptabel". Det finns visserligen kriterier för olika typer av lokaler, men en stor överglasning är i detta sammanhang så pass unik att inga befintliga kriterier är direkt tillämpbara. Det är därför mycket lämpligt att de uppmätta och beräknade storheterna relateras till "mjukdata", d v s till vad människor samtidigt verkligen tycker är bra och dåligt. På detta sätt fås erfarenheter som kan tillämpas på kommande projekt och så småningom bilda en grund för nya kriterier.

Inom projektet har använts ett antal olika mätmetoder för att kvantifiera olika klimatparametrar m m, och dessa mätresultat kompletteras i flera fall av beräkningar. Datorberäkningar har använts för att fastställa energibalans och akustiska förhållanden. Mät- och beräkningsmetoder m m beskrivs i det följande under respektive kapitel.

Vissa delfrågor är inte tillgängliga för beräkningar eller direkta mätningar, t ex ett flertal frågor i samband med drift och underhåll, såsom renhållning, snöbeläggning, ytkondens, läckage m m. Utvärderingen baseras då på dels observationer från regelbundna besök, och dels erfarenheter från förvaltaren i Skärholmens Centrum, AB Svenska Bostäder. Resultaten beträffande uppmätt energiförbrukning, avsnitt 7.3, baseras på avläsningar som görs av AB Svenska Bostäder. När det gäller frågan hur överglasningen har påverkat behovet av städning och fönstervätt har en speciellt framtagen enkät använts, se avsnitt 10.5. De sociologiska undersökningarna har gjorts med hjälp av intervjuer och enkäter, se kapitel 11.



### 3 Beskrivning av den studerade överglasningen i Skärholmens Centrum

Skärholmens Centrum ligger i sydvästra Stockholm, 10 km från Stockholm Central. Redan i generalplanen av år 1962 för Sättra-Vårbyområdet anges ett storcentrum i området. På försommaren 1964 uppdrogs åt AB Svenska Bostäder att projektera och bygga Skärholmens Centrum. Den 8 september 1968 invigdes huvuddelen av centrum, som då hade planerats för att 1975 betjäna ca 300 000 invånare i sydvästra Stor-Stockholm. I invigningsbroschyren fanns följande formulering: "Den principiella målsättningen för Skärholmens Centrum har varit att skapa förutsättningar för ett mångsidigt utbud av varor och tjänster på samma sätt som fallet är med Vällingby och Farsta. Lokaler för sociala, kulturella och likartade aktiviteter utgör därför en viktig del av centrum även om den kommersiella sektorn ytmässigt dominerar".

Redan under bygg- och uthyrningstiden framförde många hyresgäster inom detaljhandeln sina farhågor med anledning av att centret inte var överbyggt. Kritik mot den fysiska miljön framfördes ofta. Franzén (1968) beskrev "ett förortscentrum som är ett av de mest människoföraktande som hittills byggts", se figur 3.1. Under 1980 lät AB Svenska Bostäder en arbetsgrupp ta fram ett idéprogram avseende hela centrumanläggningen. Programmet innehöll förslag till såväl överbyggnad som klimatskyddande gångar från tunnelbanestationen. Sammantaget visade det sig att förslaget skulle kosta ca 75 Mkr att genomföra, ett investeringsbelopp som inte var realistiskt att på sedvanligt sätt omforma till hyreskostnad.

I likhet med många andra förortscentrum drabbades även Skärholmens Centrum av ett vikande kundunderlag och butikernas omsättning var på väg ned. Kritiken mot den fysiska miljön blossade upp på nytt. Framför allt påtalades att centret kändes kallt och blåsigt, vissa stråk kändes rentav otrevliga att röra sig i och undveks därför av gående. Mot den bakgrunden lät AB Svenska

# Riv Skärholmen!

DEN SOM närmar sig Stockholm söder ifrån ser den terrasserade höghusbebyggelsen i Skärholmen slå fram direkt ur grönskan med en hisnande vithet, som om landskap och stadsarkitektur äntligen stödde varandra.

Detta är emellertid alls inte fallet. Skärholmens skyline är en kuliss kring ett förortscentrum som är ett av de mest människoföraktande som hittills byggts, en för sen import av amerikansk stadsplanering från slutet av fyrtioalet, föråldrad redan då.

Ni märker det om ni skulle begå misstaget att försöka gå till Skärholmen. Det är nämligen inte meningen att man ska gå dit ens om man bor ganska nära. Man ska köra sin bil, och man ska köra in den i parkeringshuset för fyra tusen bilar, och sedan ska man handla i varuhuset eller gå till tandläkaren och sedan skall man åka bil därifrån. Funktionen bilist – funktionen konsument, men ingen plats för hela människan.

Jag vet inte om de som är politiskt och ekonomiskt ansvariga för Skärholmen center medvetet negligerar vår rätt till en stadsmiljö där människor vill vara

och mötas även då de inte är på väg att köpa möblemang eller mellanöl. Är det snålhet eller dumhet som skapar denna frigida stenmiljö, där individer och grupper bara är utlämnade åt en arm tomhet så snart de skulle vilja använda den för sin egen skull?

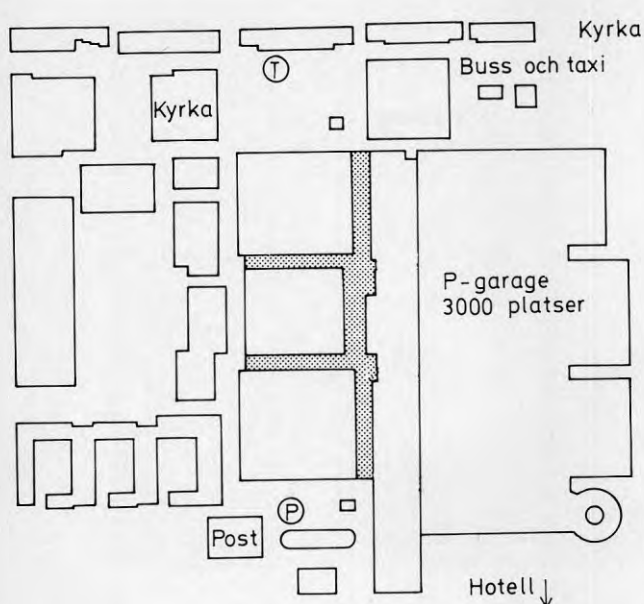
I ett hörn av en sådan här äcklig piazza läste en blyg ung man på stapplande svenska upp ett litet manifest som han skrivit innan och där han frågade "var finns här en plats för människan".

Det egendomliga hände nu att ingen fann vad han sa löjligt eller patetiskt. Man stannade ett ögonblick i en tät ring runt om honom och svarade på hans anförande med intensiva applåder. Till och med här mitt i ståhejet insåg många att vad de invigde var sjuttioalets slum. Och de såg fram emot de långa höstkvällarna då vinden blåser mellan husen och affärerna är stängda och ingen har något där att göra, för det enda man kan använda Skärholmen center till är att rulla engångsglas så det låter riktigt jävligt mellan väggarna. Riv det!

*Figur 3.1. Ett extremt exempel på kritik mot miljön i Skärholmens Centrum utgör denna artikel från Dagens Nyheter, där Franzén (1968) endast två dagar efter invigningen av huvuddelen av centrum skrev "Riv Skärholmen!"*

Bostäder 1982 göra en vindstudie i Skärholmen, se Alvedahl et al. (1982). Studien visade att vindförhållandena i de långa gångstråken var ytterst besvärande och måste åtgärdas. Tankarna på ett inbyggt centrum aktualiserades.

JM Byggnads och Fastighets AB presenterade under vintern 1983/84 ett förslag till överglasning av drygt hälften av gågatorna som AB Svenska Bostäders styrelse godkände i mars 1984. Det nya Skärholmens Centrum – ett av Skandinaviens största köpcentrum – invigdes den 22 november 1984 av prins Bertil. Av figur 3.2 framgår de överglasade gågatorna i förhållande till omgivande byggnader.



Figur 3.2. Plan över Skärholmens Centrum, där uppgången från tunnelbanan markerats med ett inringat T. Det prickade området visar den del som överglasades 1984. Syftet med överglasningen är att skapa en mer attraktiv miljö och ett bättre klimat än vad de öppna gågatorna kunde erbjuda, och därmed förhoppningsvis locka fler kunder till butikerna.

### 3.1 Byggnadsteknisk beskrivning

Skärholmens Centrum omfattar ett 90-tal butiker. År 1984 gjordes en ombyggnad då drygt hälften av gågatorna, d v s 4 000 m<sup>2</sup>, överglasades. Överglasningen (inbyggnaden) har gjorts med 1 900 m<sup>2</sup> 2-glas isolerrutor med bärverk av stål, 1 100 m<sup>2</sup> 3-skikt opaliserande plastpanel med bärverk av limträbågar och -åsar och totalt 3 100 m<sup>2</sup> skärmtak m m (isolerade med 10–16 cm mineralull). Mellan omgivande byggnader och överglasning finns totalt 2 100 m<sup>2</sup> skyltfönster och dörrar med enkelglas. Av de sex omgivande huskropparnas totala fasadyta vetter 32 % mot överglasningen. Ombyggnaden berör ett 40-tal butiker och två varuhus.

Skillnaden i miljö före och efter överglasningen framgår av figur 3.3–3.4. Av figur 3.4–3.6 framgår hur varierad den överglasade miljön är. Överglasningens konstruktion framgår av figurena 3.7–3.13. Såväl ombyggnadskedet som den färdiga miljön framgår av färgfotografier i Höglund et al. (1987).



*Figur 3.3. Den icke-överglasade Bredholmsgatan (se figur 3.7) ger en god uppfattning om miljön före överglasningen.*



*Figur 3.4. Den överglasade Storholmsgatan med 460 m<sup>2</sup> glastak som vetter mot öster. Här framgår bl a att de befintliga utskjutande taken utnyttjades vid inbyggnaden. Miljön är direkt jämförbar med den öppna gågatan ovan.*



*Figur 3.5. Norra och södra delen av Storholmsgatan har tak av 3-skikts opaliserande plastpanel. Detta café är ett exempel på att gågatorna efter överglasningen kan användas för olika aktiviteter, och inte enbart som kommunikationsytor.*



*Figur 3.6. Lillholms- och Byholmsgången är 9 m breda och har endast 1,5 m breda glastak 12 m över golv. Dessa gågator har därför mindre dagsljus än Storholmsgatan.*

Gågatorna Storholmsgatan, Byholmsgången och Lillholmsgången med tre olika typer av överglasning (med helt olika geometri, se figur 3.4 – 3.6) knyts samman med två stycken 21,5 m höga glastorn i knutpunkterna. De två tornen har glasade vertikala ytor och tjänstgör delvis som ”fyrbåkar” under mörka kvällar. Som framgår av sektionerna i figur 3.8 och 3.9 är skuggningen av omgivande byggnader betydande, medan solavskärmning i form av gardiner e d saknas. Av överglasningens totalt 3 000 m<sup>2</sup> glas och genomskinlig plastpanel är 180 m<sup>2</sup> öppningsbart, vilket både fungerar som komfortventilation sommartid och rökgasventilation vid brand.

Utbyte av mörkt marktegel mot ljus Ekebergsmarmor som golvbeklädnad samt inläggning av värmeslingor i golvet var betydande moment vid ombyggnaden. De överglasade gågatorna ansluter mot parkeringshuset via två stycken ytterentréer med dubbla automatiska skjutdörrar och mot det fria med fyra stycken ytterentréer med stora karuselldörrar. Vid ytterentréerna finns dränerande skrapgaller och dessutom utvändiga markvärmeslingor för att undvika att snö och vatten dras in i anläggningen.

I samband med ombyggnaden installerades nya stora ljuskronor och armaturer och befintliga fasader högtryckstvättades. Sittbänkar och blomsterarrangemang bidrar också till att skapa en trivsamt och ombonat inomhusmiljö för såväl kunder som för dem som arbetar i centrumanläggningen. Flera butiksägare har sedermera öppnat och låtit bygga om sina entréer mot de överglasade gågatorna för att därigenom skapa en bättre atmosfär för såväl kunder som butiksanställda. Denna åtgärd har som framgår av kapitel 9 gynnsam inverkan på akustiken.

Överglasningen tillsammans med de sex huskropparna betraktades av brandmyndigheterna som en enhetlig brandcell. Mycket viktigt för brandskyddet var installation av ett automatiskt sprinklersystem, se vidare kapitel 15 i Höglund et al. (1987).

Termiskt sett kan anläggningen karakteriseras som i princip en ”helklimatiserad” överglasning. Överglasningen avsågs vid projekteringen hålla en lufttemperatur på ca 18 °C under vinterhalvåret med aktiv uppvärmning utöver tillskottet från kringliggande byggnader. Under kväll och natt skulle temperaturen få sjunka till 15 °C.

En sammanställning av fakta om ombyggnaden har gjorts i tabell 3.1. Som framgår av denna tabell består ungefär hälften av inbyggnaden av transparenta ytor och hälften av konstruktioner isolerade med 10–16 cm mineralull; skärmtak, tak över glastorn och 30–90 cm höga sarger runt glasning och plastpanel. Större delen av skärmtaken fanns redan innan överglasningen gjordes, men

Tabell 3.1. Sammanställning av fakta om ombyggnaden (överglasningen) i Skärholmens Centrum 1984.

---

Överglasade gågator	3 950 m <sup>2</sup>
Ekebergsmarmor	3 950 m <sup>2</sup>
Glasning (2-glas) <sup>1)</sup>	1 900 m <sup>2</sup>
Plastpanel (3-skikts) <sup>1)</sup>	1 130 m <sup>2</sup>
Skärmtak m m	3 050 m <sup>2</sup>
Överglasad volym	28 800 m <sup>3</sup>
Golvvärmeslingor	16 000 lpm
Sprinkler	1 100 st sprinklerhuvuden

Stommar utfördes av stål (ca 110 ton) och limträ

<sup>1)</sup> Av totalt 3 030 m<sup>2</sup> transparenta ytor är 180 m<sup>2</sup> öppningsbart

---

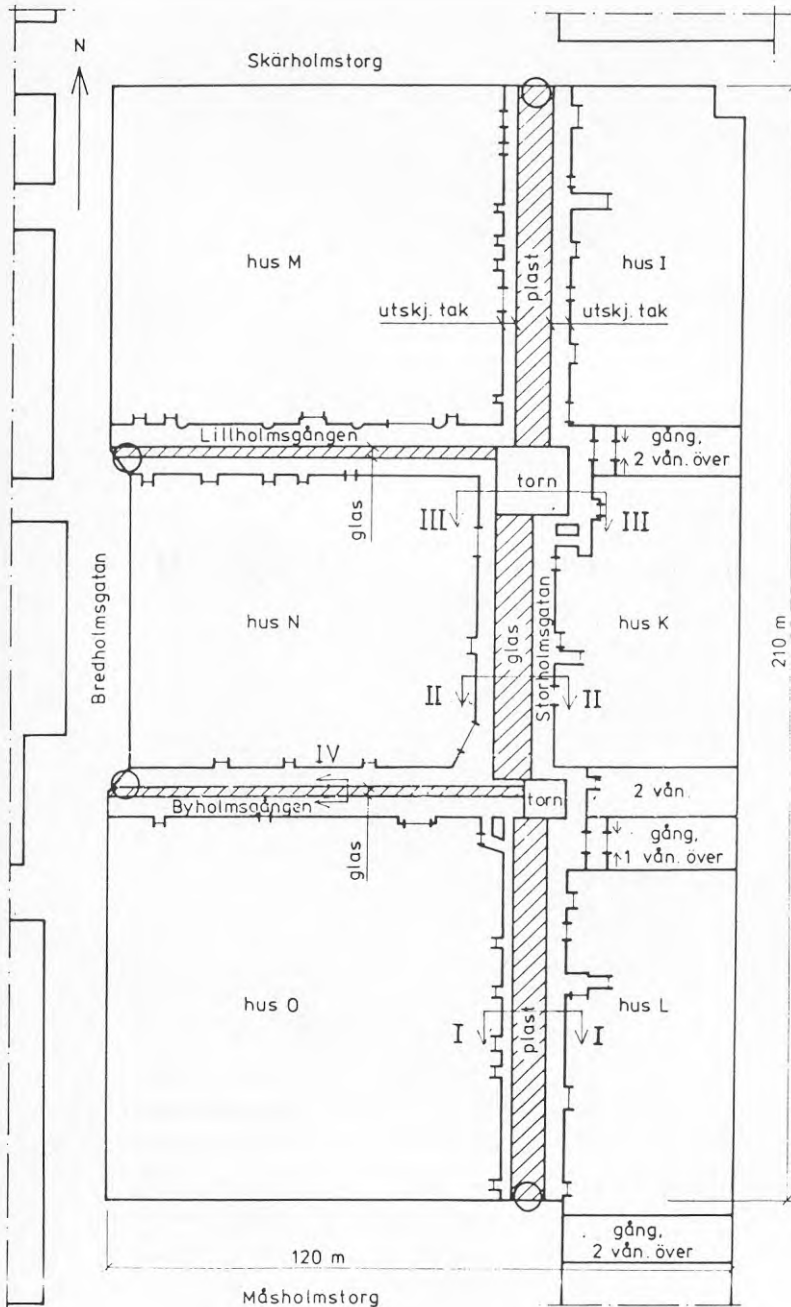
Samtliga ytor som omger de överglasade gågatorna:

Golv mot lastgator (Ekebergsmarmor)	3 950 m <sup>2</sup>
Glasning (2-glas)	1 900 m <sup>2</sup>
Plastpanel (3-skikts)	1 130 m <sup>2</sup>
Skärmtak <sup>2)</sup>	2 260 m <sup>2</sup>
Tak över tornen <sup>2)</sup>	250 m <sup>2</sup>
Sarger <sup>2)</sup>	540 m <sup>2</sup>
Väggar mot hus I-O	2 910 m <sup>2</sup>
Skyltfönster och dörrar mot hus I-O (1-glas)	2 130 m <sup>2</sup>
Vanliga fönster mot hus I-O (2-glas)	150 m <sup>2</sup>

<sup>2)</sup> Isolerade med 10–16 cm mineralull

---

har kompletterats med värmeisolering m m. Av följande figurer 3.7–3.13 framgår konstruktionen mer i detalj. Anslutningen mellan horisontal- och vertikalspröjs och det invändiga dräneringssystemet framgår av figur 10.1 och en detaljritning som visar hur isolerrutorna kläms fast mellan två aluminiumprofiler framgår av figur 10.2.



SKÄRHOLMENS CENTRUM, ÖVERGLASADE DELEN. 1985.

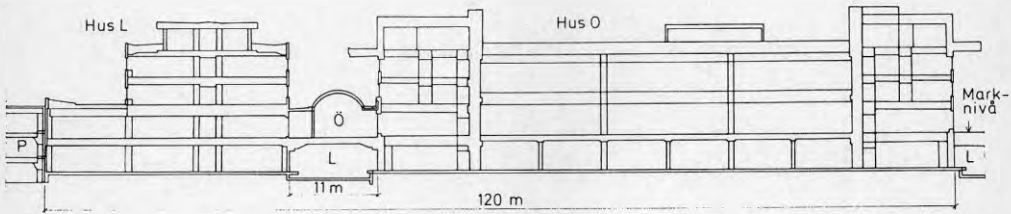
○ Karuselldörr  
 ⇄ Automatisk skjutdörr

Hus I-O har 3 vån., höjd ≈ 12 m  
 Maxhöjd = 21 m (tornen)

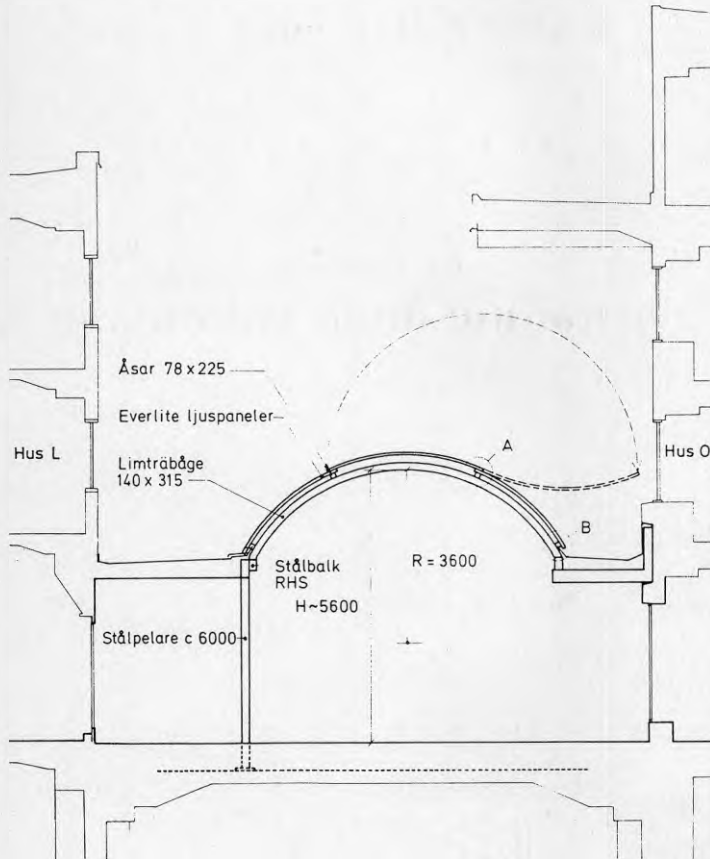
Figur 3.7.  
 Plan som visar den överglasade delen av Skärholmens Centrum. Gåtgatornas bredd är 9–13 m och takhöjden varierar mellan drygt 3 och 21 m (tornen). Omgivande sex huskroppar I–O har totalt golvytan 69 000 m<sup>2</sup> inklusive källarvåning.

Snitten I–I till IV–IV, se figurerna 3.8–3.13.





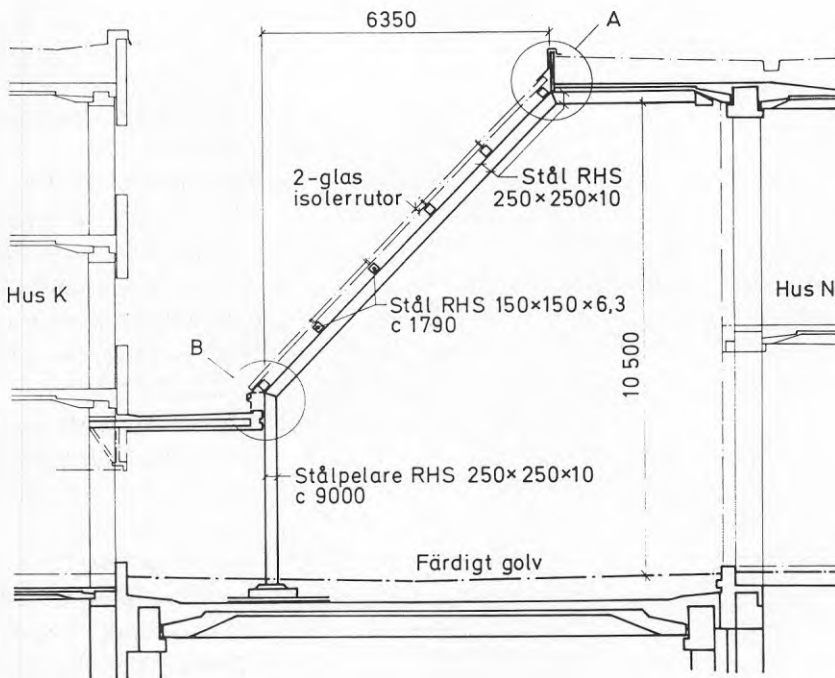
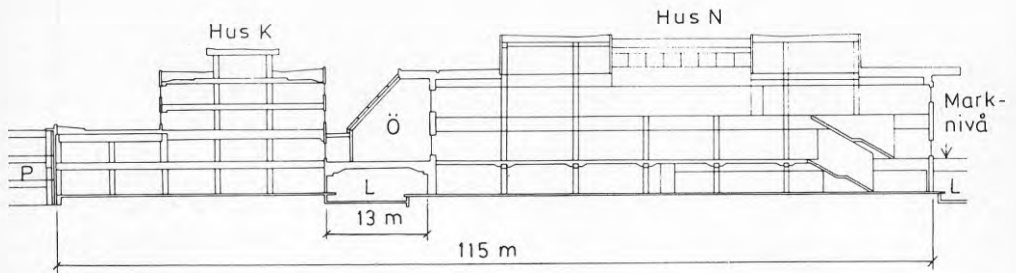
**Figur 3.8. Sektioner I-I genom en av de två delar av Skärholmens Centrum där gångatorna byggts över med plastpanel, se figur 3.7. Av plastpanelens totalt 1 130 m<sup>2</sup> utgörs 16 m<sup>2</sup> av sex öppningsbara luckor, vilka bidrar till både brand- och komfortventilation.**



**Luckorna får sin impuls antingen via smältbleck (70 °C), placerad på öppningscylindern eller via rökdetektor. Vid aktivering som brandventilationsluckor öppnas dessa 180°. Manuell öppning via tryckknapp samt automatiskt via**

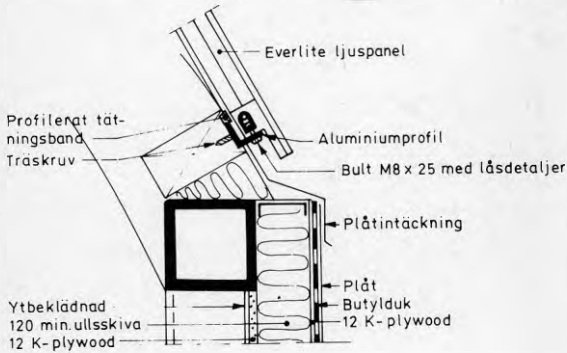
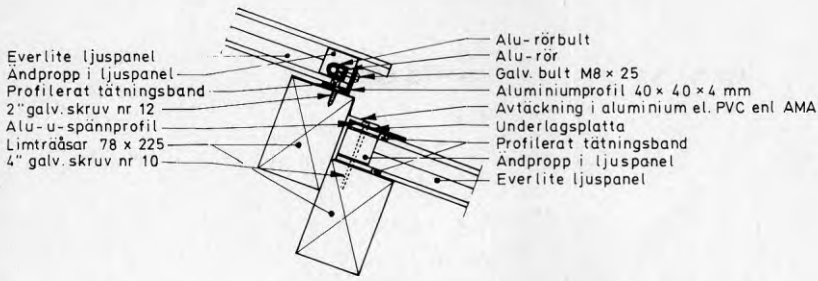
**brandlarmsystemet är också möjligt. Vid aktivering av öppningscylindern genereras en tryckgas och cylindern skjuter ut med stor kraft. Den stora kraften har det positiva med sig, att sannolikheten att luckan inte skall öppna vid brand är mycket liten. Cylindern är kombinerad med en elmotor, som kan lyfta luckornas kant maximalt 30 cm för komfortventilation. Styrning av denna elmotor sker manuellt via tryckknappar.**

**Ö = Överglasad gångata. L = Lastgata. P = Parkeringshus. Detaljer A och B framgår av figur 3.10.**

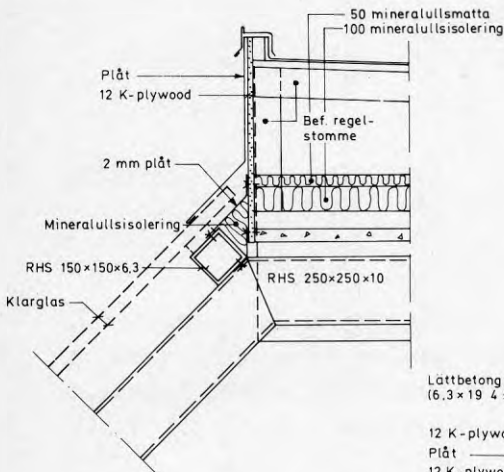


Figur 3.9. Sektioner II-II genom den centrala delen av det överglasade Skärholmens Centrum, se figur 3.7. I den centrala delen dominerar det stora lutande glastaket mot öster med ytan  $460 \text{ m}^2$ . Som framgår framstår dock faktiskt överglasningen, trots sin storlek, som relativt liten i jämförelse med de mycket stora omgivande huskropparna. Genom överglasningen har anläggningens golvarea ökat 6 % och dess volym 13 %.

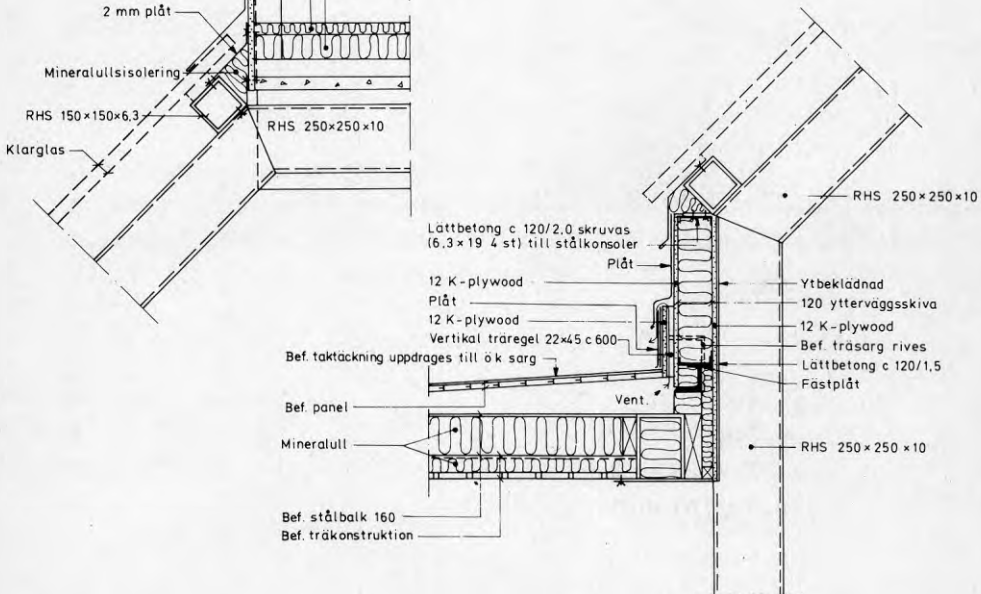
Ö = Överglasad gågata. L = Lastgata. P = Parkeringshus.  
 Detaljer A och B framgår av figur 3.11.

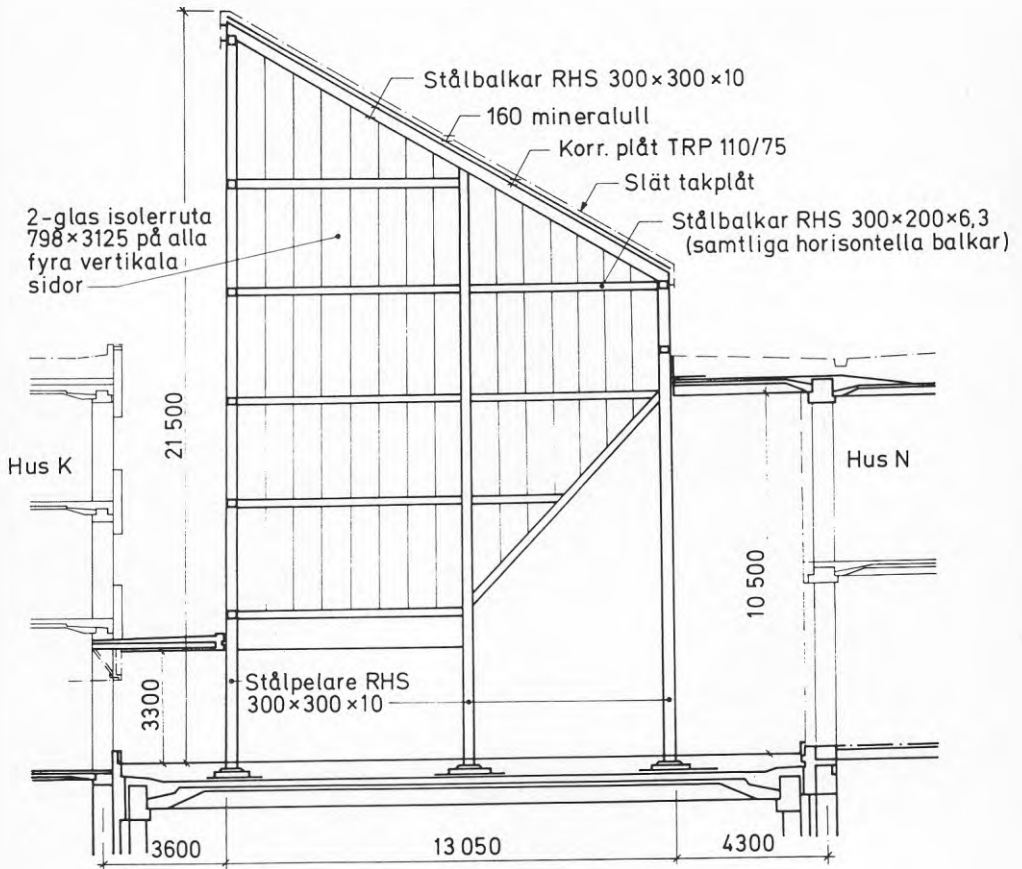


*Figur 3.10. Detalj A (ovan) och B (t v) från figur 3.8.*

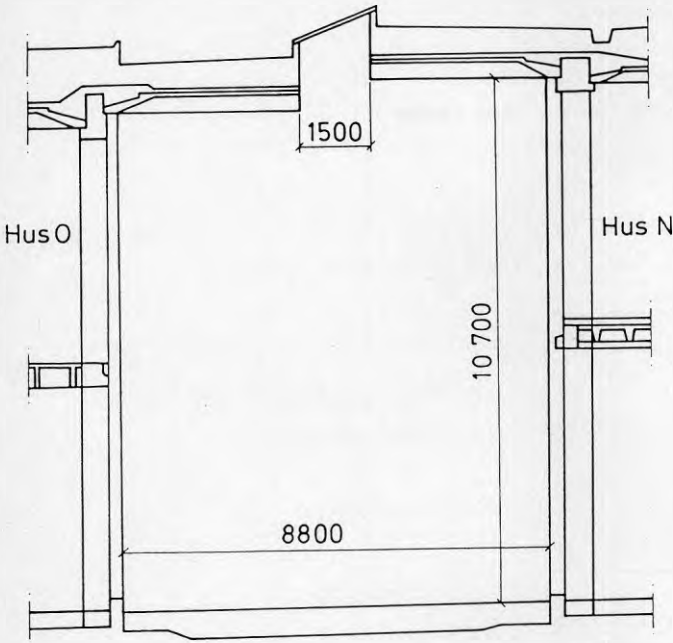


*Figur 3.11. Detalj A (t v) och B (nedan) från figur 3.9.*

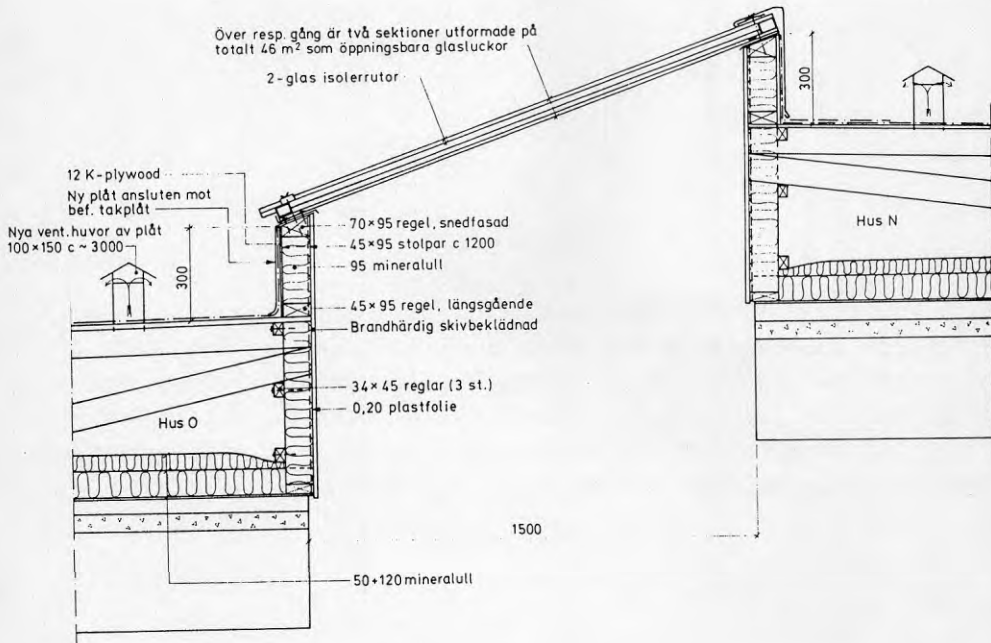




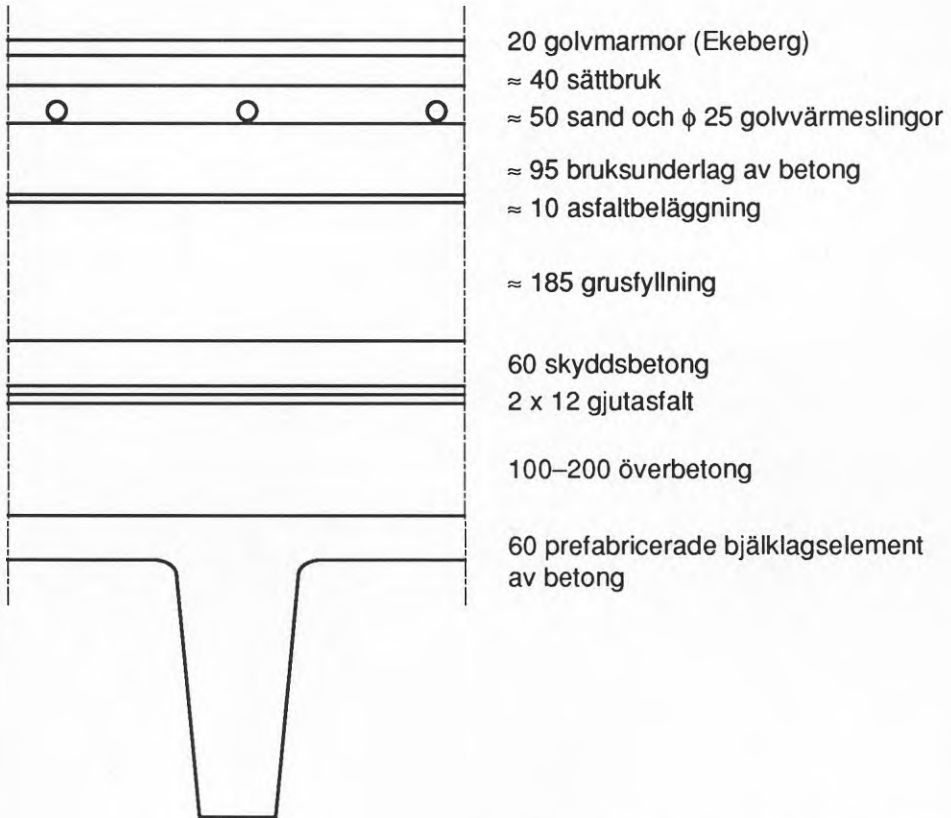
Figur 3.12. Sektion III–III genom det större av de två glastornen, se figur 3.7. Samtliga vertikala ytor är glasade, medan taket är täckt med plåt och isolerat med mineralull. Högst upp finns öppningsbara glasluckor i båda tornen.



*Figur 3.13. Sektion IV-IV. Glastaket över Byholmsgången och Lillholmsgången har lutningen  $20^\circ$  och är bara 1,5 m brett, vilket motsvarar bredden mellan två befintliga skärmtak.*



Under de överglasade gågatorna (utom Byholmshgången) finns lastgator, se även figur 5.17. Bjälklaget mellan gågator och lastgator försågs i samband med överglasningen med golvvärmslingor och marmor. Uppbyggnaden av detta bjälklag framgår av figur 3.14, där det bl a framgår att inget värmeisoleringsmaterial finns mellan golvvärmslingor och lastgator.

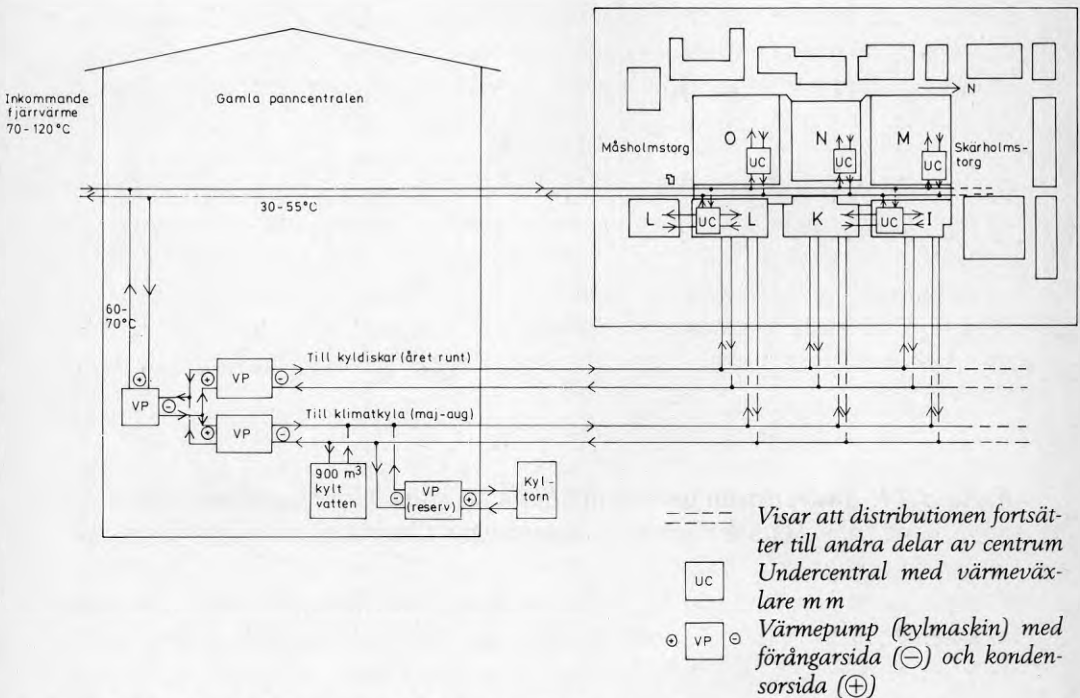


Figur 3.14. Tvärsektion genom det bjälklag som skiljer de överglasade gågatorna från de underliggande lastgatorna. I samband med ombyggnaden 1984 förändrades de översta ca 11 cm i konstruktionen, där det tidigare fanns sand och marktegel. På grund av delvis ofullständigt ritningsunderlag kan denna figur innehålla mindre avvikelser från verkligt utförande.

## 3.2 Beskrivning av värme- och ventilationssystem

Skärholmens Centrum projekterades under 1960-talet, då oljepriset var mycket lågt. Värme- och ventilationssystem utformades därefter, dvs låg energiförbrukning var inget primärt krav. I samband med överglasningen 1984 övergick man från egen oljeeldad panncentral till fjärrvärme.

Fjärrvärmens tas in till den gamla panncentralen som numera inrymmer flera centrala värmepumpar (kylmaskiner), se flödesschemat i figur 3.15. En central datoranläggning har successivt kopplats in sedan 1981, för att övervaka och styra hela centrumets VVS-system.



Figur 3.15. Starkt förenklat flödesschema för distribution av värme och kyla till hela Skärholmens Centrum.

Tidigare fanns bara några få fasta tider för styrning av värme och ventilation. I och med övergång till datorstyrning kan installationerna styras med minutnoggrannhet. På taket till hus O finns en komplett väderstation där utetemperatur, relativ luftfuktighet, vindhastighet och vindriktning mäts. Signaler från dessa givare går till datorn.

## FJÄRRVÄRME OCH VÄRMEPUMPAR

Temperaturen på inkommande fjärrvärme varierar med utetemperaturen. Vid  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ute håller fjärrvärmen maximala  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Fjärrvärmesystemet är konstruerad så att man betalar för både energi och cirkulerad vattenmängd, varför det blir billigare ju lägre returtemperatur man lyckas få.

Inkommande fjärrvärme har alltför stor tryckdifferens mellan fram- och returledning för att direkt passa Svenska Bostäders system (don m m), varför tryckdifferensen reduceras. I panncentralen finns också en stor shuntkrets ansluten till fjärrvärmen, så att värme från de stora värmepumparna tillförs fjärrvärmesystemet, och framledningstemperaturen från panncentralen kan varieras. Två stora centrala värmepumpar (kylmaskiner) finns i panncentralen. Dessa förser hela centrum med kyla till butikernas kyldiskar, respektive klimatkyla (luftkonditionering).

Den värme som lämnar panncentralen är alltså en blandning av direkt fjärrvärme och cirkulerad fjärrvärme, som värms av värmepumparna. Varna sommardagar är andelen direkt fjärrvärme noll, d v s värmepumparna täcker hela centrumets behov av värme (som sommartid bara bör avse tappvarmvatten). På vintern är centrumets värmebehov mångdubbelt större och värmepumpen för klimatkyla står då stilla, d v s andelen direkt fjärrvärme är då mycket hög.

Värmepumpen (kylmaskinen) för butikernas kyldiskar arbetar året runt. En annan värmepump använder "spillvärmen" (vid ca  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) som värmekälla och avger värme vid  $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , som alltså "stöttar" fjärrvärmen.

Värmepumpen (kylmaskinen) för butikernas m m klimatkyla arbetar ungefär under tiden maj– augusti. Denna värmepump har gemensam kondensorsida med värmepumpen för kyldiskar, och dess "spillvärme" används på samma sätt. Vissa butiker (t ex en elaffär) har så stor värmeavgivning från belysning m m att de i princip har kylbehov året runt. Under perioden september–april klaras detta kylbehov genom ett högt tilluftsflöde av uteluft.



Varma sommandagar klarar inte värmepumpen för klimatkyla hela kylbehovet (det vore oekonomiskt att dimensionera för det). Man kopplar då in en 900 m<sup>3</sup> stor ackumulatortank för kallvatten, som under natten kyls till ca 5 °C. Under förmiddagen tas kylan enbart från tanken, och mitt på dagen arbetar värmepumpen parallellt med att tanken utnyttjas. På eftermiddagen har temperaturen i tanken stigit så mycket, att värmepumpen under några timmar får ”dra hela lasset”. Extremt varma dagar tas också ett par äldre värmepumpar i bruk (se ”VP reserv” i figur 3.15). Dessa äldre värmepumpar dumpar sin värme evaporativt i ett kyltorn.

Kylan tillförs butikerna m m via kylbatterier som kyler tilluften. De överglasade gågatorna tillförs primärt ingen kyla, men anslutningsmöjligheter finns. Indirekt kylning av gågatorna kan dock ske, genom att kyld luft från butikerna strömmar ut genom öppna entréer.

Systemet för distribution av värme och kyla är gemensamt för hela Skärholmens Centrum. Det finns alltså ingen skarp gräns mellan de delar som berörs och inte berörs av överglasningen.

## UPPVÄRMNING

Från panncentralen leds fjärrvärmn (blandning av primär fjärrvärme och värme från värmepumpar) till ett antal undercentraler i centrum. Vid undercentralerna sker en värmeväxling till separata kretsar, s k sekundär värme.

Från undercentralerna utgår kretsar för:

- tappvarmvatten
- radiatorer
- värmebatterier i tilluften (normalt största kretsarna)
- konvektorer (eftervärmning av tilluften i s k fönsterapparater).

Uppskattningsvis 2/3 av värmeförseln till byggnaderna sker via tilluften (värmebatterier och konvektorer), medan 1/3 tillförs via konventionella radiatorer. Radiatorerna är i de flesta fall placerade långt in i byggnaderna. Värmen till konvektorerna är oftast uppdelad i en öst- och en västkrets. Gångatorna värms av golvvärmslingor, som beskrivs i separat avsnitt.

Av undercentralerna är det fem stycken som försörjer de sex byggnader som berörs av överglasningen. Hus I och K har en undercentral gemensam. Hus L består av två ”delar”, varav den ena ligger helt utanför överglasningen.

Varje undercentral har en energimätare som avläses månadsvis av Svenska Bostäder. Man kan dock inte skilja på hur mycket värme som går till radiatorer, värmebatterier o s v. Siffran ovan (1/3 till radiatorer) är bara en uppskattning.

I butikerna finns en mängd temperaturgivare. Signaler från dessa och från givaren för utetemperaturen påverkar via datorn installationernas värmeavgivning.

Praktiskt taget all energi som primärt tillförs som värme, kommer från fjärrvärme och värmepumpar. På några enstaka ställen sker eftervärmning av luft i fönsterapparater med el, där det var extra besvärligt med rördragning. Uppvärmning av tappvarmvatten sker också med fjärrvärme och värmepumpar, utom vissa restaurangkök som värmer vattnet till ca 80 °C med el.

## VENTILATION

Byggnaderna ventileras med ett till- och frånluftssystem, som installerades 1968. Det är inte försett med någon form av värmeåtervinning, d v s frånluftens värmeinnehåll går helt till spillo. Man har dock möjlighet att spara energi genom tidsstyrning och återluft.

De olika husen har olika indelning i ventilationszoner, det finns ingen standardlösning. Ett varuhus är t ex indelat i flera zoner, d v s ventileras med ett antal till- och frånluftsläktar. Möjlighet till återluft finns inte på alla ställen, men huvuddelen av alla stora ventilationsaggregat har återluftsfunktion.

De överglasade gågatorna ventileras med nio st aggregat med till- och frånluft och värmeväxlare. Inga inbyggda uttag för flödesmätning finns. Fläktarna har endast on-off reglering. Frånluften tas ut via galler under utskjutande tak, och tilluften tillförs via takspridare, d v s man har konventionell s k ombländande ventilation. Tilluften eftervärms inte efter värmeväxlarna, vars temperaturverkningsgrad av tillverkaren anges till hela 85 % ( $\pm 5$  %). Samtliga nio aggregat är placerade på tak intill den gågata som de ventilerar. Denna placering har en mycket stor fördel genom att nästan ingen kanaldragning behövs. Aktuella luftflöden m m framgår av avsnitt 6.1. Ventilationsaggregatens placering framgår av figur 3.16. Funktionsprincipen för värmeväxlarna framgår av figur 4.3 i Höglund et al. (1987).



*Figur 3.16. Här framgår det mycket långsmala glastaket över Byholmsgången. Alldeles till vänster om glastaket syns ett av ventilationsaggregaten som innehåller till- och frånluftsfläkt och värmeväxlare.*

Man har alltså byggt ventilationssystemet till de överglasade gågatorna helt separat från de äldre systemen i omgivande byggnader, och vid projekteringen har inget överluftsflöde förutsatts. I praktiken finns dock möjligheten till ett betydande överluftsflöde, eftersom butikernas stora entréer mot gågatorna i huvudsak är öppna dagtid. Sommartid avsågs de överglasade gågatorna kylas med sk naturlig ventilation via öppna ytterentréer och glasluckor mot det fria.

## GOLVVÄRME

De överglasade gågatorna värms både "passivt" och "aktivt". Den passiva uppvärmningen sker främst genom värmeförluster från anslutande byggnader (transmission och eventuell överluft), men även av värme från belysning, människor och solinstrålning.

En viss aktiv uppvärmning sker genom de elektriska luftvärmare som finns vid ytterentréerna. Den huvudsakliga aktiva uppvärmningen sker dock genom golvvärmslingor. Sammanlagt 16 km plastslang ligger under golvmarmorn

och cirkulerar ljummet vatten vintertid. Det är ett typiskt lågtemperatursystem vilket kräver en stor värmeavgivande yta, som här är lika med totala golvytan hos Storholmsgatan och Lillholms- och Byholmsgången, d v s 4 000 m<sup>2</sup>.

Golvvärmeslingorna tillfördes från början i första hand värme från en krets i hus O. Det var vatten som kom i retur från radiator-, konvektor- och tappvarmvattenkretsarna som pumpades runt i golvslingorna innan det återfördes till undercentralen i hus O. Denna krets har dock relativt låg temperatur (i snitt 25 °C), varför ett stort tillskott från framledningsvatten krävdes för att klara golvslingornas värmebehov. Ombyggnad gjordes därför 1986 så att man i stället utnyttjar returvatten från ventilationskretsen (värmebatterier). Denna krets håller högre temperatur (ungefär 35 °C) och högre flöde. Efter ombyggnaden klaras nästan hela golvslingornas värmebehov med returvatten. Som tidigare nämnts blir fjärrvärmens billigare ju lägre returtemperatur man lyckas få. Golvvärmeslingorna bidrar till en lägre returtemperatur och man kan därför säga att energin till golvslingorna är något billigare än fjärrvärmens i genomsnitt.

Framledningstemperaturen till golvslingorna ligger mellan 20 och 38 °C. Maxtemperaturen 38 °C har satts i första hand för att inte marmorgolven skall spricka av temperaturrelser. Två temperaturgivare styr värmeavgivningen från slingorna. Båda givarna är placerade 3 m över golv och ca 15 m från Storholmsgatans norra respektive södra ytterentré. Vid 17 °C eller lägre i medelvärde från givarna avges full effekt till slingorna. Vid 20 °C eller högre stängs värmetillförseln av. Ingen nattsänkning av värmeavgivningen förekommer.

Inga kallrasskydd (speciella radiatorer intill glasytor) har installerats.

### 3.3 Några erfarenheter från produktionsskedet

När Svenska Bostäder gav JM Bygg/AB Citybyggen uppdraget att som totalentreprenör glasa in delar av Skärholmens Centrum i början av april 1984 var kravet att anläggningen skulle färdigställas till julhandels start (15 november) samma år. Byggarbetet skulle också tillåta köpenskap i centret. En tidplan och fotografier från ombyggnadsarbetet återfinns i kapitel 5 i Höglund et al. (1987).

Den korta byggtiden medförde att projekteringen och produktionen bedrevs parallellt. Detta tillvägagångssätt innebar möjligheter att på ett flexibelt och rationellt sätt under produktionens gång anpassa sig till rådande förhållanden på platsen. Nackdelar är bl a en kort upphandlingstid, analys av färre alternativ och mindre valmöjlighet av underentreprenörer.

I direkt anslutning till att projekteringen av stålstommen påbörjades startade de erforderliga markarbetena samt schaktning och gjutning av ett fyrkantigt pelarfundament för den bärande stålstommen. Arbetet med att förse anläggningen med golvvärmslingor och ett nytt golv i marmor skulle visa sig vara det mest komplicerade i projektet. Krav fanns som nämnts på framkomlighet för butikernas kunder – samtliga butiker var öppna samtidigt som byggnadsarbetet pågick – och på en körbar och framkomlig väg för arbetsmaskiner.

Rivning av befintligt marktegel skedde etappvis, där etapperna anpassades såväl till framkomlighet för kunder som till det tyngre och maskinkrävande stålmontaget. Som underlag för värmslingorna lades en betongavjämning för att erhålla ett fast underlag för såväl värmslingorna som marmorgolvet. På vissa partier göts värmslingorna in som skydd mot den pågående trafiken.

Anläggningens stålstomme tillverkades och ytbehandlades på fabrik för att nedbringa montagetiden på arbetsplatsen. Stålstommen monterades i delar, från enskilda pelare till hela sektioner av ljusstornen. Prefabriceringsgraden styrdes helt och hållet av möjligheten att transportera in sektionerna och underliggande bjälklags möjlighet att bära laster. Stålmontaget medförde en förskjutning i tidplanen, bl a gick en underentreprenör i konkurs. Vid montering av stålsektionerna i ljusstornen fick underliggande bjälklag stämpas för att mobilkranar i erforderlig storlek skulle kunna användas. En stor del av dessa intransporter och montagearbeten skedde på kvällstid.

Montage av limträbågar och limträåsar, som stomme för plastpanelen, utfördes efter att stålmontaget på respektive delar var avslutat. Limträmontaget utfördes med hjälp av mobilkran och färdigställdes i sin helhet på två veckor. Därefter påbörjades de kompletteringar avseende trä- och plåtarbeten, som utfördes vid takens anslutning mot befintliga och nya skärmtak (utskjutande tak). Montage av plastpaneler skedde med helt monteringsfärdiga sektioner, vilka sammanfogades och kompletterades med erforderliga plåtanslutningar.

Läggning av det stora marmorgolvet blev ett komplicerat arbete. En rad krav ställdes på detta arbete. Viktigast var att marmorläggarna måste ha tillräckligt stora ytor att arbeta med, arbetsområdena fick indelas i etapper och inhägnas med stängsel. Hänsyn måste tas till framkomligheten för centrals kunder samt framkomligheten för såväl maskiner som ställningar vilka installatörerna var i

behov av. Läggningsen av det stora marmorgolvet blev också resurskrävande i fråga om arbetskraft. De svårigheter det innebar att skaffa tillräckligt stort antal kvalificerade marmorläggare medförde att arbetet därför i stor omfattning fick bedrivas i skift och på övertid. Trots detta försenades arbetet ca en månad.

Arbetet med sprinkler- och elinstallation krävde ställningar med stor rörlighet. Här användes hjulburna saxliftar med arbetsplattform. Dessa har den fördelen att de går att flytta i sidled utan att arbetsplattformen sänks ner. De kräver dock ett relativt jämnt underlag. Sambandet mellan de personer som arbetade nere på marken och de installatörer som arbetade högt under åsarna var viktigt och medförde stora samordningsproblem.

Runt de båda ljusstornen byggdes traditionella byggnadsställningar från vilka glasmontaget skedde. Profilsystemet för glasen levererades i färdiga sektioner från fabriken. Montaget gick fort och smidigt. Mer tidskrävande var däremot montaget av själva glasningen, som består av 2-glas isolerrutor. Varje enskild enhet med formatet 0,8 x 3,1 m fick lyftas upp på plats med hjälp av ett enkelt spel. När isolerrutorna var på plats och fixerade skedde tätlistningen och komplettering med täcklister.

Den trånga arbetsplatsen krävde skicklighet och precision av maskinförarna – inte minst med hänsyn till kringströvande kunder. Arbetet kunde dock slutföras utan några som helst personskador eller skador på befintliga butiksfasader.

Sammanfattningsvis är alltså erfarenheterna goda från själva byggandet av denna stora överglasning, trots att det blir speciella förhållanden när det handlar om ombyggnad där butikerna samtidigt har öppet som vanligt. Goda erfarenheter rapporteras också t ex från byggandet av en helt annan stor överglasning; Södra Stationshuset i Stockholm, se Langseth & Starkhammar (1988). Detta senare fall avser nybyggnad, men samtidigt var omständigheterna mycket speciella i och med att ca 320 tåg passerade varje dygn under huset. Stora överglasningar tycks alltså gå att anpassa produktionstekniskt även när förutsättningarna är lite speciella.

# 4 Termisk komfort

Allmänt gäller att önskemål om ett förbättrat termiskt klimat i jämförelse med det termiska klimatet utomhus är en av de viktigaste orsakerna till överglasning av gågator m m. Det termiska klimatet kan beskrivas på ett förenklat sätt genom bestämning av lufttemperatur, vilket redovisas i kapitel 5. Termiskt klimat och termisk komfort påverkas dock av fler faktorer än enbart lufttemperatur, vilket framgår av följande avsnitt 4.1.

En stor överglasning resulterar ofta i ett termiskt klimat som skiljer sig från ett vanligt inomhusklimat i t ex kontor, och som dessutom är mycket svårt att förutsäga. Med hjälp av modern mätteknik kan dock det termiska klimatet kvantifieras, vilket beskrivs i avsnitt 4.4. I avsnitt 4.6 ges många exempel på termiskt klimat i de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum och i Kichijoji köpcentrum i Tokyo. Detta köpcentrum i Tokyo beskrivs kortfattat i avsnitt 4.5, och resultaten därifrån har medtagits för att få en jämförelse med ett betydligt varmare uteklimat än det skandinaviska.

## 4.1 Bakgrund och definitioner

I den internationella standarden ISO 7730 från 1984 finns följande definition: "Termisk komfort definieras som det sinnestillstånd som innebär tillfredsställelse med den termiska miljön."

En komplikation i detta sammanhang är att olika människor har olika önskemål. Om en människa upplever termisk komfort eller inte avgörs därför i första hand både av individuella önskemål och av följande sex faktorer:

- lufttemperatur
- medelstrålningstemperatur
- lufthastighet
- luftfuktighet
- människans fysiska aktivitet
- klädernas värmeisolerande egenskaper.

De fyra första faktorerna avgör i princip det termiska klimatet, medan den termiska komforten även i hög grad beror på de två sista faktorerna (aktivitet och klädsel). Man kan därför säga att termiskt klimat är en del av det vidare begreppet termisk komfort, liksom temperaturförhållanden är en del av termiskt klimat, se figur 4.1.

Det termiska klimatet kan alltså i princip beskrivas av fyra storheter, där luftfuktigheten normalt har minst betydelse. Lufthastigheten har betydelse redan från ungefär 0,1 m/s. Medelstrålningstemperaturen är ett viktat medelvärde av omgivande ytors temperaturer, som påverkar människokroppens utbyte av värmestrålning, se vidare avsnitt 4.1.1. Om solstrålning når människokroppen, måste solen räknas som en ytterligare faktor utöver de sex faktorerna ovan.

En stor överglasning har ett termiskt klimat som mer eller mindre karakteriseras av bl a:

- stora kalla glasytor vintertid, vilket kan ge låg medelstrålningstemperatur och kallras
- lufthastighet som är svår att förutsäga
- inverkan av luftströmning genom såväl ytterentréer som invändiga entréer på lufthastighet och temperaturförhållanden
- tidvis kraftig solinstrålning.

Det finns därför starka skäl att inte enbart använda lufttemperaturen som ett mått på det termiska klimatet i stora överglasningar. För att kvantifiera den sammanvägda inverkan av flera av de nämnda sex faktorerna finns flera olika storheter. I följande avsnitt 4.1.1 har sammanställts några storheter som kvantifierar termiskt klimat och termisk komfort.



*Figur 4.1. Termisk komfort påverkas av såväl det termiska klimatet som av fysisk aktivitet, klädsel och individuella önskemål. Det termiska klimatet påverkas i sin tur av temperaturförhållanden (luft- och yttemperaturer), lufthastighet och luftfuktighet.*



### 4.1.1 Använda storheter

OPERATIV TEMPERATUR,  $t_o$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), är ett sammanvägt värde av lufttemperatur och medelstrålningstemperatur. Den operativa temperaturen definieras som den likformiga luft- och yttemperaturen i ett tänkt rum med svarta ytor (emissiviteten = 1), där en människa skulle avge lika mycket värme p g a strålning och konvektion som i den verkliga, icke-likformiga miljön.

$$t_o = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r} \quad (4.1)$$

där

$t_a$  = lufttemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\bar{t}_r$  = medelstrålningstemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h_c$  = värmeövergångstal p g a konvektion från människokroppen ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ )

$h_r$  = värmeövergångstal p g a strålning från människokroppen ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ).

Vid låg lufthastighet ( $< 0,1 \text{ m/s}$ ) är ofta värmeövergångstalen p g a konvektion och strålning ungefär lika stora (ca  $4 \text{ W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ), varför den operativa temperaturen ofta beräknas som ett medelvärde av luft- och medelstrålningstemperatur.

I standarden ISO 7730 ges följande förenklade ekvation (där hänsyn tas till att det konvektiva värmeövergångstalet ökar med lufthastigheten):

$$t_o = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot \bar{t}_r \quad (4.2)$$

där faktorn A varierar med lufthastigheten relativt människokroppen,  $v_a$  (m/s), enligt:

$v_a$	$< 0,2$	$0,2 - 0,6$	$0,6 - 1,0$
A	0,5	0,6	0,7.

Begreppet operativ temperatur introducerades av Gagge et al. (1937).

MEDELSTRÅLNINGSTEMPERATUR,  $\bar{t}_r$  (°C), är i princip ett viktat medelvärde av omgivande ytors temperaturer. Medelstrålningstemperaturen definieras som den likformiga yttemperaturen i ett tänkt rum med svarta ytor (emissiviteten = 1), där en människa skulle avge lika mycket värme p g a strålning som i den verkliga, icke-likformiga miljön.

Medelstrålningstemperatur (liksom även operativ och ekvivalent temperatur) är alltså definierad i förhållande till en människa, varför människans placering i rummet, kroppsbyggnad, klädsel och kroppsställning har betydelse.

EKVIVALENT TEMPERATUR,  $t_{eq}$  (°C), är ett fysiologiskt "upplevelse-mått", där en sammanvägning görs av inverkan av lufttemperatur, medelstrålningstemperatur och lufthastighet. Den ekvivalenta temperaturen definieras som den likformiga luft- och yttemperaturen i ett tänkt rum med stillastående luft och svarta ytor (emissiviteten = 1), där en människa skulle avge lika mycket värme p g a konvektion och strålning som i den verkliga miljön (med luftrörelser och icke-likformiga temperaturer).

Den kylande effekten av lufthastigheten är alltså invägd som en temperatur-sänkning. Hänsyn tas också till klädseln, eftersom lufthastighetens inverkan ökar med minskande klädsel.

Ekvivalenta temperaturen kan uppskattas med följande ekvation enligt Madsen (1978):

$$t_{eq} = 0,55 \cdot t_a + 0,45 \cdot \bar{t}_r + \left( \frac{0,24 - 0,75 \cdot \sqrt{v_a}}{1 + I_{cl}} \right) (36,5 - t_a) \quad (4.3)$$

där sista termen tas med endast när  $v_a > 0,1$  m/s,

$t_a$  = lufttemperatur (°C)

$\bar{t}_r$  = medelstrålningstemperatur (°C)

$v_a$  = lufthastigheten relativt människokroppen (m/s)

$I_{cl}$  = klädernas värmeisolerande egenskaper (clo).

De två första termerna i ekv (4.3) anger i princip en operativ temperatur, medan den tredje termen kvantifierar lufthastighetens kylande inverkan. Det finns även andra ekvationer som uppskattar den ekvivalenta temperaturen. Begreppet introducerades av Dufton (1932).

KOMFORTTEMPERATUR,  $t_{\text{comf}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), är en beräknad optimal (idealisk) ekvivalent temperatur, där man vid beräkningen tar hänsyn till människans klädsel och fysiska aktivitet, och dessutom luftfuktigheten. Komforttemperaturen kan alltså ses som ett "börvärde", vid vilken så många människor som möjligt är nöjda med det termiska klimatet.

PLAN STRÅLNINGSTEMPERATUR,  $t_{\text{pr}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), är i princip ett viktat medelvärde av yttemperaturerna i en riktning, varför denna storhet påverkar utbytet av värmestrålning (från t ex en människokropp) i denna riktning. Plan strålningstemperatur definieras som den likformiga yttemperatur hos omgivningen som skulle ge samma utbyte av värmestrålning i en riktning med ett litet plant ytelement som den verkliga, icke-likformiga omgivningen. Storheten kan förenklat betraktas som en "halvsfärisk" medelstrålningstemperatur. Begreppet introducerades av McIntyre (1974).

STRÅLNINGSTEMPERATURASYMMETRI,  $\Delta t_{\text{pr}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), är skillnaden mellan den plana strålningstemperaturen för två motstående sidor av ett litet plant ytelement.

RIKTAD OPERATIV TEMPERATUR, ( $^{\circ}\text{C}$ ), är medelvärdet mellan lufttemperaturen och den plana strålningstemperaturen i en viss riktning. Begreppet används t ex i SBN 1980 för beräkningsmässig dimensionering av byggnader (och inte för utvärdering av den termiska miljön).

PMV – Predicted Mean Vote (förväntat medelutlåtande). PMV är ett index som förutsäger den genomsnittliga bedömningen av det termiska klimatet hos en stor grupp av personer enligt följande 7-punkts skala:

- + 3 hett
- + 2 varmt
- + 1 något varmt
- 0 neutralt
- 1 något svalt
- 2 svalt
- 3 kallt

Begreppet introducerades av Fanger (1970), där även en (komplicerad) ekvation ges för att beräkna PMV.

PPD (%) – Predicted Percentage of Dissatisfied (förväntad procent otillfredsställda). Detta index uttrycker den förväntade procentuella andelen av en (stor) grupp människor som är otillfredsställda (missnöjda) med det termiska klimatet. Som otillfredsställda räknas de personer som anger  $PMV = +3$  (hett),  $+2$  (varmt),  $-2$  (svalt) eller  $-3$  (kallt).

Begreppet introducerades av Fanger (1970), som definierade  $PPD = 5\%$  som minimum vid  $PMV = 0$ , d v s vid ett optimalt termiskt klimat. PPD kan enkelt bestämmas utifrån PMV med ett diagram eller en ekvation, Fanger (1970) och ISO 7730.

KLÄDERNAS VÄRMEISOLERANDE EGENSKAPER,  $I_{cl}$ , anges i enheten clo, där  $1,0 \text{ clo} = \text{värmemotståndet } 0,155 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$  motsvarar en "normal inomhus arbetskostym". En naken människa har  $0 \text{ clo}$ , och med varma sovsäckar kan upp till  $6 \text{ clo}$  uppnås.  $I_{cl}$  kan enkelt uppskattas utifrån tabeller, bl a i ISO 7730.

MÄNNISKANS FYSISKA AKTIVITET, METABOLISMEN,  $M$ , anges i enheten met, där  $1,0 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$  kroppsytta motsvarar metabolismen för en stillasittande person. En genomsnittlig människa har ca  $1,8 \text{ m}^2$  kroppsytta. Lägsta aktivitet är sovande,  $0,8 \text{ met}$ , och mycket hög aktivitet är  $4 \text{ met}$ , vilket motsvarar t ex tungt verkstadsarbete eller snabb promenad ( $6,7 \text{ km/h}$ ).  $M$  kan enkelt uppskattas utifrån tabeller, bl a i ISO 7730.

Människan har, som maskin betraktat, en låg verkningsgrad. I normalfallet kan man räkna med att verkningsgraden försumbart avviker från noll. Vid vissa aktiviteter, t ex vid promenad i uppforsbacke, omvandlas dock en del av den energi som frigörs vid metabolismen till ett yttre mekaniskt arbete, varvid verkningsgraden,  $\eta$ , maximalt är ca  $0,2 - 0,25$ . Genom multiplikation av metabolismen (i Watt) med en faktor  $(1 - \eta)$  erhålls den värmeeffekt som människokroppen avger. Observera att verkningsgraden kan vara negativ, t ex vid promenad i nedforsbacke då potentiell energi omvandlas till kroppsvärme.

## 4.2 Rekommendationer

När det gäller termiskt inneklimat finns i bilaga A till den internationella standarden ISO 7730 från 1984 relativt detaljerade rekommendationer, vilka återges i det följande. Avslutningsvis återges mycket kortfattat några rekommendationer från SBN 1980 m fl publikationer.

Allmänt rekommenderas att  $-0,5 < PMV < +0,5$ , vilket motsvarar  $PPD < 10\%$ . Om de betingelser som anges i det följande är uppfyllda, kan man förvänta sig att mer än 80 % upplever det termiska klimatet som acceptabelt. För förklaring av använda storheter hänvisas till avsnitt 4.1.1.

**I. Vinterförhållanden (uppvärmningsperiod).** Lätt, huvudsakligen stillasittande aktivitet ( $M = 1,2$  met). Typisk vinterklädsel inomhus ( $I_{cl} = 1,0$  clo).

- I a) Den operativa temperaturen skall ligga mellan 20 och 24 °C.
- I b) Den vertikala skillnaden i lufttemperatur mellan 1,1 m och 0,1 m över golvet (huvud- och fotnivå) skall vara mindre än 3 °C.
- I c) Golvets ytemperatur skall normalt vara mellan 19 och 26 °C, men system med golvvärme kan tillåtas ha 29 °C.
- I d) Luftens medelhastighet skall vara mindre än 0,15 m/s.
- I e) Strålningstemperatrasymmetrin på grund av fönster eller andra kalla vertikala ytor skall vara mindre än 10 °C (i relation till ett litet vertikalt plan 0,6 m över golvet).
- I f) Strålningstemperatrasymmetrin på grund av ett varmt (uppvärmt) tak skall vara mindre än 5 °C (i förhållande till ett litet horisontellt plan 0,6 m över golvet).

**II. Sommarförhållanden (kylningsperiod).** Lätt, huvudsakligen stillasittande aktivitet ( $M = 1,2$  met). Lätt sommarklädsel ( $I_{cl} = 0,5$  clo).

- II a) Den operativa temperaturen skall ligga mellan 23 och 26 °C.

- II b) Den vertikala skillnaden i lufttemperatur mellan 1,1 m och 0,1 m över golvet (huvud- och fotnivå) skall vara mindre än 3 °C.
- II c) Luftens medelhastighet skall vara mindre än 0,25 m/s.

I NKB-rapport nr 40 (1981) anges praktiskt taget samma krav på det termiska inomhusklimatet som rekommendationerna i ISO 7730. I Allmänna råd från socialstyrelsen 1988 : 2 återges i stort sett samma rekommendationer, dock med tillägget att operativ temperatur under 18 °C (för "känsliga grupper" 20 °C) betraktas som sanitär olägenhet (utom vid vissa tillfällen med extrem kyla).

I SBN 1980 anges som allmänt krav att "En byggnad och dess installationer skall anordnas så, att ett tillfredsställande termiskt klimat kan erhållas med hänsyn till byggnadens avsedda användning". För beräkningsmässig dimensionering används i SBN riktad operativ temperatur, där 18 °C och 20 °C (för olika rumstyper) anges som "lägsta godtagna värden vid dimensionerande lägsta utetemperatur". I SBN godtas 16 °C ytemperatur på golv vid dimensionerande lägsta utetemperatur, medan ISO 7730 rekommenderar att golvets ytemperatur "normalt" skall vara minst 19 °C.

I Boverkets nybyggnadsregler, NR 1, är kraven på det termiska inomhusklimatet i stort sett desamma som i SBN 1980. Under uppvärmningssäsongen förutsätts dock i NR 1 att lufthastigheten inte överstiger 0,15 m/s, vilket är en skärpning jämfört med SBN 1980 där < 0,2 m/s förutsätts.

## 4.3 Inverkan av olika faktorer

Av de fyra faktorer som avgör det termiska inneklimatet, se avsnitt 4.1, har ofta luftfuktigheten minst betydelse. Högre luftfuktighet medför att man upplever inneklimatet som något varmare, eftersom diffusionen av vattenånga genom huden då minskar. Lägre luftfuktighet ökar diffusionen och innebär att mer vatten förångas, vilket kyler människokroppen, d v s man upplever inneklimatet som något kallare. Lägre luftfuktighet motsvarar därför något högre komforttemperatur, varigenom man kompenserar ökad värmeavgivning p g a förångning med minskad värmeavgivning p g a konvektion och strålning.

I samband med överglasning är yttemperaturernas inverkan intressant bl a eftersom stora glasytor erhålls som vintertid har betydligt lägre yttemperatur än lufttemperaturen. Allmänt gäller att lufttemperatur och omgivande ytors temperatur (kvantifierad av medelstrålningstemperaturen) oftast har ungefär lika stor betydelse för den termiska komforten, eftersom värmeövergångstalen p g a konvektion och strålning ofta är ungefär lika stora (ca  $4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Denna likhet medför t ex att lufttemperatur och medelstrålningstemperatur i de flesta fall ges ungefär samma vikt när operativ och ekvivalent temperatur beräknas. I praktiken finns i de flesta fall ett starkt samband mellan luft- och yttemperaturer; lägre lufttemperatur i ett rum motsvarar nästan alltid att även yttemperaturerna är lägre. I många fall är skillnaden mellan lufttemperatur och medelstrålningstemperatur relativt liten, och genom att mäta enbart lufttemperaturen har man därigenom ofta en grov uppfattning även om medelstrålningstemperaturen.

Lufthastighetens inverkan på termisk komfort behandlas i följande avsnitt  
4.3.1. I avsnitt 4.3.2, slutligen, behandlas inverkan av klädsel och aktivitet.

### 4.3.1 Lufthastighet

Lufthastigheten (relativt människokroppen) är en av de fyra faktorer som i princip avgör det termiska klimatet, se avsnitt 4.1. Lufthastigheten har betydelse dels genom en allmänt avkylande inverkan på kroppen som helhet, och dels genom att en lokal konvektiv avkylning av kroppen (drag) kan uppstå.

Vid *konstant* lufthastighet kan den kylande inverkan t ex kvantifieras med den tredje termen i ekvation (4.3), där den ekvivalenta temperaturen sjunker med ökande lufthastighet. Som framgår av tabell 4.1 har även låga lufthastigheter stor betydelse. Om man t ex under uppvärmningssäsongen kan sänka lufthastigheten från 0,2 m/s till  $< 0,1 \text{ m/s}$  kan lufttemperaturen sänkas med ca  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  med oförändrad termisk komfort, varvid av storleksordningen 5 % energibesparing ofta kan uppnås.

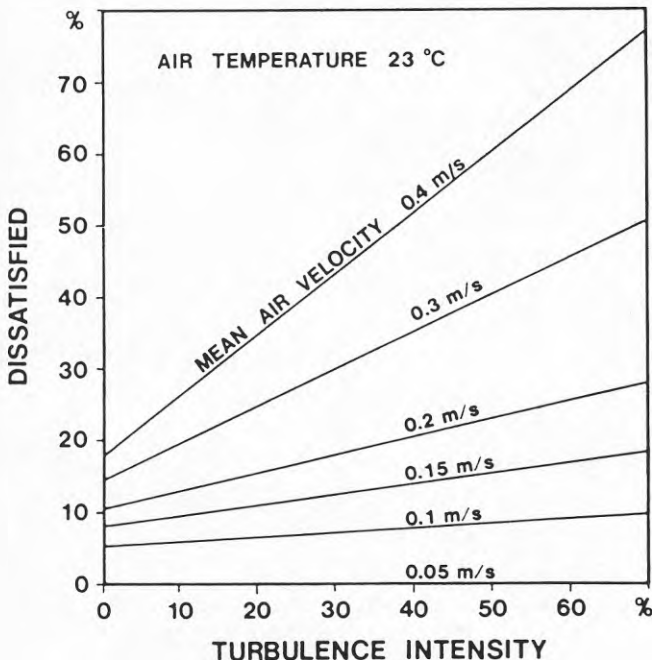
Vid *varierande* lufthastighet är dess inverkan mycket komplicerad. Resultat från forskning inom området framgår av Fanger et al. (1988) och Melikov (1988). För att kvantifiera lufthastighetens variation används storheten turbulensintensitet, som definieras som lufthastighetens standardavvikelse dividerad med dess medelvärde. Turbulensintensiteten är alltså en relativ standardavvikelse (vilket kallas variationskoefficient inom matematisk

Tabell 4.1. Lufthastigheten har en kylande inverkan på människokroppen. Här har denna inverkan räknats om till motsvarande sänkning av den ekvivalenta temperaturen (konstant lufthastighet, jämförelse med 0 m/s). Beräkningarna har gjorts med ekvation (4.3), där lufttemperatur 20 °C och klädsel 0,8 clo förutsatts. Liknande värden kan även erhållas indirekt utifrån tabeller i ISO 7730, jämför tabell 6.4.

Lufthastighet, m/s	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	1,0
Kylande inverkan, °C	0	0,5	0,9	1,6	2,7	4,7

statistik). Av figur 4.2 framgår att inverkan av turbulensintensiteten ökar snabbt med ökande medellufthastighet.

Även lufthastighetens riktning relativt människokroppen har betydelse. I Mayer et al. (1988) har totalt 50 försökspersoner utsatts för luftflöden med olika hastighet och riktning (turbulensintensiteten var konstant 5 %). Försökspersonernas aktivitet var stillasittande (1,0 met) och klädsel 0,8 clo. Lufttemperaturen i klimatkammaren där försöken gjordes var konstant 23 °C.

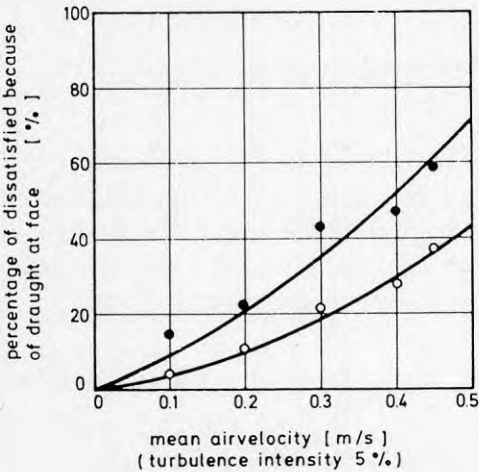


Figur 4.2. Andel otilfredsställda (missnöjda) som funktion av turbulensintensitet och medellufthastighet vid huvudet. Beräknade värden utifrån en modell som kvantifierar risken för drag. Värdena gäller vid lufttemperaturen 23 °C. Från Fanger et al. (1988).

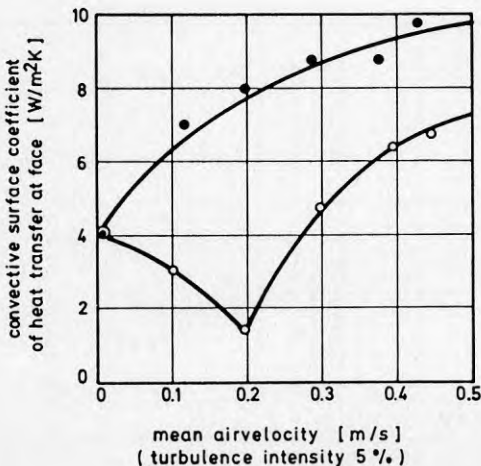


I figur 4.3 visas exempel på resultat. En teoretisk förklaring till skillnaden mellan uppåt- och nedåtriktat flöde har erhållits genom att indirekt mäta det konvektiva värmeövergångstalet för ett konstgjort, uppvärmt huvud. Som framgår av figur 4.4 minskar värmeövergångstalet upp till 0,2 m/s vid nedåtriktat luftflöde, vilket beror på att kroppens (huvudets) egenkonvektion då motverkas. Resultaten enligt figur 4.4 förklarar alltså resultaten enligt figur 4.3.

Känsligheten är större för uppåtriktat luftflöde eftersom kroppens egenkonvektion och den påtvingade konvektionen då samverkar, varför den konvektiva kylningen då snabbt ökar med lufthastigheten. För t ex tillämpningar i renrum rekommenderar författarna därför ventilation med tilluft från inner-taket och frånluft genom golv.



Figur 4.3. Andelen missnöjda på grund av obehagligt drag i ansiktet vid uppåt- resp. nedåtriktat luftflöde, som funktion av luftens medelhastighet. Från Mayer et al. (1988).



Figur 4.4. Konvektiv värmeövergångstal mätt vid ansiktet på ett konstgjort uppvärmt (34 °C) huvud vid uppåt- resp. nedåtriktat luftflöde, som funktion av luftens medelhastighet. Från Mayer et al. (1988).

Sammanfattningsvis är alltså lufthastighetens inverkan på termisk komfort komplicerad, eftersom både luftrörelsens medelhastighet, variation och även dess riktning har betydelse.

### 4.3.2 Klädsel och aktivitet

Betydelsen av klädsel och aktivitet kan beskrivas med hjälp av storheten komforttemperatur, se avsnitt 4.1.1. Med hjälp av en termisk komfortmätare, se avsnitt 4.4, kan komforttemperaturen beräknas utifrån de förinställda värdena (aktivitet, klädsel och luftfuktighet). I tabell 4.2 visas exempel på komforttemperaturer som är aktuella vid vistelse i ett överglasat köpcentrum. Motsvarande optimala (idealiska) lufttemperaturer kan vara antingen lägre eller högre än komforttemperaturerna, men är i de flesta fall något högre för att kompensera den kylande inverkan av lufthastighet och omgivande kalla ytor.

Som framgår av tabell 4.2 är inverkan stor av både klädsel och aktivitet. Eftersom olika aktiviteter pågår samtidigt, och människor har olika klädsel, är det svårt att vid ett tillfälle tala om en enda komforttemperatur. Vid mätningarna har här förutsatts både "stillasittande" och "shopping", medan klädseln av mättekniska skäl (mätkroppens inställningstid) begränsats till en enda vid samma tillfälle.

*Tabell 4.2. Komforttemperaturer vid olika klädsel och aktivitet. Siffrorna varierar något med luftfuktigheten och dessa siffror gäller vid vattenångstrycket 1,2 kPa, vilket motsvarar 50 % relativ luftfuktighet vid 20 °C.*

Klädsel	A k t i v i t e t	
	1,0 met stillasittande	1,6 met shopping
0,5 clo lätt sommarklädsel	26,7 °C	23,3 °C
1,0 clo vinterklädsel inomhus	23,8 °C	19,4 °C
1,5 clo "kraftig klädsel"	20,9 °C	15,5 °C
2,0 clo exempel på vinterklädsel utomhus	18,0 °C	11,6 °C

## 4.4 Mätutrustning och metodik

Användning av storheterna PMV och PPD bygger på en "modell" för termisk komfort, se Fanger (1970), som även är internationell standard, ISO 7730 från 1984. Mätmetoder beskrivs i ISO 7726 från 1985.

På grund av individuella olikheter finns det inget termiskt klimat som tillfredsställer alla, varför PPD aldrig blir 0 %. Den nämnda "modellen" anger att PPD = 5 % är minimum. Detta innebär att ett optimalt termiskt klimat (d v s kombination av de nämnda sex faktorerna, se avsnitt 4.1) medför att 95 % är nöjda.

Människans fysiska aktivitet, metabolismen, anges i enheten met, se avsnitt 4.1.1. I denna undersökning ingår studier av det termiska klimatet i två överglasade köpcentrum, där framförallt följande aktiviteter är aktuella, och därför används i fortsättningen:

- 1,0 met: Stillasittande (t ex vid sittgrupp eller café).
- 1,2 met: Stillastående (eller lätt, huvudsakligen stillasittande aktivitet).
- 1,6 met: Shopping (lätt, stående aktivitet).

Vistelse i ett köpcentrum innebär ofta en kombination av såväl stillasittande och stillastående, som av betydligt högre aktivitet. Stillasittande (1,0 met) kan ses som ett undre gränsvärde, som bara gäller om man sitter still en längre stund.

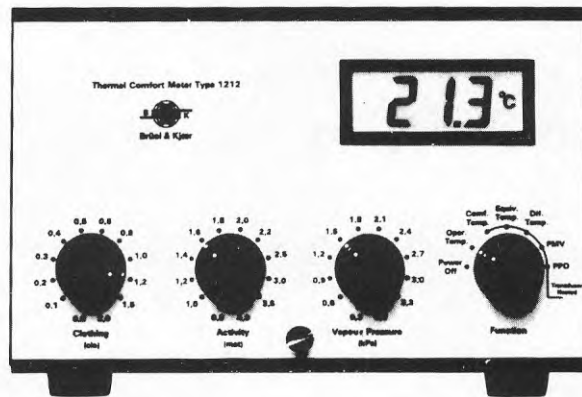
Klädernas värmeisolerande egenskaper anges i enheten clo, se avsnitt 4.1.1. I överglasade köpcentrum förekommer högst varierande klädsel. Vintertid har kunderna kraftiga vinterkläder medan de anställda i butiker m m har lättare klädsel. Följande fyra typiska klädedräkter används i fortsättningen:

- 0,5 clo: Lätt sommarklädsel (t ex trosor, lätta långbyxor, kortärmad skjorta, lätta sockor och skor). Används i ISO 7730 som typisk inomhusklädsel sommartid.
- 1,0 clo: Typisk vinterklädsel för inomhusbruk (t ex underkläder, byxor, långärmad skjorta, kavaj eller långärmad tröja, kraftiga sockor och skor). Används i ISO 7730.

- 1,5 clo: T ex ”traditionell kraftig europeisk klädsel”, d v s bomullsunderkläder med långa ben och ärmor, kostym med byxor, väst och kavaj, yllesockor och kraftiga skor.
- 2,0 clo: Exempel på vinterklädsel utomhus. T ex kalsong, undertröja, skjorta, byxor, jacka, kraftigt fodrad ytterjacka och hängselbyxa, sockor, skor, huva, handskar.

Det termiska klimatet har kvantifierats med fältmätningar. Med en termisk komfortmätare, Brüel & Kjær typ 1212, se figur 4.5, bestämdes bl a ekvivalent temperatur och PPD (förväntad procent otillfredsställda). Mätkroppen till den termiska komfortmätaren var placerad 1,1 m över golv, vilket simulerar stående personer. Se även Instruction Manual (1982).

Den ellipsformade mätkroppen värms elektrisk och simulerar människokroppen i termiskt avseende. Komfortmätaren mäter den kombinerade inverkan av lufttemperatur, medelstrålningstemperatur, lufthastighet och eventuell solstrålning. Aktuella värden på aktivitet, klädsel och luftfuktighet (vattenångtrycket) förinställs på mätarens frontpanel. Som resultat erhålls bl a ekvivalent temperatur och PPD.



Figur 4.5. Den termiska komfortmätaren, där värden på klädsel, aktivitet och vattenångtryck förinställs. Mätkroppen liknar till både storlek och form en mikrofon. Det var därför vanligt att ungdomar försökte påverka mätningarna genom att ropa!

Komfortmätaren och den standard som mätaren bygger på, ISO 7730, är avsedda för sk neutral miljö. Det rekommenderas t ex att lufttemperaturen ligger mellan 10 och 30 °C och att lufthastigheten är högst 1 m/s. För själva mätaren anges mätområdet för PPD till 5–90 %.

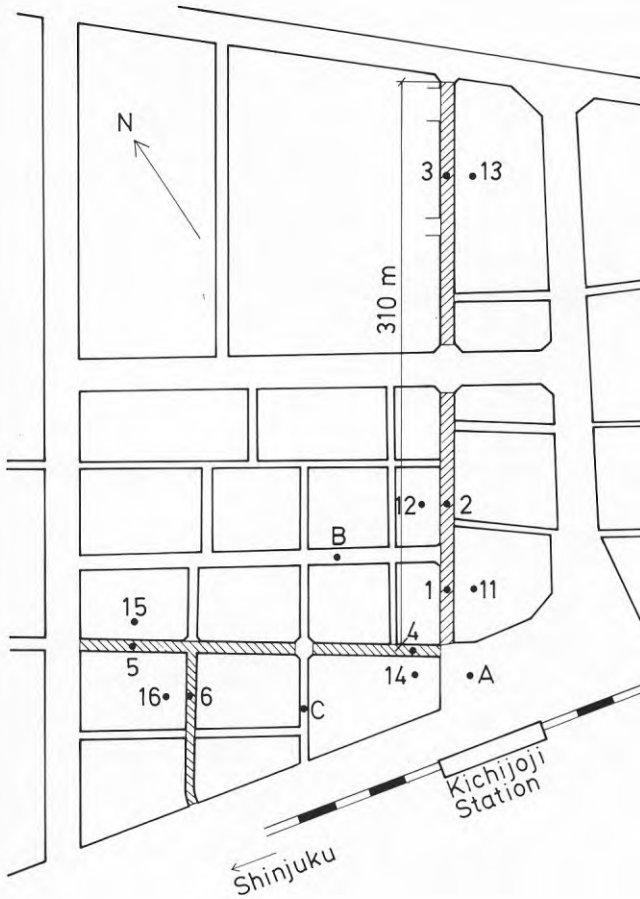
Med en Assman–psykrometer (R. Fuess, Berlin–Steglitz) bestämdes lufttemperatur och luftfuktighet. Lufthastigheten bestämdes i de flesta fall som 3-minuters medelvärden med en vinghjulsanemometer (Lambrecht), med kompletterande bestämningar med varmtrådsanemometer och synlig rök. I Skärholmens Centrum har dessutom omfattande bestämningar av temperaturförhållanden gjorts såväl kontinuerligt som momentant med termoelement, vilket kompletterar bestämningarna med termisk komfortmätare.

## 4.5 Kort beskrivning av överglasningen i Kichijoji, Tokyo

Bestämningarna av termisk komfort i det överglasade Skärholmens Centrum kompletteras av motsvarande (men mindre omfattande) bestämningar i det överglasade Kichijoji köpcentrum i Tokyo, se även Öman (1990). Jämfört med det skandinaviska klimatet karaktäriseras klimatet i Tokyo av högre lufttemperatur, högre luftfuktighet och högre solhöjd.

Stadsdelen Kichijoji ligger i Tokyo, ca 15 km väster om Tokyo station. I Kichijoji finns ett stort köpcentrum som administrativt består av två delar; Sun Road och Dai Ya Gai, se figur 4.6. Den 310 m långa gågatan Sun Road försågs 1971 med ett glastak, och 1974 fick de två gågator som tillhör Dai Ya Gai glastak. De överglasade gågatorna i Kichijoji har arean 3 050 m<sup>2</sup> och omges av ett stort antal småaffärer. I figur 4.7 visas en sektion genom en av de överglasade gågatorna.

Överglasningen i Kichijoji fungerar i första hand som regnskydd, d v s glastakets konstruktion är ganska enkel eftersom inga krav på lufttäthet behöver uppfyllas. De överglasade gågatornas ändrar är helt öppna, och öppningar finns också på flera ställen längs gågatornas sidor. Inga installationer för uppvärmning, luftkonditionering eller ventilation finns i de överglasade gågatorna. Omgivande butiker har i de flesta fall individuell luftkonditionering, relativt enkla installationer för uppvärmning av delar av butikerna och i viss mån mekanisk ventilation. Butiksentréerna mot gågatorna tycks normalt stå öppna under affärstid även på vintern.



Figur 4.6. Kichijoji köpcentrum i Tokyo med de överglasade gågatorna Sun Road (///) och Dai Ya Gai (\\ \\).

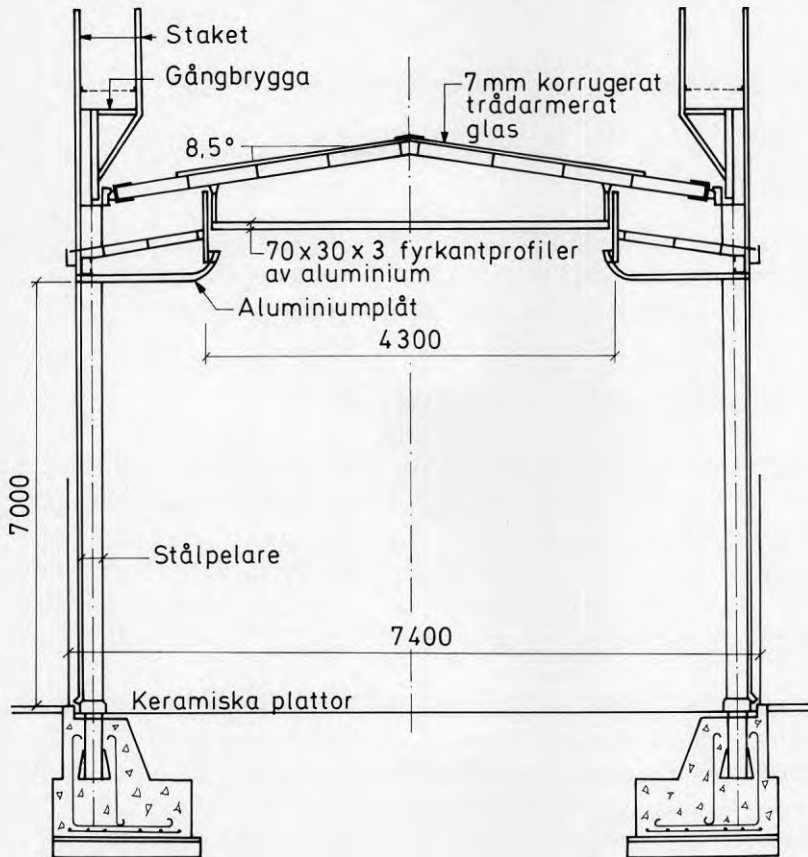
Från Kichijoji station går lokaltåg direkt till Shinjuku i centrala Tokyo.

Det termiska klimatet har bestämts vid markerade ställen:

A-C: utomhus

1-6: i de överglasade gågatorna

11-16: inne i affärer.



Figur 4.7. Sektion genom gågatan Sun Road i Kichijoji, Tokyo. Gatans bredd är 7,4 m mellan husfasaderna. Glastaket består av 7 mm korrugerat trådarmerat glas och är till stora delar öppningsbart.

Aluminiumprofilerna under glastaket står på högkant med uppskattningsvis ca 20 cm centrumavstånd, varigenom dessa fungerar som bländskydd för solen. Liksom i Skärholmens Centrum är skuggningen av omgivande byggnader betydande, medan solavskärmning i form av gardiner e d saknas.

## 4.6 Undersökningsresultat

### 4.6.1 Skärholmens Centrum

Bestämningarna av termisk komfort för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum redovisas i det följande först i detalj för tre olika dagar, och sedan som sammanfattade resultat för tio olika dagar.

#### RESULTAT I DETALJ FÖR TRE OLIKA DAGAR

Resultat från undersökning av termisk komfort visas i figur 4.8–4.10. Dessa figurer återfinns även i större storlek och med färg i Höglund et al. (1987). I figur 4.8 och 4.9 gäller att man vid vissa mätpunkter ligger strax utanför rekommenderat mätområde för komfortmätaren med lufthastighet över 1 m/s och PPD över 90 %. Vid lufthastighet över 1 à 1,5 m/s blir resultatet inte lika exakt. PPD över 90 % redovisas här som PPD = 95 %.

Lufttemperatur och luftfuktighet mättes med en Assman–psykrometer och lufthastighet (3 minuters medelvärde) med en vinghjulsanemometer (Lambrecht). Att lufthastigheten anges <0,2 m/s innebär inte att den är ointressant, utan beror på mätinstrumentets begränsning. Samtliga dagar (figur 4.8–4.10) gäller att de flesta butiksentréer mot överglasningen stod uppställda från kl 9–10 och fram till kl 18–19.

Figur 4.8 visar resultat från en riktigt varm sommardag med utetemperatur upp till 27 °C. Denna dag gjordes även följande observationer och mätningar:

- Människor hade klädsel som motsvarar ungefär 0,3–1,0 clo, de flesta kring 0,5 clo, varför 0,5 clo förinställdes på mätaren.
- Relativa luftfuktigheten uppmättes till 45–47 % vid 24–25 °C, och motsvarande vattenångtryck, 1,5 kPa, förinställdes på mätaren.
- De fyra karuselldörrarna var uppställda under dagen, vilket inte skjutdörrarna mot P-huset var. Glasluckorna var i genomsnitt ungefär halvöppna fram till kl 15 och därefter helt öppna.
- Genom de fyra uppställda karuselldörrarna strömmade luft hela tiden inifrån och ut, med lufthastighet mellan 0,5 och 1,5 m/s (i genomsnitt 1,0 m/s).



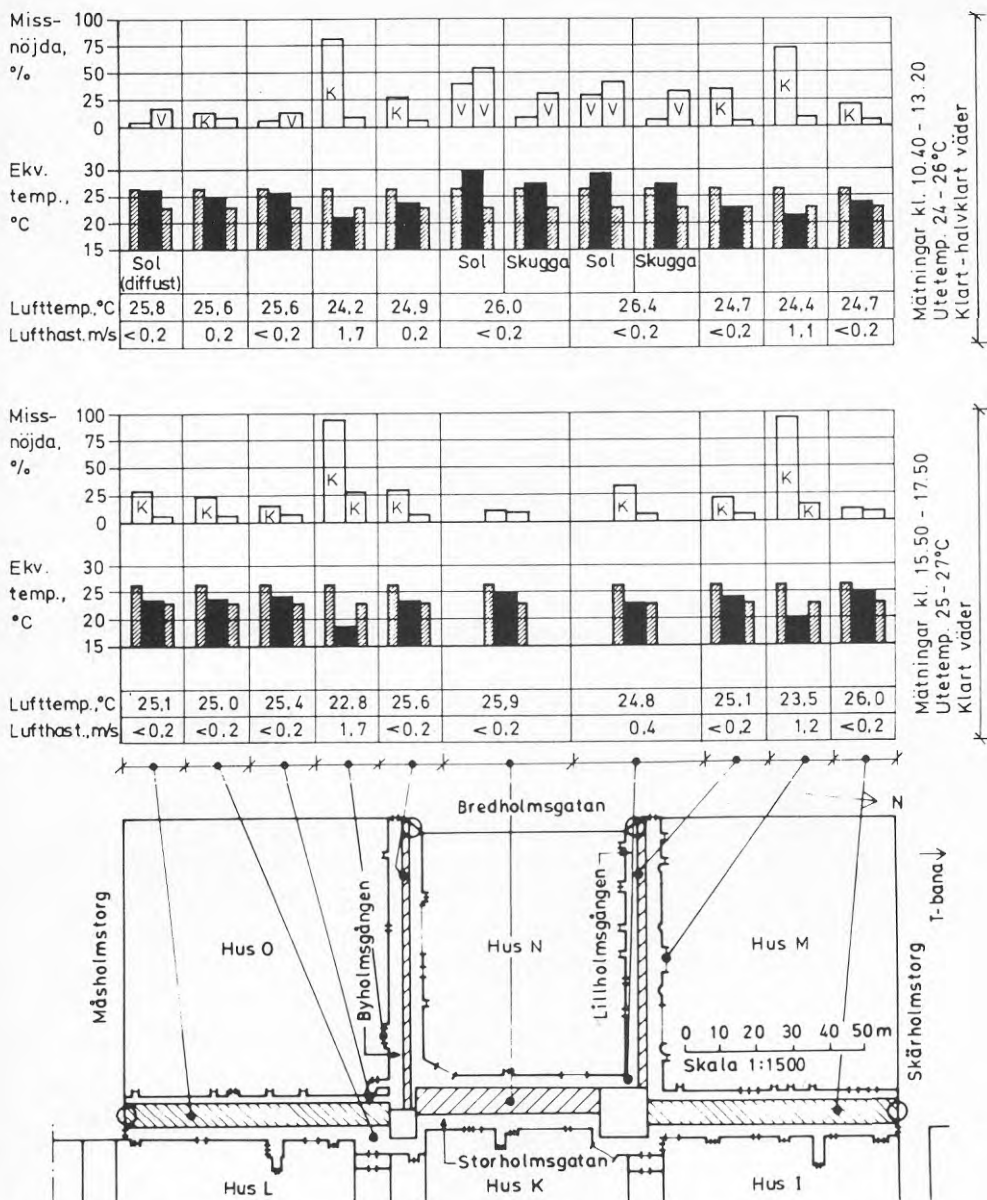
Figur 4.9 visar resultat från en höstdag med utetemperatur 11–15 °C under mätningarna och både duggregn och klart väder. Denna dag gjordes även följande observationer och mätningar:

- Människor hade klädsel som motsvarar ungefär 1,0–1,5 clo, men även 0,8 clo och 2,0 clo förekom. Genomsnittet låg uppskattningsvis närmast 1,5 clo, som förinställdes på mätaren.
- Relativa luftfuktigheten uppmättes till 46–56 % vid 19–22 °C, och motsvarande vattenångstryck, 1,2 kPa, förinställdes på mätaren.
- Inga ytterentréer var uppställda. Glasluckorna i stora och lilla glastornet och även södra Storholmsgatan var öppna till 1/5–1/2 av maximal öppning, medan övriga glasluckor var stängda.

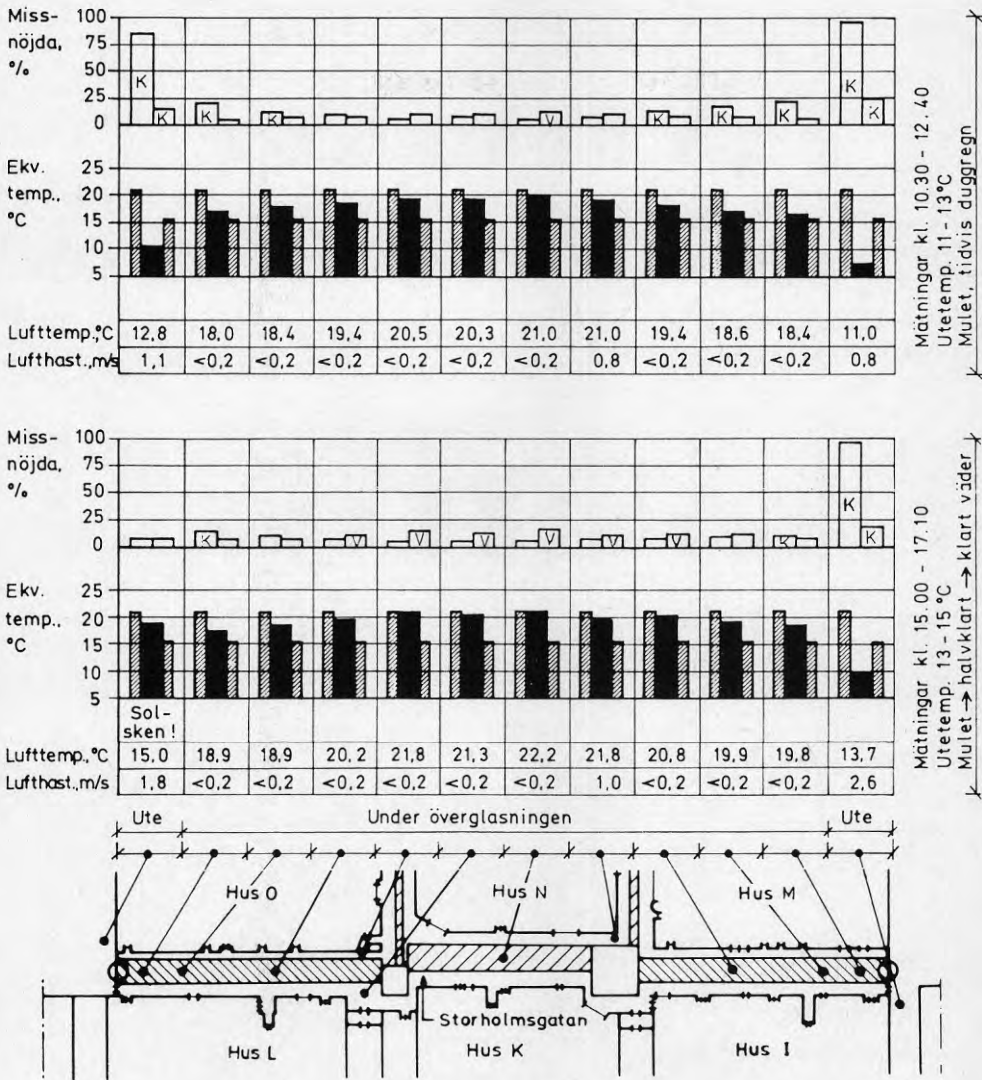
Figur 4.10 visar resultat från en riktigt kall vinterdag med utetemperatur –13 till –18 °C under mätningarna. Denna dag gjordes även följande observationer och mätningar:

- Människor hade vinterkläder som uppskattas till 2,0 clo i genomsnitt, vilket förinställdes på mätaren.
- Relativa luftfuktigheten uppmättes till 14–18 % vid 15–17 °C, och motsvarande vattenångstryck, 0,3 kPa, förinställdes på mätaren.
- Karuselldörren till Lillholmsgången var trasig. Den stod uppställd (varvid kall uteluft strömmade in) fram till kl 11.15, då denna karuselldörr stängdes helt för resten av dagen. Mätningen i Lillholmsgången på förmiddagen gjordes kl 11.20. Inga övriga ytterentréer eller glasluckor var uppställda.
- Samtliga luftvärmare vid ytterentréer stod inställda på full effekt.

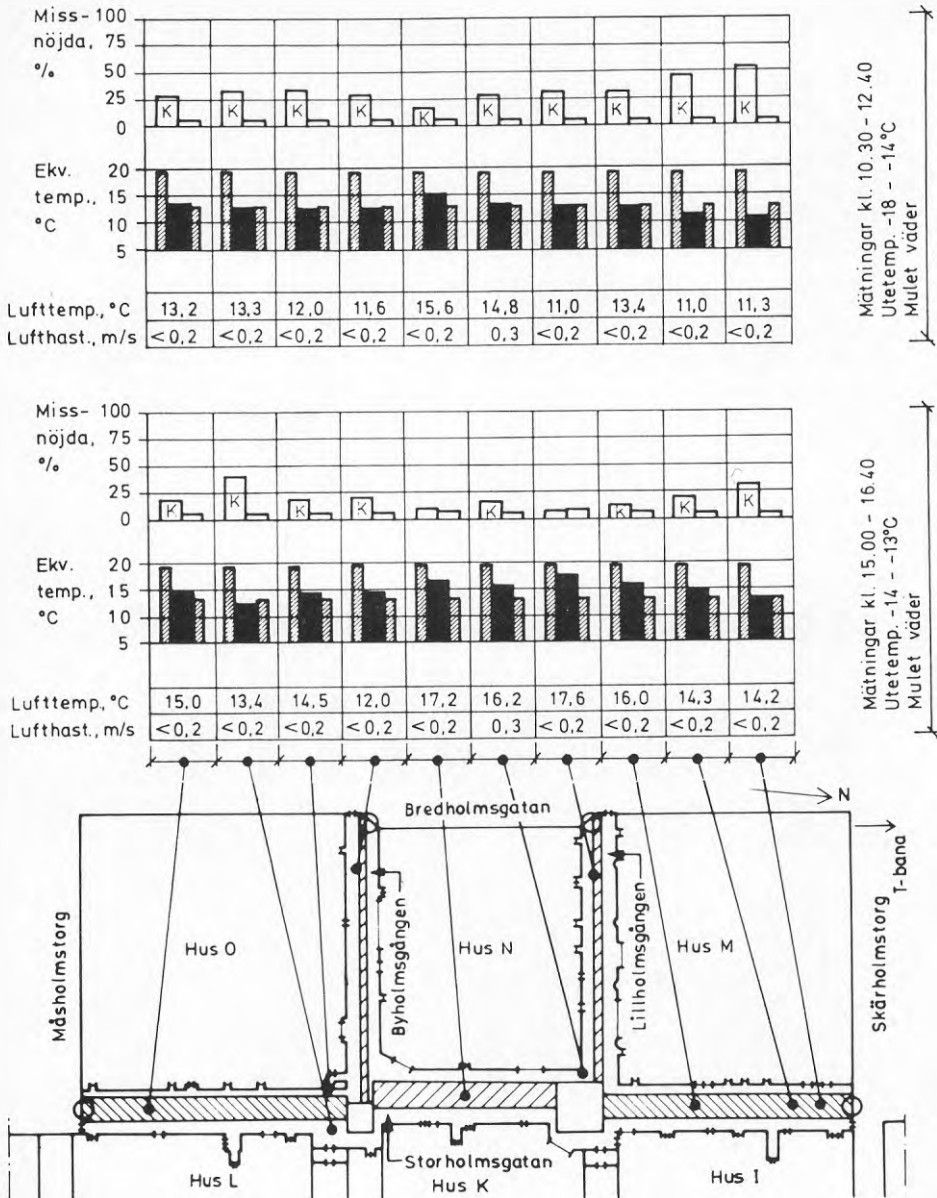
I figur 4.8 syns inverkan av att det drar ordentligt i de öppna varuhusentréerna. I Åhléns entré från Byholmsgången uppmättes 1,4–2,2 m/s och i Domus entré från Lillholmsgången 1,0–1,2 m/s (samtliga 1-minuts medelvärden 1,1 m över golv). Lufthastigheten 0,1 m över golv var ungefär lika stor, och hela tiden strömmade luften inifrån varuhuset och ut i gågatorna. Denna höga lufthastighet medför att ekvivalenta temperaturen ligger flera grader lägre än lufttemperaturen, och vid stillasittande aktivitet är nästan alla missnöjda, d v s PPD är mycket högt. Detta bekräftades av en kvinna som satt mitt i entrén till Domus och sålde lotter. Trots en kraftig ylletröja över axlarna denna mycket varma sommardag klagade hon över att det drog!



Figur 4.8. Termiskt klimat i Skärholmens Centrum en varm sommardag, måndag 4 augusti 1986, vid två olika tider och på tio olika platser, varav åtta stycken i de överglasade gågatorna och två stycken mitt i varuhusentréer. Lätt sommarklädsel, 0,5 clo, har förutsatts. De svarta staplarna visar ekvivalent temperatur. För jämförelse visas med smala snedstreckade staplar beräknad komforttemperatur vid både stillasittande aktivitet (1,0 met) t v och vid shopping (1,6 met) t h. Missnöjda, %, avser "förväntad procent otillfredsställda" (PPD) vid stillasittande t v och vid shopping t h. Med K respektive V visas om de flesta av de missnöjda anser klimatet för kallt respektive för varmt.



Figur 4.9. Resultat från undersökning av termisk komfort en höstdag, fredag 5 september 1986, vid två olika tider och på tolv olika platser, varav tio st i de överglasade gågatorna och två st utomhus. Kraftig klädsel, 1,5 clo, har förutsatts. De svarta staplarna visar ekvivalent temperatur. För jämförelse visas med smala snedstreckade staplar beräknad komforttemperatur vid både stillasittande aktivitet (1,0 met) t v och vid shopping (1,6 met) t h. Missnöjda, %, avser "förväntad procent otillfredsställda" (PPD) vid stillasittande t v och vid shopping t h. Med K respektive V visas om de flesta av de missnöjda anser klimatet för kallt respektive för varmt.



Figur 4.10. Resultat från undersökning av termisk komfort en riktigt kall vinterdag, torsdag 8 januari 1987, vid två olika tider och på tio olika platser i de överglasade gågatorna. Vinterkläder för utomhusbruk, 2,0 clo, har förutsatts. De svarta staplarna visar ekvivalent temperatur. För jämförelse visas med smala snedstreckade staplar beräknad komforttemperatur vid både stillasittande aktivitet (1,0 met) t v och vid shopping (1,6 met) t h. Missnöjda, %, avser "förväntad procent otillfredsställda" (PPD) vid stillasittande t v och vid shopping t h. Med K respektive V visas om de flesta av de missnöjda anser klimatet för kallt respektive för varmt.

I figur 4.8 syns också inverkan av direkt sol vid två mätpunkter mitt i Storholmsgatan (kl 11.30), där solstrålningen, trots relativt sned infallsvinkel höjer ekvivalenta temperaturen med 2 à 3 °C. Någon timme tidigare är denna inverkan större p g a mer vinkelrätt infallande strålning genom det lutande glaspartiet mot öster. Observera att solen också har en betydande indirekt verkan vid mätningen både i sol och i skugga, genom att solstrålningen höjer både medelstrålnings- och lufttemperaturen. Solstrålningen medför att förmiddagarna vissa dagar (t ex 4 augusti i figur 4.8) kan upplevas för varma i Storholmsgatans mittparti. En stor fördel är då att man kan undvika den direkta solstrålningen genom att vistas i skuggan av utskjutande tak.

Av figur 4.8 framgår att den ekvivalenta temperaturen ofta ligger någonstans mellan komforttemperaturerna för "stillasittande" respektive "shopping". Detta kan ses som att klimatet är en ganska idealisk kompromiss mellan de två aktiviteterna med den förutsatta klädseln.

I figur 4.9 kan inne- och uteklimat jämföras en höstdag. Längs Storholmsgatan visar ekvivalenta temperaturen en ganska typisk "profil" med lägre temperatur närmare karuselldörrarna. Precis som i figur 4.8 är klimatet ganska idealiskt med hänsyn till de två aktiviteterna, men här förutsätts mycket varmare klädsel. Klimatet utanför överglasningen inbjuder inte till stillasittande. På eftermiddagen ger visserligen solen en hög ekvivalent temperatur söder om Storholmsgatan, men här kan vinden ändå upplevas som obehaglig.

Som framgår av figur 4.9 är lufthastigheten upp till 1 m/s vid hus N:s hörn mot stora tornet. Detta fenomen återkommer vid undersökningarna. Lyckligtvis är lufthastigheten mycket lokal (upp till 1 à 2 m från hörnet), och dessutom är lufttemperaturen här betydligt högre än t ex nära karuselldörrarna. Klimatet nära skjutdörrarna (mellan hus K och L) är anmärkningsvärt bra med låg lufthastighet, trots att ganska många människor passerar genom dörrarna.

Kalla vinterdagar är klimatet under överglasningen ofta i kallaste laget för helt stillasittande aktivitet. Så är t ex fallet i figur 4.10, trots att mycket varm klädsel (2,0 clo) förutsatts. För shopping däremot är klimatet ganska idealiskt. På nästan alla platser har ekvivalenta temperaturen stigit några grader från förtill eftermiddagen.

På eftermiddagen i figur 4.10 är det betydligt kallare i Byholmsgången än i Lillholmsgången (lufttemperatur 12 °C respektive 18 °C). Detta beror i första hand på karuselldörrarna. I Byholmsgången roterar dörren som vanligt och för in kall uteluft, medan dörren till Lillholmsgången var trasig och därför helt stängd.

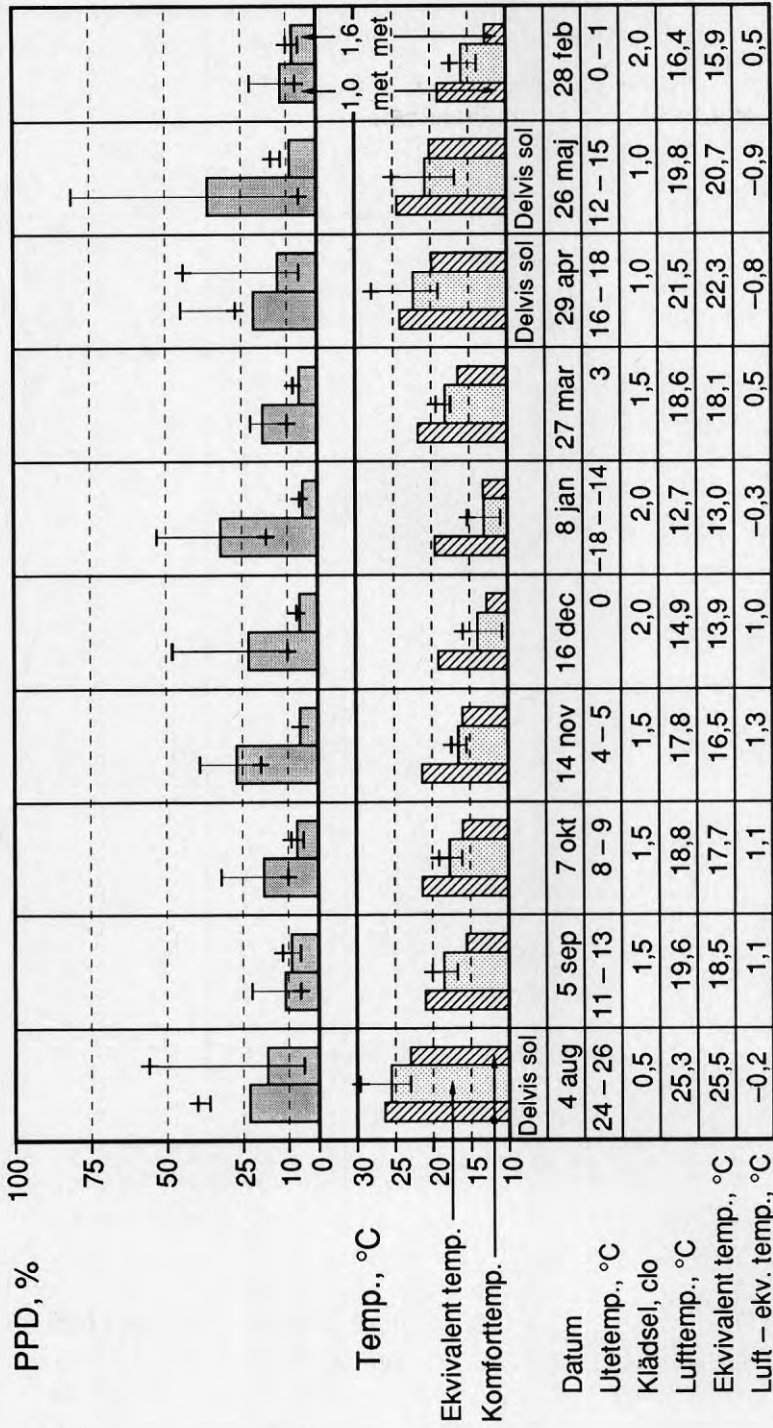
Vid komfortmätningarna är mätkroppen placerad 1,1 m över golvet, varför eventuellt kallare luft närmare golvet inte direkt framgår. Detta framgår i stället i kapitel 5, där figur 5.16 avser samma dag som i figur 4.10. Golvet ytemperatur påverkar dock komfortmätningen via värmestrålning. Tack vare golvvärmslingorna kan denna värmestrålning, och dessutom värmestrålning från de inbyggda fasaderna, mer eller mindre kompensera för den kylande inverkan av lufthastighet och kalla glasytor, varvid ekvivalenta temperaturen och lufttemperaturen kan bli mer eller mindre lika som t ex i figur 4.10.

Klimatet innanför skjutdörrarna påverkas av tryckskillnaden inne–ute. Den 8 januari (figur 4.10) rådde undertryck i överglasningens nedersta del, varför kall uteluft strömmade in när människor passerade genom skjutdörrarna. Vid skjutdörrarna mellan hus K och L bestämdes undertrycket med mikromanometer till 4–5 Pa på förmiddagen och 3–10 Pa på eftermiddagen. Som framgår av figur 4.10 är också klimatet innanför skjutdörrarna kallare i förhållande till andra mätplatser på eftermiddagen, vilket kan förklaras av tidvis större undertryck och dessutom troligen av att fler människor passerade jämfört med förmiddagen.

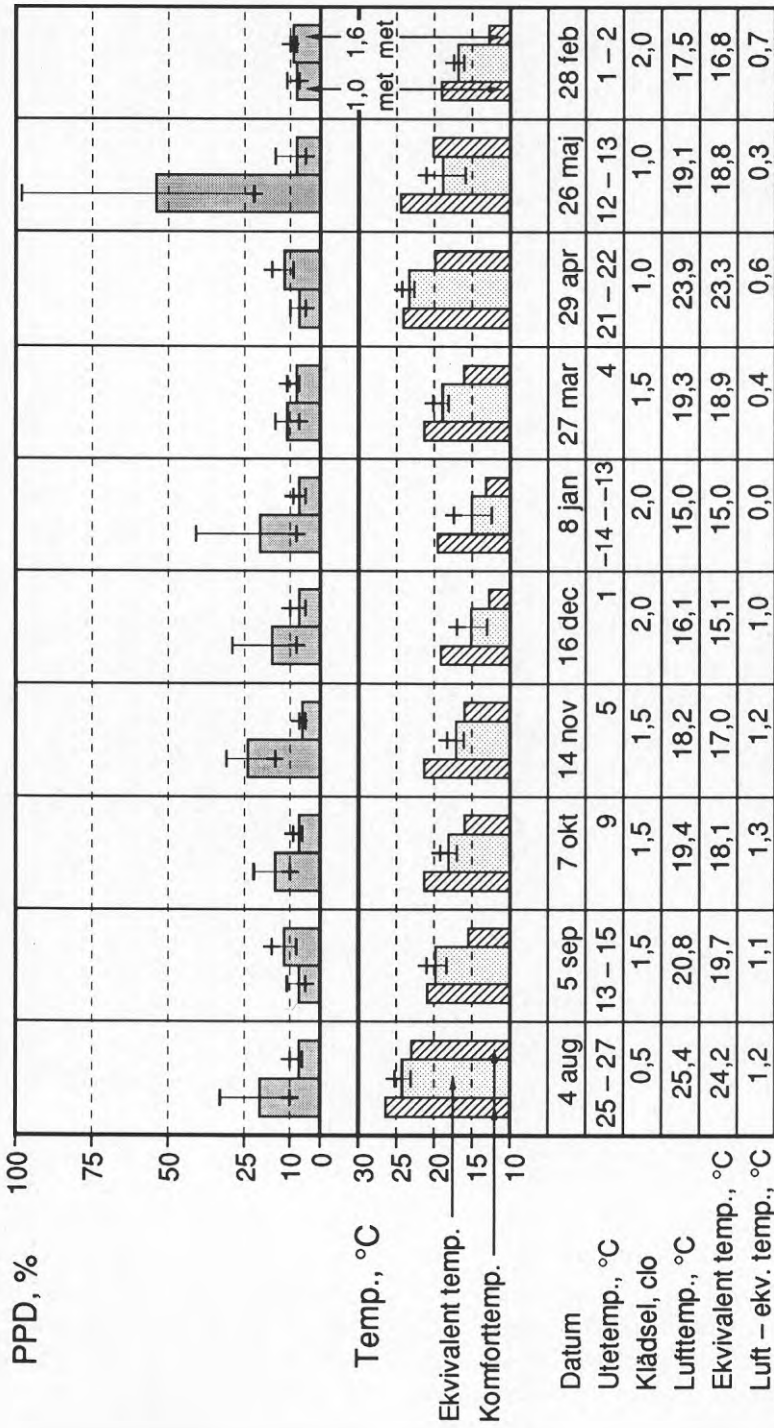
## SAMMANFATTNING AV RESULTAT FRÅN TIO DAGAR

Totalt har termisk komfort bestämts tio olika dagar vid de tio platser som framgår av figur 4.10. Resultaten sammanfattas av figur 4.11–12, där tre av dagarna är desamma som i figur 4.8–10. Bestämningarna har gjorts momentan efter ca 10 minuter på varje plats, och det tog ca två timmar att bestämma klimatet på de tio platserna. Varje dag gjordes bestämningarna två gånger; under ca två timmar dels mellan kl 10 och kl 13, figur 4.11, och dels mellan kl 15 och kl 18, figur 4.12. Utetemperaturen avser lägsta och högsta temperatur under dessa ca två timmar.

Flertalet värden i figur 4.11–12 avser medelvärden. För ekvivalent temperatur och PPD visas även spridningen, där + respektive – avser de varmaste respektive kallaste av de tio platserna. För den ekvivalenta temperaturen är detta okomplicerat med ett medelvärde mellan högsta och lägsta värde. För andelen missnöjda, PPD, är dock förhållandena lite speciella på två sätt. För det första kan PPD vara högst antingen vid den varmaste eller den kallaste platsen. För det andra behöver inte medelvärdet av PPD ligga mellan värdena vid varmaste och kallaste plats, se t ex längst t v i figur 4.11. Detta andra fenomen beror på att PPD följer en ”badkarskurva” om det termiska klimatet successivt förändras från alltför kallt till alltför varmt eller tvärtom (se figur 12.1). Det kan därför också bli stor skillnad mellan att, som här, ange medelvärdet av samtliga värden på PPD, jämfört med att ange PPD vid medelvärdet av ekvivalent temperatur m m (egentligen medelvärdet av PMV).



Figur 4.11. Termisk komfort bestämd kl 10-13 tio olika vardagar från 4 aug 1986 till 26 maj 1987 och, längst t h, 28 feb 1990. Staplar och värden för lufttemperatur, ekvivalent temperatur och PPD avser medelvärden från de tio olika platser i de överglasade gångarna som framgår av figur 4.10. Med + och - markeras ekvivalent temperatur och PPD för de varmaste respektive kallaste av de tio platserna. Komforttemperatur och PPD visas för stillasittande aktivitet, 1,0 met, t v och för shopping, 1,6 met, t h. Se även den löpande texten och figur 4.12.



Figur 4.12. Termisk komfort bestämd kl 15-18 tio olika vardagar från 4 aug 1986 till 26 maj 1987 och, längst t h, 28 feb 1990. Staplar och värden för lufttemperatur, ekvivalent temperatur och PPD avser medelvärderna från de tio olika platser i de överglasade gångatorna som framgår av figur 4.10. Med + och - markeras ekvivalent temperatur och PPD för de varmaste respektive kallaste av de tio platserna. Komforttemperatur och PPD visas för stillasittande aktivitet, 1,0 met, t v och för shopping, 1,6 met, t h. Se även den löpande texten och figur 4.11.



Solinstrålning inverkar direkt på ekvivalent temperatur och PPD tre av de tio dagarna kl 10–13, då kortvågig solstrålning som passerat genom glasning och plastpanel når den termiska komfortmätarens mätkropp vid tre av tio platser. Vid dessa tre platser var härigenom den ekvivalenta temperaturen mellan 1 och 5 °C högre än lufttemperaturen. Samtidigt var den ekvivalenta temperaturen vid dessa tre platser mellan 2 och 4 °C lägre någon meter bredvid i skuggan (av t ex en pelare) jämfört med i solen, vilket alltså är den termiska komfortmätarens kvantifiering av att kortvågig solstrålning absorberas av människokroppen (simulerad av mätkroppen). Just denna kvantifiering, mellan 2 och 4 °C, gäller dock bara vid dessa platser och tidpunkter.

Skillnad mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur orsakas förutom av kortvågig solstrålning av att omgivande ytors temperatur avviker från lufttemperaturen och av att lufthastigheten avviker från noll. Av avsnitt 4.3 framgår att ytemperaturerna, kvantifierad av medelstrålningstemperaturen, har ungefär lika stor inverkan som lufttemperaturen på den ekvivalenta temperaturen. Vidare framgår att även låga lufthastigheter har stor betydelse.

Mot denna bakgrund är det något förvånande att den genomsnittliga skillnaden mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur är så liten som framgår av figur 4.11–12. På förmiddagarna, kl 10–13, är lufttemperaturen i genomsnitt bara 0,3 °C högre än den ekvivalenta temperaturen och på eftermiddagarna, kl 15–18, är denna genomsnittliga skillnad 0,8 °C. Som tidigare nämnts inverkar solinstrålning på den ekvivalenta temperaturen tre av de tio förmiddagarna vid tre av tio platser, vilket är huvudorsak till den genomsnittligt mindre skillnaden mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur på förmiddagarna jämfört med eftermiddagarna. De exakta värdena på dessa små temperaturskillnader är osäkra; med mätnoggrannheten  $\pm 0,2$  °C för lufttemperatur och  $\pm 0,5$  °C för ekvivalent temperatur är temperaturskillnaderna bestämda med drygt  $\pm 0,5$  °C noggrannhet. Eftersom samma mätinstrument har använts hela tiden är dock skillnaden mellan temperaturskillnad vid olika tillfällen med stor sannolikhet bestämd med noggrannhet mindre än  $\pm 0,5$  °C.

Endast små genomsnittliga skillnader mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur kan alltså konstateras trots stora glasade ytor, vars ytemperatur på insidan är väsentligt lägre än lufttemperaturen vintertid. Avgörande för de kalla glasyornas inverkan på medelstrålningstemperatur och därmed ekvivalent temperatur är dock glasyornas andel av rymdvinkeln, d v s deras vinkelkoefficient. Geometrin för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum är sådan att denna vinkelkoefficient på många platser är relativt liten. Omgivande byggnaders fasadytor och i första hand då skyltfönstren bidrar i de flesta fall till högre medelstrålningstemperatur. Med golvvärmen i drift bidrar naturligtvis även den stora golvytan till att höja medelstrålningstemperaturen.

Solinstrålning genom glasningen bidrar också till högre yttemperaturer. Dessa högre yttemperaturer motverkar den sänkning av den ekvivalenta temperaturen som erhålls av kalla glasytor och även av lufrörelser, så att den resulterande skillnaden mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur alltså blir relativt liten.

Som framgår av figur 4.11–12 är det förhållandevis svala inomhusklimatet i de flesta fall bättre anpassat till shopping än till stillasittande aktivitet. Detta kan påvisas med jämförelser med rekommendationen  $PPD < 10\%$ , vilken finns i bilaga A till ISO 7730. Om man studerar samtliga mätvärden (10 dagar · 10 platser · 2 mättillfällen = 200 värden) erhålls  $PPD < 10\%$  i 80 % av fallen om man förutsätter shopping, men bara i 26 % av fallen om man förutsätter stillasittande aktivitet. Under förmiddagarna erhålls  $PPD < 10\%$  i bara 18 % av fallen med stillasittande aktivitet, medan det genomsnittligt varmare inneklimatet på eftermiddagarna höjer denna siffra till 35 %.

Som tidigare påpekats kan stillasittande, 1,0 met, betraktas som ett undre gränsvärde, som bara gäller om man sitter still en längre stund. Om man i stället t ex förutsätter lätt, huvudsakligen stillasittande aktivitet, 1,2 met, erhålls i de flesta fall lägre värden på PPD motsvarande färre missnöjda personer. Man kan vidare ifrågasätta tillämpligheten av rekommendationen  $PPD < 10\%$  för aktuell typ av överglasning, där ju klimatet avviker från ett "vanligt inomhusklimat" på framförallt två sätt. Dels är klimatet i de flesta fall kallare och dels är dygnsvariationen större. Att klimatet är kallare kan i stort sett kompenseras med ökad klädsel, men med konstant klädsel under dygnet medför dygnsvariationen att  $PPD < 10\%$  ofta är svårt att uppnå. En rekommendation med större tolerans, t ex  $PPD < 20\%$ , skulle förslagsvis kunna tillämpas för aktuell typ av överglasning.

Förutsatt klädsel har stor betydelse för komforttemperatur och därmed för PPD. Den klädsel som förutsatts i figur 4.11–12 är uppskattade medelvärden av observerad klädsel som kunderna hade vid varje tillfälle, avrundat till 0,5, 1,0, 1,5 eller 2,0 clo. Den komensation för olika klimat (årstider) som förutsatts med olika klädsel motsvarar alltså i huvudsak verkliga förhållanden. Betydelsen av olika klädsel framgår t ex om man jämför resultaten 27 mars och 26 maj i figur 4.12. Det termiska inneklimatet dessa två eftermiddagar är praktiskt taget detsamma, varför den stora skillnaden mellan PPD vid stillasittande aktivitet främst orsakas av olika klädsel.

Värdena för 28 februari 1990 avser, till skillnad från övriga vinterdagar, förhållanden med överglasningens golvvärme avstängd. Här kan faktiskt inte någon skillnad observeras trots avstängd golvvärme, och inte heller är skillnaden mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur större. Skillnaden är

dock tydlig om man i stället jämför ett ganska stort antal dagar, se figur 5.13, där lufttemperaturen är 2–3 °C lägre dagtid med golvvärmen avstängd.

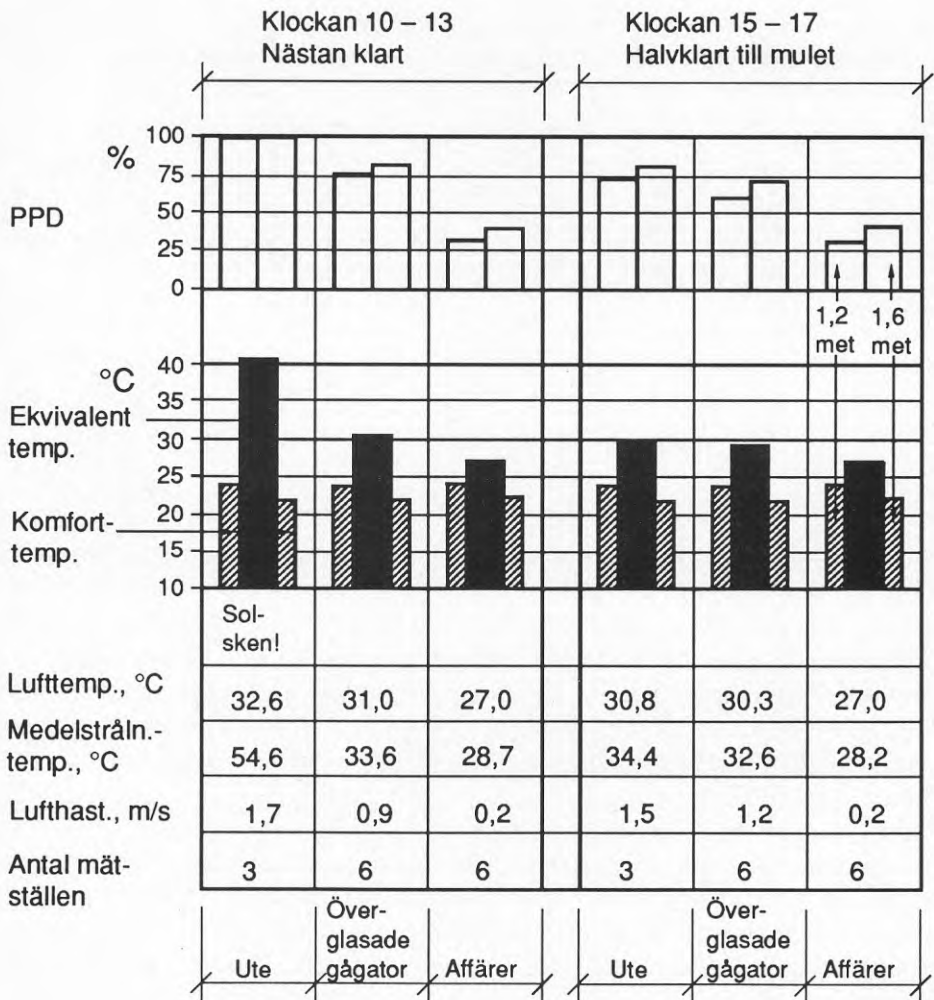
Sammanfattningsvis påvisas att Skärholmens Centrums överglasade gågator erbjuder ett i huvudsak gynnsamt termiskt klimat, där dock variationerna såväl under enstaka dygn som under året är förhållandevis stora. Med utekläder erhålls bra kompensation för variationerna under året. Det förhållandevis svala inneklimatet är i de flesta fall bättre anpassat för shopping än till stillasittande aktivitet.

## 4.6.2 Kichijoji, Tokyo

Bestämningarna av termisk komfort i det överglasade Skärholmens Centrum kompletteras av motsvarande bestämningar i det överglasade Kichijoji köpcentrum i Tokyo, vilket möjliggör en jämförelse med ett betydligt varmare uteklimat än det skandinaviska. Det bör dock observeras att själva överglasningen i Kichijoji är av enklare typ än i Skärholmens Centrum, se avsnitt 4.5. Det termiska klimatet i Kichijoji har bestämts några olika dagar vid de totalt 15 ställen som framgår av figur 4.6. I det följande redovisas resultat från en sommar- och en vinterdag.

Metodiken var praktiskt taget densamma som vid motsvarande bestämningar i Skärholmens Centrum, och i båda fallen har en termisk komfortmätare av samma modell använts. Den förutsatta aktiviteten "shopping", 1,6 met, är densamma i båda fallen. Som lägre aktivitet har dock i Skärholmens Centrum förutsatts "stillasittande", 1,0 met, medan "stillastående eller lätt, huvudsakligen stillasittande aktivitet", 1,2 met, har förutsatts i Kichijoji. En mätteknisk skillnad är vidare att lufthastigheten i Kichijoji bestämdes med en varmtrådsanemometer (Rion AM-03), men även här redovisas medelvärden från mätningar under tre minuter.

Resultat från en ganska normal sommardag i Tokyo framgår av figur 4.13. På grund av direkt solsken var medelstrålningstemperatur och ekvivalent temperatur utomhus mycket höga kl 10–13. Värdena i figur 4.13, 54,6 °C resp. 40,5 °C, är dock något osäkra eftersom de egentligen ligger utanför den termiska komfortmätarens mätområde.



Figur 4.13. Termiskt klimat i Kichijoji köpcentrum en sommardag, måndag 31 augusti 1987. Medelvärden från mätningar vid tre platser utomhus, sex platser i de överglasade gågatorna och inne i sex affärer, se figur 4.6. Lätt sommarklädsel, 0,5 clo, har förutsatts.

De svarta staplarna visar ekvivalent temperatur, medan de smala snedstreckade staplarna visar komforttemperaturen både vid låg aktivitet (stillastående, 1,2 met) till vänster och vid högre aktivitet (shopping, 1,6 met) till höger. PPD (förväntad procent otillfredsställda) visas för samma aktiviteter; stillastående t v och shopping t h.

Tack vare att huvuddelen av de överglasade gågatorna ligger i skugga är ekvivalenta temperaturen där betydligt lägre kl 10–13 än utomhus. På eftermiddagen, kl 15–17, är vädret övervägande mulet och ekvivalenta temperaturen är då i genomsnitt endast 0,6 °C lägre i de överglasade gågatorna i jämförelse med utomhus. Såväl lufttemperatur som lufthastighet är hela dagen lika eller något lägre i de överglasade gågatorna i jämförelse med utomhus. Tack vare luftkonditionering är klimatet inne i butikerna svalast och därmed mest komfortabelt hela dagen.

Resultatet från en vinterdag framgår av tabell 4.3. Klimatet är något kallare i de överglasade gågatorna i jämförelse med utomhus, framförallt på förmiddagen. Denna skillnad beror på att medelstrålningstemperaturen och därmed den operativa temperaturen är högre ute, medan såväl lufttemperatur som lufthastighet är ungefär lika i de överglasade gågatorna och utomhus. På grund av nedkylning nattetid och termisk tröghet kan ytorna mot de överglasade gågatorna ha relativt låg yttemperatur även dagtid, framförallt på förmiddagen. Ute kan solen relativt snabbt värma upp omgivande ytor, vilket höjer medelstrålningstemperaturen.

Tabell 4.3. Termiskt klimat i Kichijoji köpcentrum en vinterdag, torsdag 18 februari 1988. Medelvärden från mätningar vid tre platser utomhus, sex platser i de överglasade gågatorna och inne i fem affärer, se figur 4.6 (av de sex affärerna i figur 4.6 var en affär stängd vid detta tillfälle). Denna vinterdag var klimatet vid flertalet mätpunkter för kallt för bestämning av ekvivalent temperatur och PPD.

	Klockan 10 – 12 Halvklart			Klockan 14 – 15.30 Halvklart		
Operativ temp., °C	9,1	5,7	10,6	9,3	8,4	13,7
Lufttemp., °C	4,4	4,3	9,0	6,4	6,8	11,9
Medelstrålningstemp., °C	20,1	9,0	12,2	16,1	12,1	15,5
Lufthast., m/s	1,0	0,9	0,06	0,7	1,0	0,10
Antal mätställen	3	6	5	3	6	5
	Ute	Överglasade gågator	Affärer	Ute	Överglasade gågator	Affärer

Som framgår av tabell 4.3 är klimatet inne i butikerna anmärkningsvärt kallt med operativa temperaturen ca 10–14 °C. Under den korta uppvärmnings-säsongen i Tokyo är dessa butiker bara delvis uppvärmda (lokalt vid kassor o d), och butiksentréerna tycks normalt stå öppna under affärstid även på vintern. På grund av låg temperatur i butikerna blir den indirekta uppvärmningen av de överglasade gågatorna mycket begränsad, vilket är en väsentlig skillnad i jämförelse med Skärholmens Centrum.

Sammanfattningsvis påvisas att även på sydligare breddgrader med ett betydligt varmare klimat än det skandinaviska (i Tokyo) kan en mycket enkel överglasning sommartid faktiskt ge ett svalare och därmed bättre termiskt klimat inne i jämförelse med uteklimatet. Skuggning från omgivande byggnader har mycket stor betydelse i detta sammanhang.

# 5 Temperaturförhållanden

## 5.1 Bakgrund och metodik

Vid utvärdering av det termiska klimatet i byggnader är det naturligtvis mättekniskt enklast att endast bestämma lufttemperaturen. Peterson et al. (1988) argumenterar för att detta i normalfallet är fullt tillräckligt i vanliga bostäder, eftersom inverkan av ytemperaturer, lufthastighet och luftfuktighet enligt författarna oftast är så liten. Resultat från det överglasade Skärholmens Centrum, se kapitel 4, visar också att skillnaden mellan ekvivalent temperatur och lufttemperatur ofta är relativt liten, d v s att det är rimligt att här använda lufttemperaturen som ett förenklat mått på det termiska inneklimatet. En noggrannare analys av det termiska inneklimatet framgår av kapitel 4, där även inverkan av ytemperaturer, lufthastighet, luftfuktighet, klädsel och aktivitet framgår. Resultaten i detta kapitel avser nästan uteslutande lufttemperaturer, och ordet temperatur används här i stället för det längre ordet lufttemperatur.

Temperaturer har bestämts både för bedömning av det termiska klimatet och dessutom för att ge underlag för bestämning av energibalansen. En stor överglasning resulterar ofta i ett termiskt klimat och temperaturförhållanden som skiljer sig från ett vanligt inomhusklimat i t ex bostäder och kontor, och som dessutom är mycket svåra att förutsäga. I detta kapitel ges många exempel på uppmätta temperaturförhållanden för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum. Temperaturerna har bestämts på flera mätställen för att få en uppfattning om temperaturfördelningen i horisontalled, d v s på olika ställen utmed gågatorna. På varje mätställe har också temperaturskiktningen i vertikalled bestämts.

Det är många faktorer som påverkar temperaturerna i centret. I tabell 5.1 har några av dessa sammanställts. Det är därför logiskt att man får komplicerade och svåröversägliga temperaturvariationer både i tid och rum. I det följande redovisas på ett flertal sätt hur temperaturen varierar i både tid och rum. Resultaten baserar sig i huvudsak på utvärdering av kontinuerliga mätningar, men även på kompletterande momentana mätningar.

Tabell 5.1. Sammanställning av faktorer som påverkar temperaturen under överglasningen.

---

## 1. Uteklimat

Främst utetemperatur, solstrålning och vind.

## 2. Konstruktion

- a) Glasningens ytor, U-värden, täthet, orientering, solavskärmning och höjd. Glasluckor och ytterentréer och deras öppningsytor. Solavskärmningen (skuggningen) är stor av de sex anslutande huskropparna. Höjden från golv till glasning varierar från 5 till 21 m, vilket påverkar temperaturskiktning och termik (skorstenseffekt).
- b) Värmeutbyte sker mellan överglasade gågator och omgivande butiker m m via transmission och överluft genom f d ytterväggar, skyltfönster, butiksentréer och golv. Dessa konstruktioners ytor, U-värden och täthet inverkar. Butiksentréer och dess öppningsytor medför stor otäthet när butikerna är öppna. Kyld luft (sommartid) och värmd luft (vintertid) kan nå överglasningen via öppna butiksentréer.
- c) Installationer för värme, ventilation och även belysning både under överglasning och i butiker m m. Många butiker har också installationer för klimatkyla, kyldiskar och olika elapparater.
- d) Termisk tröghet dämpar temperaturens dygnssvängning. Stomme till överglasning, fasader mot överglasning, golv, inredning m m bidrar till denna tröghet, som t ex är en förutsättning för nattkylning med uteluft. Avgörande för termisk tröghet är materialens totala värmekapacitet ( $\text{kWh}/^{\circ}\text{C}$ ) och konstruktionens totala värmeförluster ( $\text{kW}/^{\circ}\text{C}$ ).

## 3. Drift och användning

- a) Värmeavgivning under överglasning från golvvärmeslingor och luftvärmare vid ytterentréer (vintertid), människor och belysning. Värmeavgivning i butiker m m från värmebatterier, konvektorer och radiatorer (vintertid), människor, belysning och elapparater.



- b) Värmebortförsel (kylning) från butiker m m av klimatkyla (sommartid) och kyldiskar.
  - c) Drift av den mekaniska ventilationen, d v s drifttider, luftflöden, funktion hos värmeväxlare m m.
  - d) Tryckskillnader både mellan överglasning och butiker m m och mellan överglasning och utomhus. Påverkas av mekanisk ventilation, termik och vind. Luftrörelserna styrs hela tiden av tryckskillnaderna.
  - e) Öppning av entréer och glasluckor. De flesta butiksentréer m m mot överglasningen står öppna under affärstid året runt. Under sommaren är normalt de flesta ytterentréer mot överglasningen öppna dagtid, medan glasluckorna är ungefär halvöppna dygnet runt.
  - f) Flera faktorer påverkar temperaturskiktningen vertikalt, vilken ökar värmeförlusterna genom transmission och luftläckning genom glasningen. Temperaturskiktningen är ofta önskvärd sommartid (bortför värme men ger sval luft i vistelsezonen), men inte önskvärd vintertid (medför ökade energiförluster genom glasningen).
- 

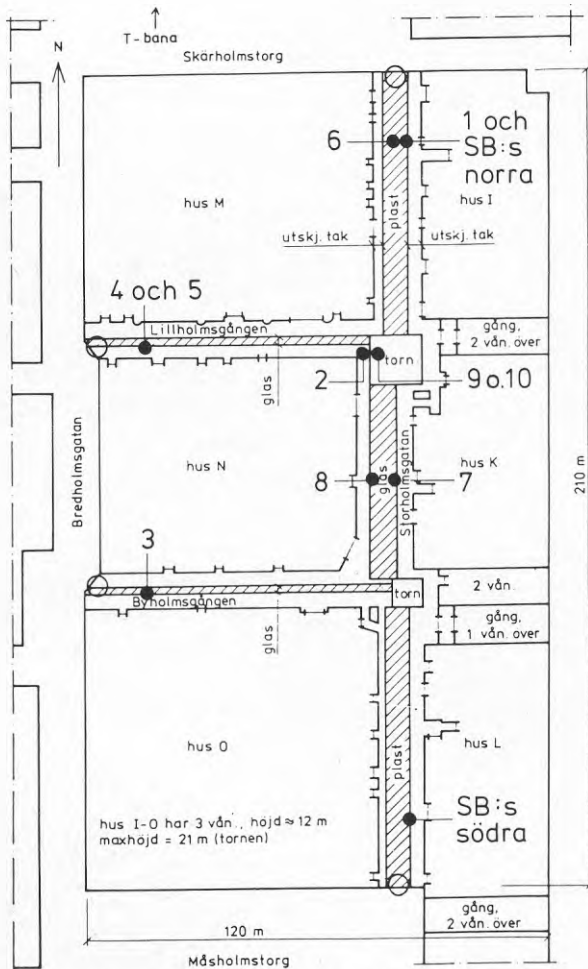
För att få en översiktlig bild av temperaturvariationerna i Skärholmens Centrum användes från juni 1985 till oktober 1990 tio st fasta mätpunkter för kontinuerlig temperaturmätning under överglasningen, placerade enligt figur 5.1. Dessutom mättes utetemperatur och solinstrålning kontinuerligt på taket till hus N under samma tid:

De kontinuerliga temperaturmätningarna gjordes med strålningsskyddade termoelement av koppar/konstantan. Solinstrålningen mot en horisontell yta utomhus mättes med en solarimeter (pyranometer, Kipp & Zonen CM 10). Såväl temperaturer som solinstrålning registrerades fem gånger per timme dygnet runt av en elektrisk skrivare (Philips Transokomp 250) placerad i en lokal på taket till hus N.

För att bedöma det termiska klimatet är temperaturerna 0–2 m över golv intressantast. Av praktiska skäl (risk för åverkan) placerades dock fyra av mätpunkterna 3 m över golv. Som komplement mättes vid enstaka tillfällen temperaturprofilen 0–3 m över golv med en rörlig mätvagn (registrering med strålningsskyddade termoelement av koppar/konstantan och elektrisk skrivare, Philips Transokomp 250). Även i butiker och lastgator har mätningar gjorts vid några tillfällen.

För att senare kunna räkna ut energiförlusterna genom överglasningen (glas och plast) behöver man veta temperaturerna nära själva överglasningen, varför sex mätpunkter placerades på 1 m avstånd från glas eller plast (och på 5–14 m höjd över golv).

Tillsammans ger mätningarna en uppfattning om både temperaturfördelningen horisontellt och temperaturskiktningen vertikalt. De fasta mätpunkterna har placerats så att "störande" inverkan av t ex luft från tilluftsdon och öppna glasluckor minimeras. Totala mätnoggrannheten för samtliga mätningar kan uppskattas till  $\pm 1^\circ\text{C}$  eller bättre. De jämförelser mellan olika mätmetoder som gjorts, visar att skillnader på några tiondels  $^\circ\text{C}$  är det normala.



*Figur 5.1. Placering av mätpunkter för kontinuerlig temperaturmätning under överglasningen.*

*Nr 1–4 på 3 m höjd över golv.*

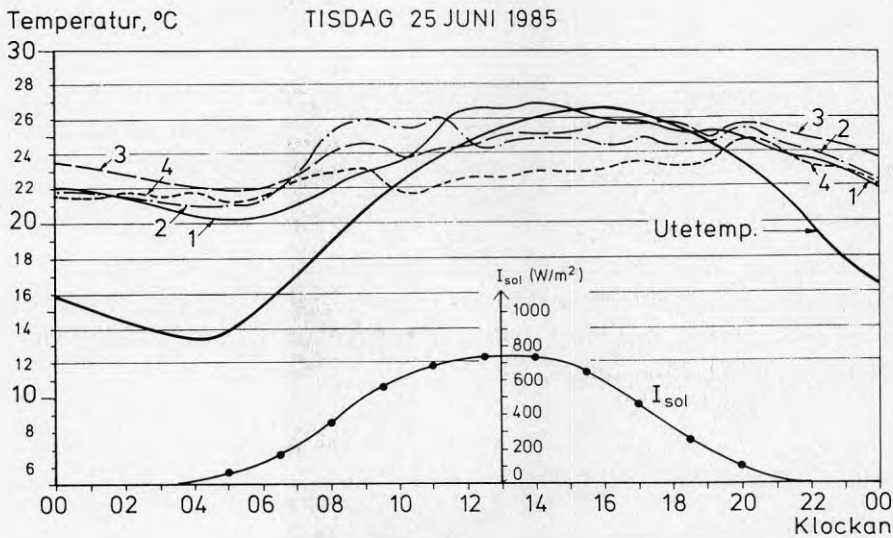
*Nr 5–10 på 5–14 m höjd över golv och 1 m avstånd från glas eller plast.*

*Nr 1 och 6 sitter 14 m innanför och nr 3–5 sitter 10 m innanför närmaste karuselldörr.*

## 5.2 Undersökningsresultat

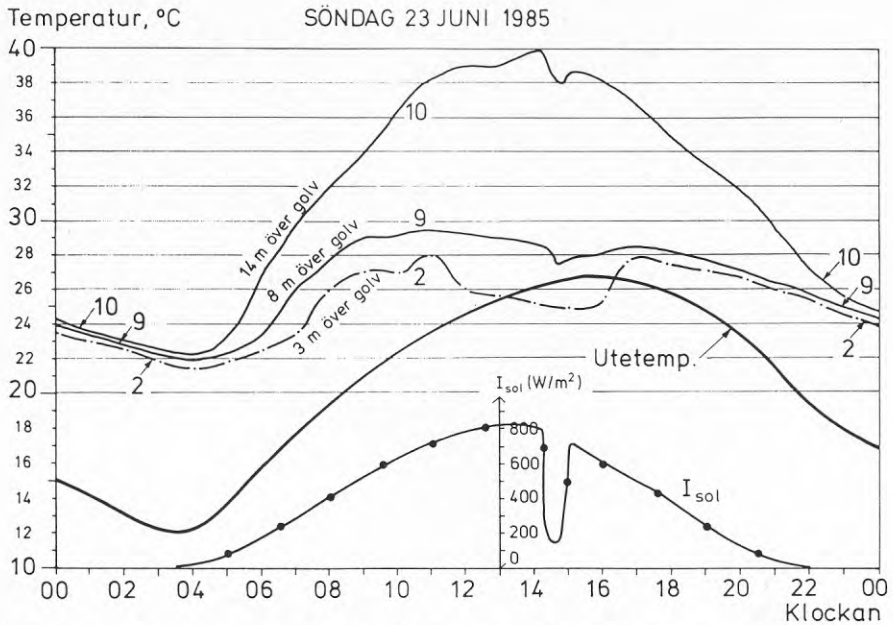
### 5.2.1 Temperaturförhållanden sommartid

Från komfortsynpunkt är det intressant att studera varma och solrika perioder, då risken för övertemperaturer under överglasningen är som störst. I figur 5.2 och 5.3 visas mätresultat från mycket varma och soliga dygn. I figur 5.4 ges en sammanfattning av resultaten från den varmaste 30-dagarsperioden under sommaren 1985.



Figur 5.2. Temperatur i de överglasade gågatorna på 3 meters höjd över golv ett mycket varmt och soligt sommarkdygn i slutet på en värmebölja, då årets högsta dygnsmedeltemperatur uppmättes av SMHI på Bromma: 20,5 °C. Mätpunkterna (nr 1–4) är placerade enligt figur 5.1.

Glasluckorna över Byholmsgången var stängda (mätpunkt nr 3). Övriga glasluckor var ungefär halvöppna dygnet runt. Ytterentréerna var öppna kl 09–22. Även utetemperatur och solinstrålning mot en horisontell yta,  $I_{sol}$ , framgår.

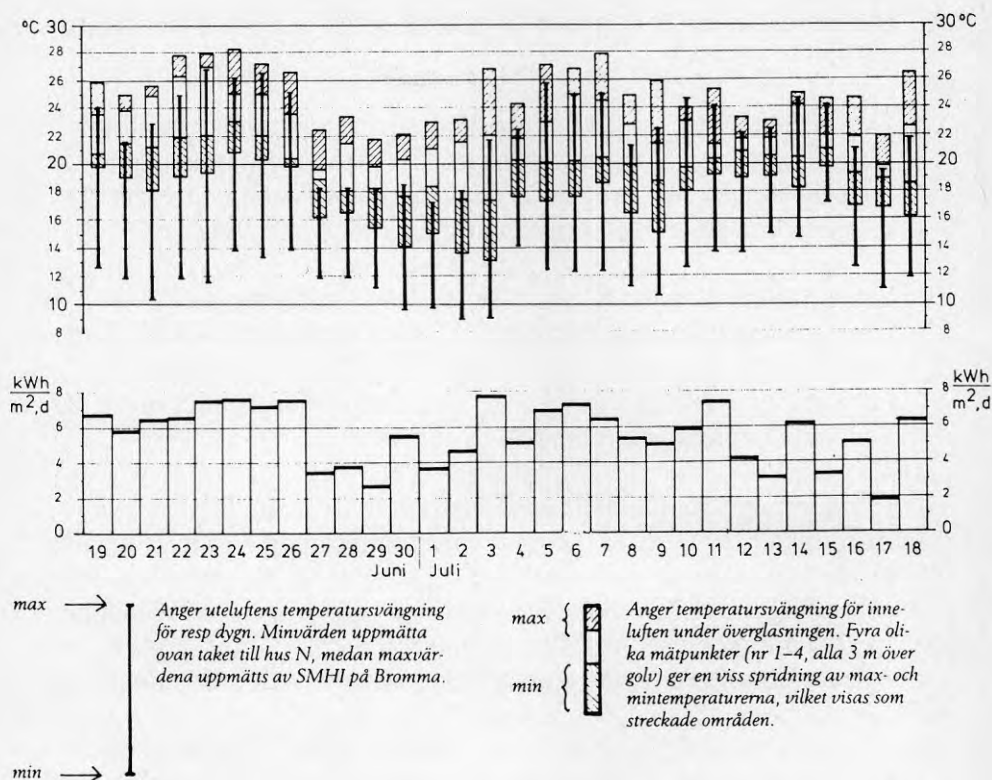


Figur 5.3. Temperaturskiktning i det stora glasornet ett mycket varmt och soligt sommardygnet i början på en värmebölja, då årets näst högsta maxtemperatur uppmättes av SMHI på Bromma: 27 °C. Mätpunkterna (nr 2, 9 och 10) är placerade på olika höjd över golv, se även figur 5.1.

Glasluckorna över Byholms- och Lillholmsgången var stängda. Övriga glasluckor var ungefär halvöppna dygnet runt. Ytterentréerna var öppna kl 10.30–18. Även utetemperatur och solinstrålning mot en horisontell yta,  $I_{sol}$ , framgår. Tillfälligt molnigt kl 14–15.

Resultaten från somrarna 1985 och –86 visar att:

- Överglasningen fungerar bra med hänsyn till övertemperaturer. En viktig orsak är "naturlig" solavskärmning från omgivande byggnader (hus I–O), men även klimatkyla från husen I–O bidrar av allt att döma till de mätliga innetemperaturerna.
- Temperaturen stiger inte från dag till dag under en värmebölja, se t ex 22–26 juni i figur 5.4. De tunga material som omger överglasningen (betong, stål, marmor m m) har alltså knappast kapacitet att flerdygns-lagra värme, vilket normalt är en fördel vid värmeböljor. Överglasningens relativt korta tidskonstant, ca 1 dygn, se kapitel 7, förklarar detta resultat. De tunga materialen har dock betydelse för att utjämna dygnssvängningen av temperaturen.



**Figur 5.4.** Temperaturvariation i de överglasade gågatorna under perioden 19 juni–18 juli 1985. Underst visas solinstrålningen som dygnssummor mot en horisontell yta (på taket till hus N). Även mulna dagar är solinstrålningen relativt stor under högsommaren.

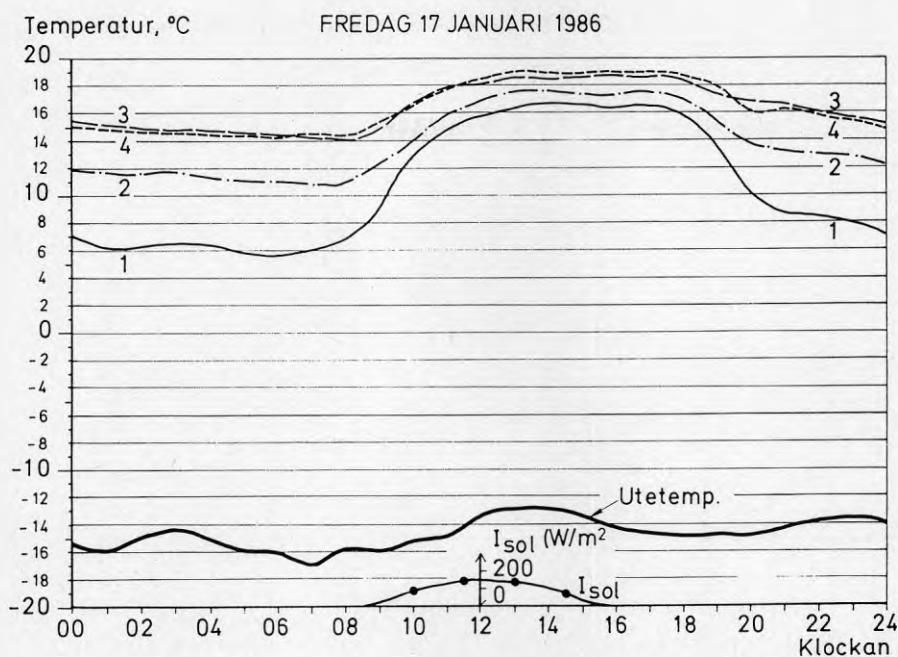
- Under 30-dagarsperioden i figur 5.4 är maximal temperatur under överglasningen (3 m över golv) som högst 5 °C högre än utetemperaturen, men oftast bara 0–3 °C högre. Detta är anmärkningsvärt bra (lågt) eftersom separat klimatkyla inte används.
- Figur 5.4 visar också att minimal temperatur under överglasningen överstiger utetemperaturen med 3–11 °C, vilket oftast är en fördel ur komfortsynpunkt (ljumma kvällar och morgnar). Detta visar samtidigt att det finns en stor potential att på ett effektivare sätt utnyttja uteluften till nattkyllning.
- Ur komfortsynpunkt är de maximala temperaturerna intressantast, eftersom dessa inträffar någon gång mellan kl 11–20, d v s i huvud-

sak när affärerna är öppna. Minimitemperaturerna inträffar oftast mellan kl 03–05.

- Dagar med kraftig solstrålning erhålls stor temperatursvängning utomhus, medan amplituden hos temperatursvängningen under överglasningen ofta är ungefär hälften så stor. Vid mulet väder är temperatursvängningen oftast måttlig både ute och inne.
- Temperaturskillnaden horisontellt mellan mätpunkterna nr 1–4 (3 m över golv) är maximalt ungefär 5 °C, men oftast bara 1–3 °C. Luft-rörelser och termisk tröghet förmår alltså utjämna temperaturen horisontellt även t ex vid lokalt kraftig solinstrålning eller om vissa glasluckor är stängda, vilket är en stor fördel.
- Förutom egna mätpunkter har förvaltaren, Svenska Bostäder, 2 st mätpunkter för klimatstyrning. Dessa är placerade 3 m över golv i Storholmsgatans norra respektive södra ände, se figur 5.1. De värden som erhållits från Svenska Bostäder visar att temperaturskillnaden mellan norra och södra änden av gatan är anmärkningsvärt liten, trots solinstrålning genom det södervända glaspartiet mot Måsholmstorg.
- Det stora lutande glaspartiet över Storholmsgatans mellersta del är orienterat mot öster, vilket kan medföra kraftig solinstrålning under förmiddagen. Detta framgår av figur 5.2 och 5.3, där mätpunkt nr 2 registrerar en kraftig temperaturhöjning kl 7–11 (sommartid). Efter kl 11 sjunker dock temperaturen mycket tack vare att den direkta solinstrålningen då upphör, vilket är mycket bra ur komfortsynpunkt.
- Som framgår av figur 5.3 kan temperaturen högt över golv i stora glastornet stiga till 40 °C. Detta är dock inget problem ur komfortsynpunkt, eftersom glastornen inte ansluter mot någon byggnad.

## 5.2.2 Temperaturförhållanden vintertid

Temperaturen har även studerats under vinterperioden. I figur 5.5 och 5.6 visas mätresultat från mycket kalla dygn. I figur 5.7 ges en sammanfattning av resultaten från en kall 30-dagarsperiod under vintern 1985/86.

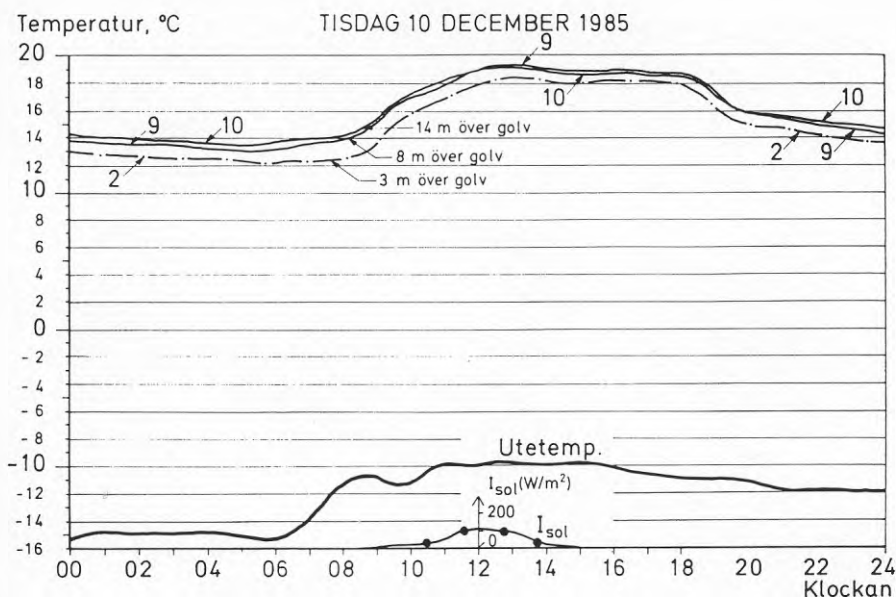


Figur 5.5. Temperatur i de överglasade gågatorna på 3 meters höjd över golv ett mycket kallt och klart vinterdygn, då vinterns lägsta dygnsmedeltemperatur uppmättes av SMHI på Bromma:  $-16,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Den här visade (något högre) utetemperaturen är mätt på taket till hus N. Mätpunkterna (nr 1–4) är placerade enligt figur 5.1.

Trots helklart väder är solinstrålningen mot en horisontell yta,  $I_{sol}$ , svag och har kort varaktighet.

Resultaten från vintern 1985/86 visar att:

- Temperaturen under överglasningen har en kraftig dygnsvägning. Ett typiskt vinterdygn är temperaturen:
  - nästan konstant (låg) ungefär kl 24–08
  - snabbt stigande ungefär kl 08–12
  - nästan konstant (hög) ungefär kl 12–18
  - snabbt sjunkande ungefär kl 18–21
  - långsamt sjunkande ungefär kl 21–24.
- Den viktigaste orsaken till dygnsvägningen är överluftsflöde genom öppna butiksentréer, se kapitel 7. Butikerna öppnar kl 08–10, varvid överluften snabbt värmer överglasningen. När butikerna stänger sina



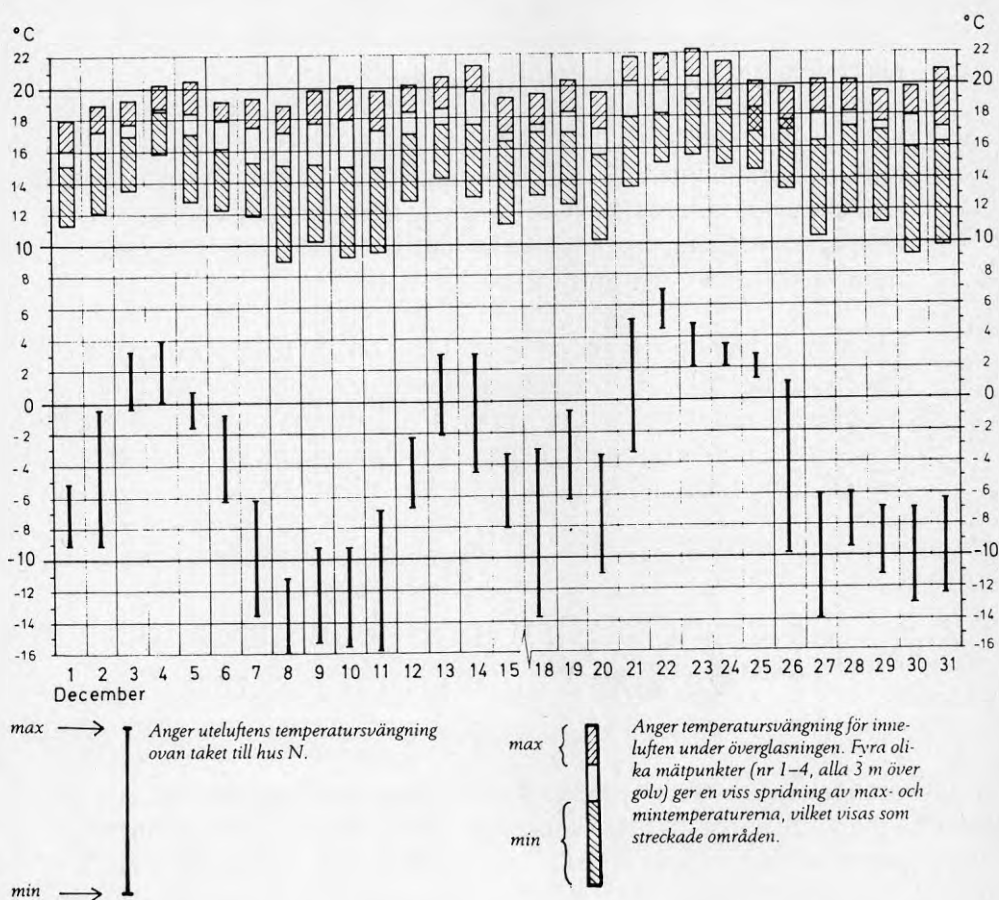
Figur 5.6. Temperaturskiktning i det stora glasornet ett mycket kallt vinterdygn. Mätpunkterna (nr 2, 9 och 10) är placerade på olika höjd över golv, se även figur 5.1.

Utetemperatur och den svaga solinstrålningen mot en horisontell yta,  $I_{sol}$ , framgår.

entréer kl 18–20 kyls överglasningen ner snabbt till en ganska låg jämviktsnivå. Värmeavgivningen från golvvärmslingorna har inte varit reducerad under natten.

- Ur komfortsynpunkt är temperaturen ungefär kl 12–18 gynnsam. Med kraftig vinterklädsel kan det dock vara för varmt. På morgonen, ungefär 08–10, kan det i stället vara för kallt, speciellt för personer med lättare klädsel.
- Temperaturen sjunker inte från dag till dag under en köldperiod, se t ex 8–11 december i figur 5.7. Detta motsvarar alltså förhållandet vid en värmebölja (fast tvärtom).
- Det finns ett tydligt samband mellan temperaturen ute och under överglasningen. Sambandet är tydligast för minimitemperaturerna, se t ex figur 5.7. Solinstrålningen har i Skärholmen liten inverkan vintertid. Detta framgår t ex i figur 5.5, där solen går ned ungefär kl 15, medan





Figur 5.7. Temperaturvariation i de överglasade gågatorna under december 1985.

temperaturerna inne sjunker kraftigt från kl 18 när butiksentréerna börjar stängas. Sambandet mellan inne- och utetemperatur och även solinstrålningens inverkan behandlas i avsnitt 5.2.3.

- Temperatursvängningens amplitud inne är oftast lika stor eller större än utomhus. Sommartid är det ju tvärtom så att svängningen utomhus oftast har större amplitud.
- Temperaturskillnaden horisontellt mellan mätpunkterna nr 1-4 (3 m över golv) är maximalt ungefär 8 °C men oftast ungefär 1-5 °C. Skillnaden är alltså större än sommartid, och det är framför allt när butikerna har stängt som skillnaderna är stora.

- Den kraftiga temperatursänkning som erhålls nattetid medför lägre energiförluster genom glasningen. På kvällen börjar temperaturen sjunka när butikerna stänger, d v s när de överglasade gågatorna blir alltmer glest befolkade. På morgonen börjar temperaturen stiga först när butikerna öppnar kl 8–10, och ungefär kl 12 har jämvikt uppnåtts. Om temperaturhöjningen inträffade ungefär 2 timmar tidigare, skulle temperaturvariationen vara ganska idealisk, med hänsyn till både termisk komfort och energiförluster.
- Mätpunkterna nr 5–10 ger en uppfattning om de temperaturer som påverkar energiförlusterna genom glasningen. Figur 5.6 visar ett exempel på hur temperaturen uppe vid glasningen kan förhålla sig till 3 m-nivån. För hela vintern gäller att mätpunkterna nr 5–10 normalt visar 0–2 °C högre temperatur än på 3 m-nivån.

### 5.2.3 Samband mellan inne- och utetemperatur och begreppet uppvärmningsgrad

Resultat enligt kapitel 4 och avsnitt 5.2.1 – 2 visar att överglasningens termiska inneklimat och därmed innetemperaturen följer utetemperaturen. I detta avsnitt studeras detta samband mer systematiskt. Innetemperaturen redovisas här som funktion av utetemperaturen för totalt drygt 100 dagar och drygt 50 nätter. Dessa dagar och nätter representerar olika årstider 1985–90, och urvalet har gjorts så att en relativt jämn fördelning erhållits från mycket kalla till mycket varma dagar och nätter.

I samtliga fall har en rät linje anpassats till sambandet mellan inne- och utetemperatur med minsta-kvadrat-metoden och med hjälp av dator. För att kvantifiera hur väl sambandet kan beskrivas av en rät linje används den i dessa sammanhang vanliga korrelationskoefficienten,  $r$ :

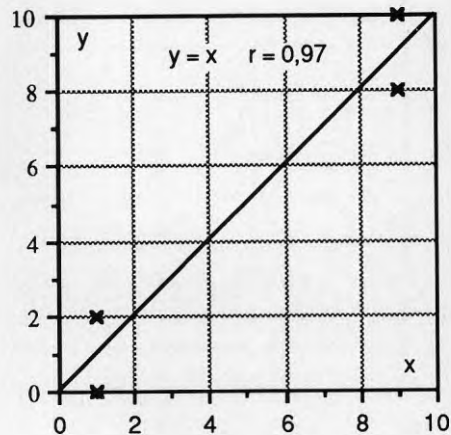
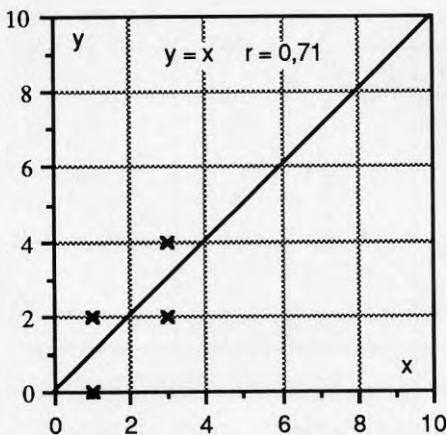
$$r = \frac{\sum (x_i - x_{\text{med}}) (y_i - y_{\text{med}})}{\sqrt{\sum (x_i - x_{\text{med}})^2 \sum (y_i - y_{\text{med}})^2}} \quad (5.1)$$

där summorna avser samtliga  $x$ - och  $y$ -värden och  $x_{\text{med}}$  och  $y_{\text{med}}$  avser medelvärdet av samtliga  $x$ - respektive  $y$ -värden.

Perfekt anpassning till en rät linje motsvarar  $r = \pm 1$  (vid negativ riktningskoefficient blir  $r$  negativ, vilket inte är aktuellt i detta fall). Av definitionen följer att  $r$  normalt ökar när värden från ett större intervall tas med. Ett enkelt exempel på detta fenomen visas i figur 5.8. I figuren till vänster har medtagits de fyra punkterna (1, 0), (1, 2), (3, 2) och (3, 4). I figuren till höger har de två sistnämnda punkterna ersatts av (9, 8) och (9, 10). I båda fallen beskrivs sambandet bäst av linjen  $y = x$ , dock med  $r = 0,71$  till vänster och  $r = 0,97$  till höger.

Korrelationskoefficienten blir alltså väsentligt olika trots att antalet punkter och deras avvikelse från den räta linjen är densamma i båda fallen. Det som skiljer är att de fyra punkterna till höger motsvarar ett fyra gånger så stort intervall som de fyra punkterna till vänster. Ett bredare intervall motsvarar i princip att anpassningen av en rät linje kan göras med mindre osäkerhet, vilket motiverar ett högre värde på  $r$ . Jämförelser av olika värden på  $r$  utifrån olika intervall får dock göras med viss försiktighet. Naturligtvis blir även den räta linjens ekvation mindre osäker ju fler mätvärden som tas med.

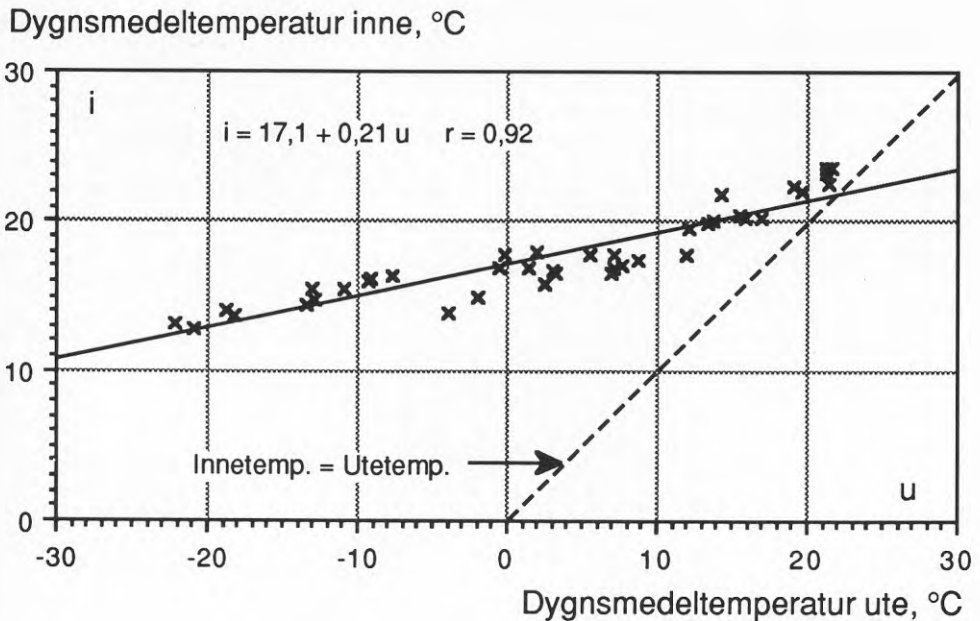
Sambanden mellan inne- och utetemperatur redovisas av figurerna 5.9 – 5.14. Inne avser i dessa figurer medelvärden från mätpunkterna 1–4 på 3 m höjd över golv i de överglasade gågatorna enligt figur 5.1. Temperaturskillna-



Figur 5.8. Korrelationskoefficienten,  $r$ , används i detta fall som ett mått på hur väl ett samband kan beskrivas med en rät linje. Definitionen, se ekv (5.1), medför att  $r$  normalt ökar när värden från ett större intervall tas med. I dessa två figurer blir därför  $r$  väsentligt olika, trots att de fyra värdenas avvikelser från den räta linjen är lika i båda fallen.

den mellan dessa fyra mätpunkter är som störst kalla vinterdygn, se t ex figur 5.5. I detta avsnitt är dock redovisningen av utrymmesskäl begränsad till medelvärdet av temperaturerna vid dessa mätpunkter. Värdet dagtid och nattetid avser medelvärden från sextimmarsperioder; kl 12–18 respektive kl 00–06. Under dessa sextimmarsperioder är temperaturen inne förhållandevis konstant. Temperaturen inne stiger normalt före kl 12 och sjunker normalt efter kl 18, varför medeltemperaturen dagtid skulle bli lägre om man räknade med en längre period än dessa sex timmar. För jämförelse visas i de flesta figurer en streckad linje som markerar lika inne- och utetemperatur, *d v s* värden till vänster om denna linje motsvarar att det är varmare inne än ute.

I figur 5.9 – 5.12 avser samtliga värden från uppvärmningssäsongen de två åren 1986 och 1987, vilket innebär att de överglasade gågatorna normalt värmts av golvvärmelement. Styrningen med temperaturgivare gjordes enligt förvaltaren så att golvvärmen skulle avge full effekt vid innetemperatur 17 °C eller lägre, se avsnitt 3.2.

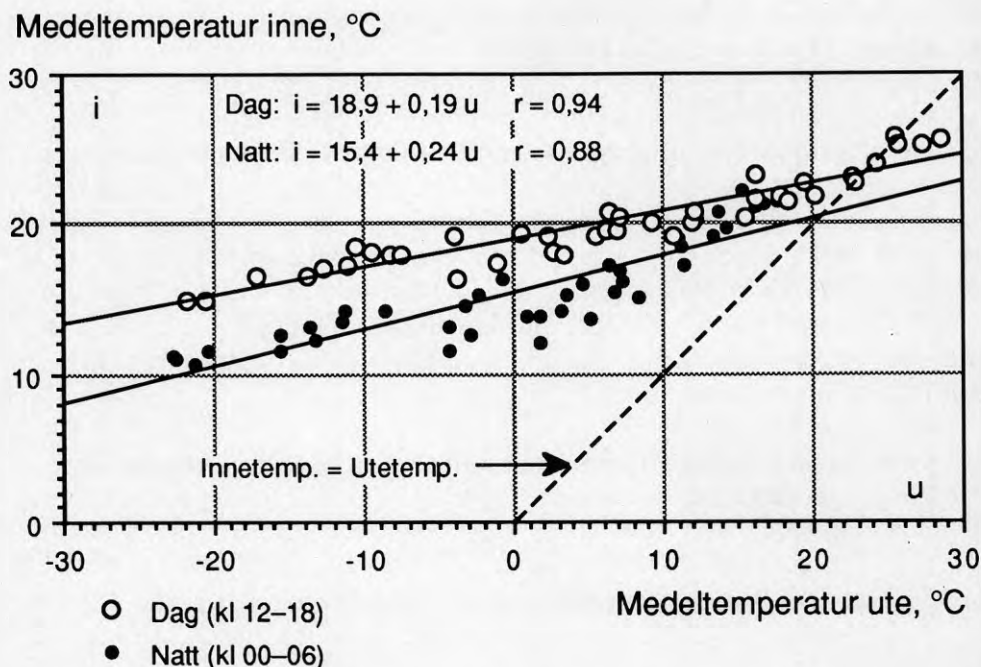


Figur 5.9. Dygnsmiddeltemperatur inne under överglasningen som funktion av dygnsmiddeltemperatur utomhus. Sambandet är mycket tydligt, och som genomsnitt medför 10 °C lägre utetemperatur ca 2 °C lägre innetemperatur.

Figur 5.9 visar hur dygnsmedeltemperaturen inne under överglasningen varierar med dygnsmedeltemperaturen utomhus. Dygnsmedeltemperaturerna avser här medelvärdena från de två sextimmarsperioderna kl 00–06 och kl 12–18. Sambandet är mycket entydigt, och kan relativt väl beskrivas med en rät linje med riktningskoefficienten 0,2. Även de varmaste sommar dygnen i figur 5.9 är temperaturen inne i genomsnitt högre än ute.

Som framgår av avsnitt 5.2.1–2 karaktäriseras temperaturförhållandena inne under överglasningen av en markant dygnessvängning. Skillnaden mellan dag och natt framgår tydligt av den systematiska jämförelsen i figur 5.10.

Temperaturen inne varierar alltså kraftigt under dygnet såväl sommar som vinter. I genomsnitt är temperaturskillnaden mellan dag och natt inne ca 4 °C sommartid och ca 5 °C vintertid, d v s denna temperaturskillnad erhålls om temperaturen dag och natt inne visas som funktion av t ex dygnsmedeltemperaturen. Denna skillnad mellan dag och natt är något mindre (och skillnaden



Figur 5.10. Lufttemperatur inne under överglasningen som funktion av utetemperaturen. Skillnaden mellan dag och natt är betydande, och den relativt låga temperaturen nattetid motsvarar en stor energibesparing i jämförelse med om temperaturen skulle hållas konstant dygnet runt.

mellan sommar och vinter kan tyckas större) i figur 5.10, vilket beror på att även utetemperaturer varierar under dygnet (och att utetemperaturer varierar mest sommartid).

Nattsänkning av temperaturen under överglasningen orsakas i detta fall inte av någon medveten styrning, eftersom värmeavgivningen från golvvärmslingorna inte har varit reducerad under natten. Den viktigaste orsaken till dygnssvängningen är i stället den passiva uppvärmningen dagtid av överluft genom öppna butiksentréer. Den nattsänkning av temperaturen som blivit följderna har dock visat sig ge betydande energibesparing i jämförelse med om temperaturen skulle hållas mer konstant. Här är det främst överglasningens stora transmissionsförluster som medför kort tidskonstant, vilket till skillnad mot en "vanlig" byggnad möjliggör denna betydande nattsänkning.

Liksom för dygnsmedeltemperaturen (figur 5.9) gäller även för temperaturen dagtid under överglasningen enligt figur 5.10 att sambandet relativt väl kan beskrivas med en rät linje med riktningskoefficienten ca 0,2, vilket innebär att i genomsnitt ca 20 % av utetemperaturerens skillnad mellan olika dagar utgör skillnaden mellan samma dagar inne under överglasningen. Ett mer "normalt inneklimat" i t ex kontor eller bostäder påverkas mindre av utetemperaturer, där motsvarande riktningskoefficient ofta torde vara uppskattningsvis ca 0,1, motsvarande att inverkan av utetemperaturer är ungefär hälften så stor som för överglasningen i Skärholmens Centrum. Många enkla, mer eller mindre ouppvärmade överglasningar påverkas i stället betydligt mer av utetemperaturer. För den överglasade gågatan i kv Gårdsåkra visas t ex i Lange (1986) ett samband mellan inne- och utetemperatur, som beskriven med en rät linje skulle erhålla riktningskoefficienten ca 0,7, motsvarande att 10 °C lägre utetemperatur medför hela 7 °C lägre innetemperatur. I jämförelse med detta är alltså inneklimatet under överglasningen i Skärholmens Centrum betydligt mer likt ett "normalt inneklimat".

Det termiska inneklimatet (förenklat beskrivet med innetemperaturen) för överglasningar delas ibland in i tre kategorier. I t ex Dahlsveen (1984) görs följande indelning:

- 1) Frostfritt (kallas även oklimatiserat eller buffertzonen). Lägsta temperatur 0 – 5 °C.
- 2) Mellantempererat (kallas även halvklimaliserat eller tempererat buffertzonen). Lägsta temperatur 10 – 15 °C.
- 3) Helklimaliserat (kallas även "inomhusklimat"). Lägsta temperatur 18 – 22 °C.

Med hänsyn till hur innetemperaturen i en överglasning kan variera med tid och rum har dock en sådan indelning vissa begränsningar. Klimatet i de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum kan faktiskt hänföras till samtliga dessa tre kategorier, beroende på vilken plats och vilken tid på dygnet man betraktar.

Sambandet mellan inne- och utetemperatur ger i detta sammanhang intressant information om temperaturförhållandena för en överglasning, och sambandet visar i princip i vilken "grad" överglasningen är uppvärmd. Ett sätt att enkelt kvantifiera graden av uppvärmning är förslagsvis att definiera:

$$UG = 100 \cdot (1 - k) \quad (\%) \quad (5.2)$$

där

UG = Uppvärmningsgrad (%)

k = Riktningkoefficienten för den räta linje som utgör bäst approximation av innetemperatur som funktion av utetemperatur.

Denna uppvärmningsgrad kan bestämmas med mätningar eller beräkningar, och möjliggör en enkel jämförelse av temperaturförhållandena (graden av uppvärmning i förhållande till uteklimatet) mellan olika överglasningar och/eller byggnader överhuvudtaget. Uppvärmningsgraden har fördelen att den i princip är oberoende av uteklimatet när det gäller utetemperaturen, medan däremot skillnader i solinstrålning mellan olika orter kan ha betydelse. För att få en rättvis jämförelse måste naturligtvis innetemperaturen bestämmas på samma sätt avseende tid och rum (genom att bestämma såväl mätpunkternas antal och placering vertikalt och horisontellt som vilken tid som avses, t ex medelvärden från olika dygn).

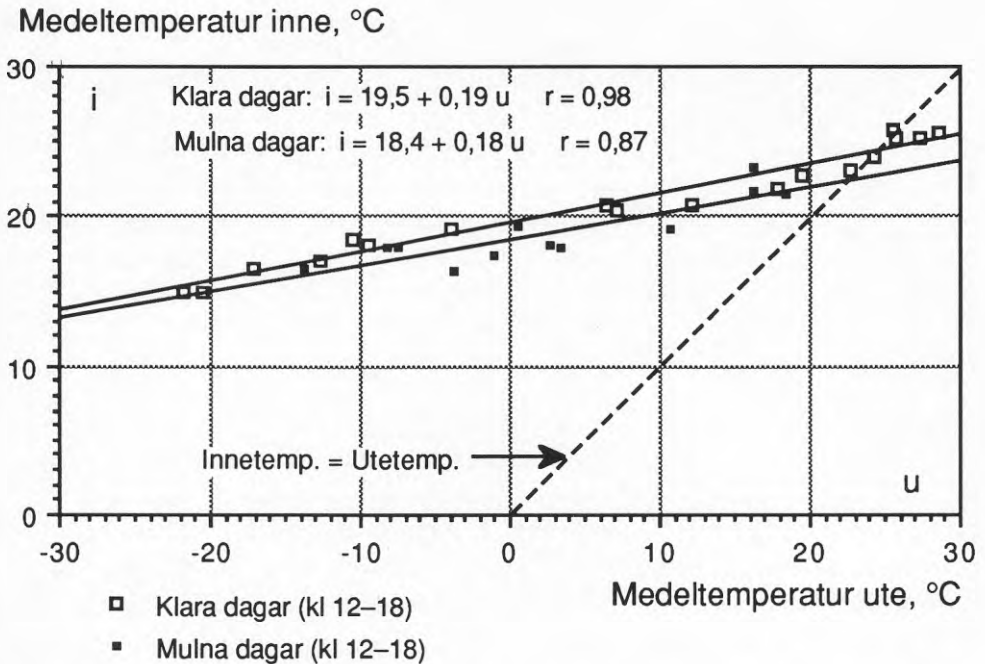
Som komplement till uppvärmningsgraden enligt ekv (5.2) kan det vara lämpligt att ange innetemperaturen vid t ex 0 °C ute, varigenom sambandet mellan inne- och utetemperatur är entydigt beskrivet utgående från att sambandet approximerats med en rät linje. För byggnader eller rum där innetemperaturen varierar betydligt under dygnet, t ex många överglasningar, kan uppvärmningsgraden anges utifrån dels temperaturer dagtid och dels utifrån dygnsmedeltemperaturer.

Uppvärmningsgraden 0 % motsvarar alltså uteklimatet, medan 100 % motsvarar en byggnad som är så "väl" uppvärmd att skillnader i utetemperatur inte har någon som helst inverkan på innetemperaturen. Ett "normalt inneklimat" i t ex kontor eller bostäder motsvarar uppskattningsvis en uppvärmningsgrad av storleksordningen 90 %, motsvarande riktningkoefficienten ca

0,1 enligt ovan. För de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum erhålls uppvärmningsgraden 79 % och 17 °C inne vid 0 °C ute utifrån dygnsmedelvärden respektive 81 % och 19 °C inne vid 0 °C ute dagtid kl 12–18, jämför figur 5.9 och 5.10. Det kallare inneklimatet på natten (kl 00–06) framgår genom att såväl uppvärmningsgrad som innetemperatur vid 0 °C ute är lägre; 76 % respektive 15 °C.

För den tidigare nämnda överglasade gågatan i kv Gårdsåkra erhålls utifrån Lange (1986) uppvärmningsgraden ca 30 %, d v s inneklimatet är s a s mer likt uteklimatet än ”normalt inneklimat”. Lite förenklat motsvarar uppvärmningsgraden ca 45 % gränsen för om klimatet i t ex en överglasning kan betraktas som mer inne- eller utelikt.

En stor överglasning har förutsättningar för en större påverkan av solinstrålning än en vanlig byggnad. I figur 5.11 görs en systematisk jämförelse av medeltemperaturen dagtid under överglasningen klara och mulna dagar,



Figur 5.11. Temperaturen inne under överglasningen dagtid påverkas mer eller mindre av solinstrålning. Av jämförelsen i denna figur framgår dock att skillnaden i genomsnitt endast är ca 1 °C mellan klara och mulna dagar. Detta visar att solinstrålningens inverkan i genomsnitt är måttlig eller t o m liten i detta fall.



medan halvklara dagar inte har tagits med. Indelningen i klara och mulna dagar är i huvudsak densamma som indelningen i motsvarande "dagtyper" i Höglund et al. (1985).

Solinstrålningen har i detta fall anmärkningsvärt liten inverkan på medeltemperaturen dagtid. Trots detta har dock solinstrålningen lokalt och vid vissa tidpunkter relativt stor inverkan på det termiska klimatet, vilket framgått vid bestämningar med en termisk komfortmätare, se kapitel 4. I Skärholmens Centrum betyder skuggningen av omgivande byggnader mycket för att begränsa solinstrålningens inverkan. Resultaten enligt figur 5.11 är medelvärden från fyra mätpunkter under sextimmarsperioder. Den varierade geometrin i Skärholmens Centrum har stor betydelse i detta sammanhang, genom att solinstrålningen aldrig är stor samtidigt genom alla ytor med glas och plastpanel. Av figur 5.11 kan utläsas att den lilla inverkan som solinstrålningen har tenderar att öka med utetemperaturen, vilket är mycket logiskt eftersom högre utetemperatur och större solinstrålning oftast sammanfaller.

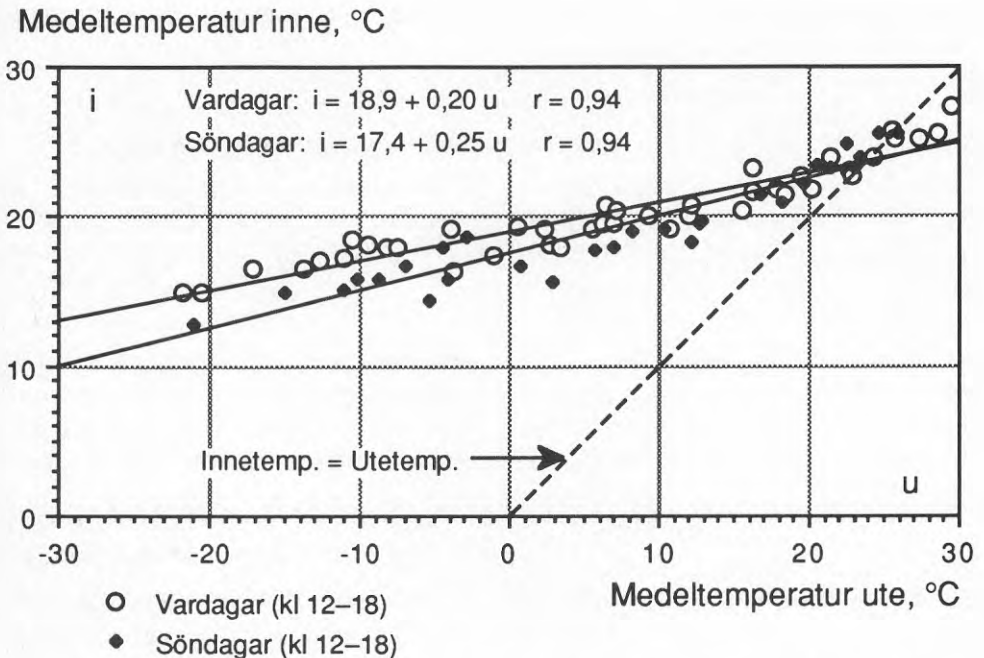
De allra varmaste och de allra kallaste dagarna är nästan alltid klara, varför jämförelsen mellan klara och mulna dagar egentligen begränsas till de dagar som inte är allra varmaste eller kallaste. Om man i figur 5.11 t ex undantar de mycket varma dagarna med  $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  erhålls dock ett likartat resultat med ca  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  genomsnittlig skillnad mellan klara och mulna dagar. Underlaget är dock egentligen för litet för att säkert fastställa den genomsnittliga skillnaden mellan klara och mulna dagar till just  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Den relativt låga korrelationskoefficienten för mulna dagar bidrar också till viss osäkerhet. Jämförelsen visar dock entydigt att skillnaden mellan klara och mulna dagar är relativt liten i detta fall.

Enligt värden i Höglund et al. (1985) är den totala solinstrålningen mot en horisontell yta för samtliga månader 2,4 – 2,5 gånger högre klara dagar än mulna dagar. Jämförelsen i t ex figur 5.11 avser alltså klara dagar och mulna dagar med i genomsnitt ca 40 % av den maximala solinstrålning som erhålls klara dagar. Solinstrålningen mulna dagar är alltså inte försumbar.

Resultaten av datorberäkningarna av energibalans bekräftar solinstrålningens måttliga inverkan vintertid. Resultaten, se t ex figur 7.23, tyder dock på att solinstrålningen bör ha stor inverkan på överglasningens temperatur sommartid. Möjligt är att de konstanta avskärningsfaktorer som använts vid datorberäkningarna har medfört en betydande överskattning av den solinstrålning som i praktiken verkligen bidrar till högre innetemperatur. Uppmätt innetemperatur enligt figur 5.11 avser också förhållandena 3 m över golv, medan en stor del av solinstrålningen i praktiken rimligtvis i första hand bidrar till högre temperatur på högre höjd, nära glastaket (se t ex figur 5.3).

Hittills redovisade resultat, figur 5.9 – 5.11, avser vardagar. Söndagar är flertalet butiker stängda, varför överluftsflödet till de överglasade gågatorna är betydligt mindre. En jämförelse görs därför i figur 5.12 för att fastställa om denna skillnad i överluftsflöde medför någon märkbar skillnad i innetemperatur. Resultatet är en tydlig skillnad, som successivt ökar med lägre utetemperatur. Vid t ex 10 °C respektive -10 °C ute är det i genomsnitt 1 °C respektive 2 °C kallare inomhus på söndagar än på vardagar. Att skillnaden ökar med sjunkande utetemperatur är logiskt, eftersom uppvärmningen av överluft då får allt större betydelse. Överluften har ju relativt konstant temperatur, ca 21 °C i genomsnitt, medan temperaturen under överglasningen sjunker med utetemperaturen, varigenom temperaturskillnaden överluft – överglasning och därmed överförd värmeeffekt ökar.

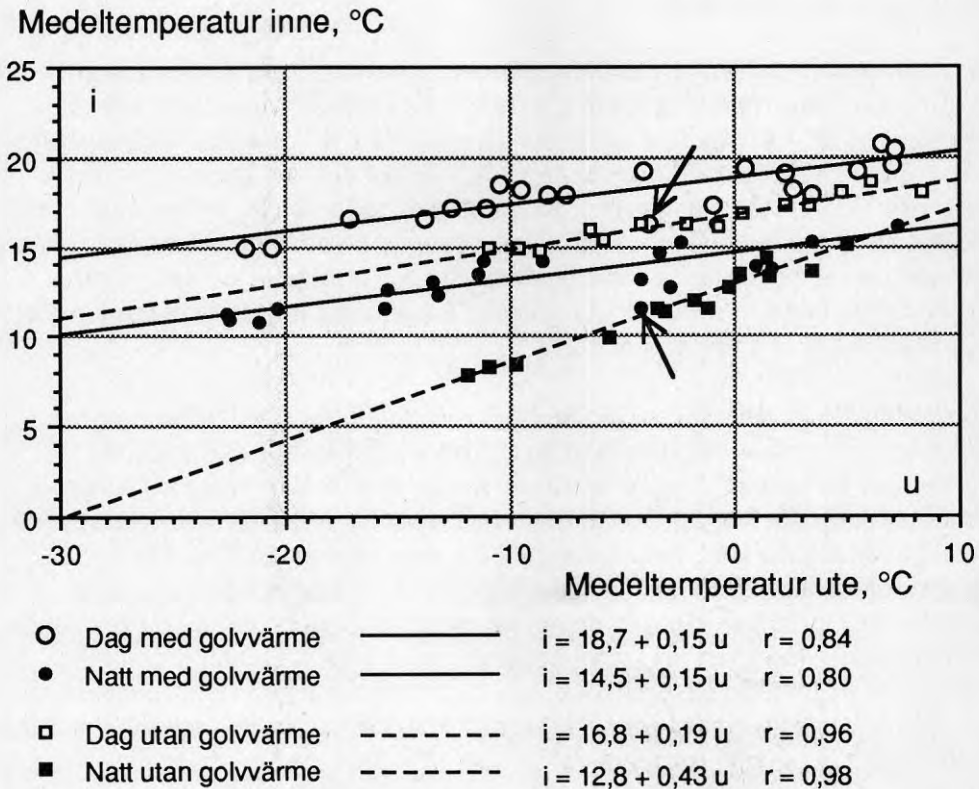
Intressant att notera är att skillnaden mellan vardagar och söndagar är mer entydig än mellan klara och mulna dagar. Vardagar och söndagar i figur 5.12 innefattar ungefär samma andelar klara och mulna dagar. En jämförelse



Figur 5.12. Jämförelse mellan temperaturen dagtid under överglasningen vardagar och söndagar, vilket avslöjar en tydlig skillnad under uppvärmningssäsongen. Den mest betydande skillnaden mellan vardagar och söndagar i detta sammanhang är att överluftsflödet till överglasningen är mindre på söndagarna eftersom flertalet butiker är stängda.

mellan klara och mulna söndagar bekräftar resultaten enligt figur 5.11, d v s att solinstrålningen har liten betydelse för medeltemperaturen dagtid under överglasningen.

Under perioden från och med 1985 till och med mars 1988 var golvvärmslingorna normalt i drift under uppvärmningssäsongen för att aktivt värma de överglasade gågatorna, och därefter har de varit praktiskt taget avstängda. I figur 5.13 jämförs temperaturen med respektive utan golvvärmen i drift. Urvalet av dagar och nätter omfattar här perioden från slutet av oktober till



Figur 5.13. Jämförelse mellan temperaturen dagtid och nattetid under överglasningen under de perioder när golvvärmslingorna varit i drift respektive avstängda. Skillnaden är mycket tydlig och främst nattetid ökar skillnaden snabbt med sjunkande utetemperatur. Den dag vars temperatur dag och natt markerats med pilar var golvvärmen sannolikt avstängd, trots att denna dag inföll under en period när golvvärmen normalt var i drift. Liksom tidigare avser dag och natt medelvärdena kl 12–18 respektive kl 00–06.

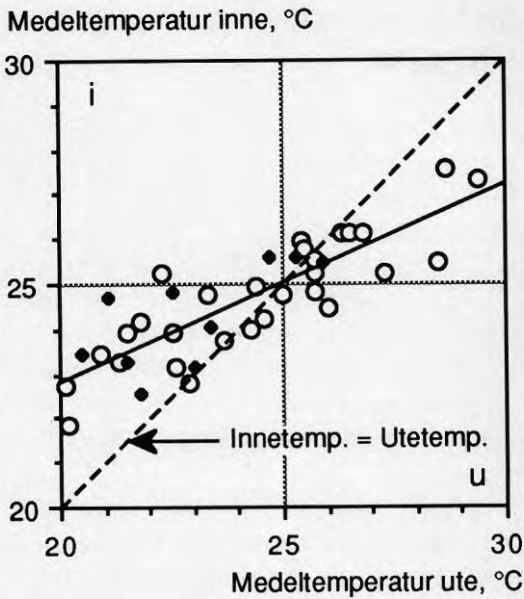
början av april, dvs inom uppvärmningssäsongen. Skillnaden är mycket tydlig såväl dagtid som nattetid. Dagtid är innetemperaturen 2–3 °C lägre med golvvärmen avstängd. Nattetid ökar skillnaden snabbt med sjunkande utetemperatur och är ca 5 °C vid –10 °C ute.

Korrelationskoefficienten är betydligt lägre då golvvärmen varit i drift. Detta förklaras sannolikt av att driften av golvvärmen har varierat; exempelvis har golvvärmen sannolikt varit helt avstängd den dag vars temperatur dag och natt markerats med pilar i figur 5.13. Utan golvvärmen i drift kan man lite förenklat säga att man bara har ett driftfall med enbart passiv uppvärmning av de överglasade gågatorna, vilket medför att innetemperaturen mer entydigt avgörs av utetemperaturen.

Utifrån figur 5.13 blir uppvärmningsgraden, se ekv (5.2), 85 % med golvvärme såväl dag som natt. Utan golvvärme är uppvärmningsgraden dagtid alltså 81 %, men sjunker på natten till endast 57 %. De låga innetemperaturer som detta medför kalla vinternätter är i detta fall inget komfortproblem, eftersom ingen vistas under överglasningen nattetid. Under morgontimmarna vistas däremot människor under överglasningen ett par timmar medan innetemperaturen ännu är förhållandevis låg. En möjlighet vore här att låta golvvärmslingorna vara i drift endast ett par timmar tidigt på morgonen för att tillfälligt höja innetemperaturen.

Som tidigare nämnts saknar de överglasade gågatorna såväl luftkonditionering som aktiv solavskärmning med gardiner e d. Det blir därför extra intressant att studera innetemperaturen under de allra varmaste och soligaste sommardagarna. I figur 5.14 framgår resultatet för totalt 39 sommardagar då den genomsnittliga utetemperaturen kl 12–18 varit minst 20 °C. Dessa 39 dagar innefattar huvuddelen av de allra varmaste dagarna från somrarna 1985–90. Flertalet av dessa dagar var helklara och resten halvklara (växlande molnighet). Mätvärdet längst till höger i figur 5.14 representerar den allra varmaste dagen från dessa sex somrar, då utetemperaturen steg till maximalt 31 °C. Som genomsnitt för de 39 dagarna har den maximala utetemperaturen varit 1,3 °C högre än medelvärdet kl 12–18.

Av figur 5.14 framgår att utetemperaturen 25 °C motsvarar en brytpunkt; över denna utetemperatur är temperaturen i genomsnitt lägre inne än ute. De 12 varmaste dagarna är det sålunda i samtliga fall lägre temperatur inne än ute i genomsnitt kl 12–18. Detta resultat är mycket gynnsamt.



○ Vardagar (kl 12–18)      ● Söndagar (kl 12–18)

Vardagar + söndagar :  $i = 13,9 + 0,44 u$      $r = 0,84$

*Figur 5.14. Temperatur inne under överglasningen varma sommardagar. Någon systematisk skillnad finns inte mellan vardagar och söndagar.*

*De allra varmaste dagarna är medeltemperaturen inne genomgående lägre än ute, vilket är mycket gynnsamt. På grund av temperaturskiktning är temperaturen i vistelsezonen dessutom något lägre än de här redovisade värdena 3 m över golv.*

Den allmänna och viktiga slutsatsen av detta är att stora överglasningar i vårt klimat mycket väl kan utföras så att problem med övertemperaturer undviks, utan att överglasningen är försedd med luftkonditionering eller ens gardiner e d.

Varma sommardagar kan den kylda luften från omgivande byggnader indirekt kyla även överglasningen. Denna indirekta kylning bör bli mindre på söndagar eftersom flertalet butiker då är stängda, varigenom det totala överluftflödet genom öppna butiksentréer minskar. Till skillnad från förhållandena under uppvärmningssäsongen kan dock ingen systematisk skillnad påvisas mellan varma vardagar och söndagar.

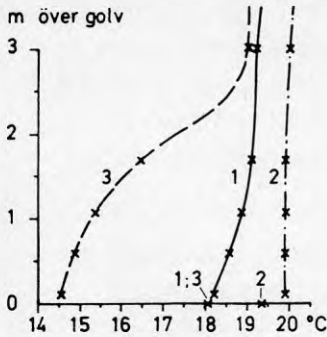
## 5.2.4 Temperaturprofil nära golv

För att bedöma den termiska komforten är temperaturen 0–2 m över golv intressantast. Temperaturprofilen nära golv mättes därför 11 olika dagar 1985–87 med en rörlig mätvagn (se figur 8.8 i Höglund et al. (1987)). Denna mätning gjordes med sex termoelement och värdena registrerades av en elektrisk skrivare. Temperaturen bestämdes på följande höjder över golv: 0,1; 0,6; 1,1; 1,7 och 3,0 m. Som komplement bestämdes dessutom golvets yttemperatur. Registreringarna gjordes under cirka 10 minuter på tio olika platser under överglasningen. I figur 5.15 visas resultat från tre olika platser vid nio olika tillfällen. Bestämningarna gjordes under den tid då golvvärmeslingorna normalt var i drift vintertid, och golvvärmens höjning av golvets yttemperatur vintertid framgår också tydligt.

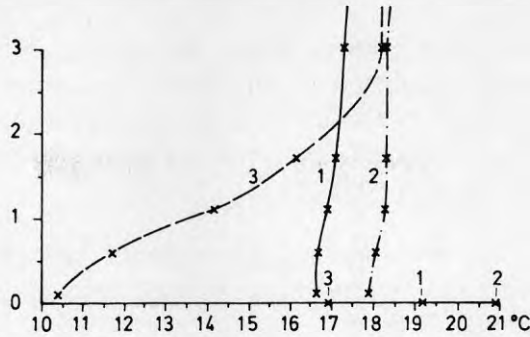
Av figur 5.15 framgår att temperaturprofilen varierar kraftigt både mellan olika platser och olika tillfällen. Inom ett ganska stort område innanför ytterentréerna (främst Lillholms- och Byholmsgången) blir temperaturprofilen ofta kraftigare med sjunkande utetemperatur. Karuselldörrarnas rotation för in kall uteluft som strömmar längs golvet, varför den kraftiga profilen är begränsad till 0–3 m över golv. I överglasningens mer centrala delar (t ex mätplats nr 2) varierar temperaturen ganska lite med hänsyn till höjden över golvet.

Vid mätplats nr 3 (i Byholmsgången) blir temperaturprofilen oftast ganska extrem vid låg utetemperatur. Vid tillfälle a) i figur 5.15 var karuselldörren till Byholmsgången uppställd, varför kall uteluft strömmade in längs golvet till mätplats 3. Vid b) var karuselldörren i normal drift (roterande), men temperaturen ändå nästan 8 °C lägre 0,1 m över golv än 3 m över golv vid mätplats 3. Mätplats nr 1 ligger också nära en roterande karuselldörr, men här är temperaturen bara 0,6 °C lägre 0,1 m än 3 m över golv vid b). Skillnaden mellan mätplats nr 1 och 3 kan t ex bero på större takhöjd vid nr 3 ( $\approx 12$  m) än vid nr 1 ( $\approx 6$  m), betydligt färre människor i rörelse vid nr 3 än vid nr 1 som "stör" temperaturskiktningen, olika inverkan av tilluftsdon, olika inverkan av överluft från butiker, olika drift av luftvärmare intill karuselldörrar m m.

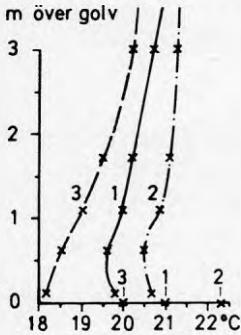
I bilaga A till den internationella standarden ISO 7730 från 1984 (se även kapitel 4) ges rekommendationer för det termiska inomhusklimatet. Vid lätt, huvudsakligen stillasittande aktivitet rekommenderas t ex att skillnaden i lufttemperatur mellan 0,1 och 1,1 m över golvet skall vara mindre än 3 °C. Man förutsätter då "lätt sommarklädsel" (0,5 clo) sommartid och "vinterklädsel inomhus" (1,0 clo) vintertid, se kapitel 4. I Skärholmens Centrum



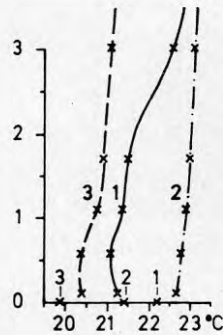
a) 10 oktober -85  
Utetemp. 10°C



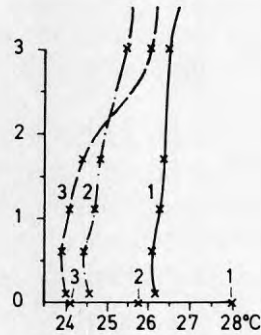
b) 17 december -85  
Utetemp. -8°C



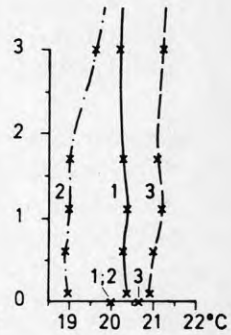
c) 26 mars -86  
Utetemp. 5°C



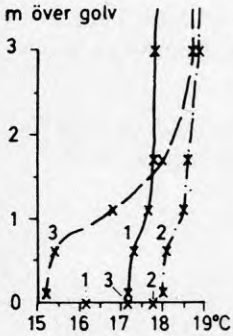
d) 22 maj -86  
Utetemp. 17°C



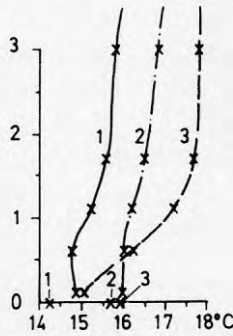
e) 18 juni -86  
Utetemp. 26°C



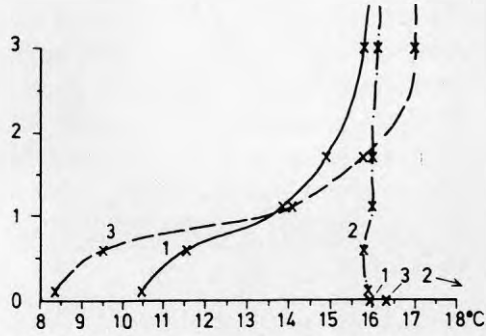
f) 29 augusti -86  
Utetemp. 12°C



g) 12 november -86  
Utetemp. 3°C



h) 16 december -86  
Utetemp. 0°C



i) 8 januari -87. Golvttemp. nr 2: 20,5°C  
Utetemp. -14°C

Figur 5.15. Temperaturprofil 0,1-3 m över golv och golvets yttemperatur under överglasningen ungefär kl 13-16 nio olika dagar. Mätplatserna (nr 1-3) motsvarar mätpunkterna med samma nr i figur 5.1. Temperaturprofilen har förlängts strax över 3 m-nivån med ledning av resultaten från de fasta mätpunkterna på högre höjd.

förekommer större temperaturskillnad i närheten av ytterentréer vintertid, se t ex figur 5.15. I närheten av ytterentréer förekommer dock knappast ”stilla-sittande aktivitet”, och vintertid är kundernas klädsel oftast kraftigare än ”vinterklädsel inomhus”. Att denna rekommendation inte uppfylls behöver därför inte i sig vara ett problem.

Vissa dagar har mätningarna gjorts både för- och eftermiddag. Vintertid är temperaturgradienten ofta något större på förmiddagen, förutom att hela temperaturnivån är lägre.

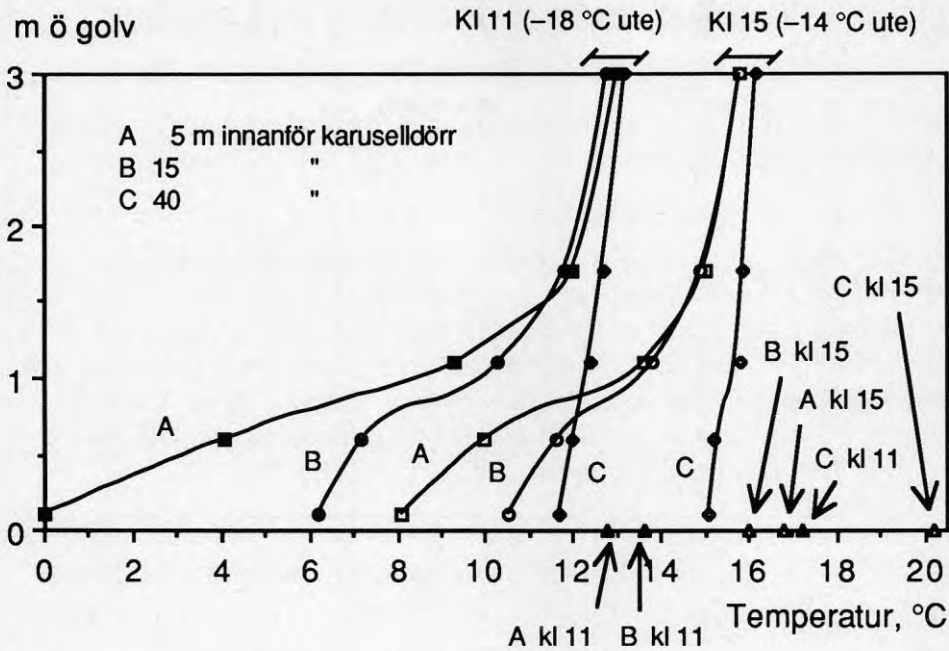
För sommarperioden gäller som grovt genomsnitt att temperaturen är ungefär 1 °C lägre i vistelsezonen 0–2 m över golv än på 3 m-nivån. I t ex figur 5.4 kan alltså de redovisade siffrorna minskas ungefär 1 °C för att bättre gälla vistelsezonen. För vinterperioden är variationerna så stora, att en liknande generell korrektion är mindre lämplig.

Ett genomgående resultat är att temperaturförhållandena nära golv har ett samband med avståndet innanför de ytterentréer som utgörs av karuselldörrar, och detta samband blir mer markant ju lägre utetemperaturen är. I figur 5.16 framgår detta samband mycket tydligt, och dessutom framgår den betydande skillnaden mellan för- och eftermiddag.

Temperaturprofilen vid platserna A och B i figur 5.16 är något av extremvärdet, eftersom mycket låg utetemperatur och närhet till ytterentré ger maximal temperaturprofil. En avsevärt måttligare temperaturprofil, t ex som vid plats C i figur 5.16 är egentligen mer representativ för flertalet tidpunkter och platser, jämför även med figur 5.15. Golvets yttemperatur är i figur 5.16 tack vare golvvärmeslingorna högre än lufttemperaturen. Intressant att notera är att de elektriska luftvärmarna vid denna ytterentré inte hindrade mycket kall luft att sprida sig längs golvet. Intressant är också att det vid den sociologiska undersökningen inte framkom några speciella klagomål på kallluft nära golv innanför ytterentréer. Detta kan förklaras av att kunderna har ytterkläder och att golvytorna närmast innanför ytterentréerna endast används som kommunikationsytor.

Även innanför de ytterentréer som utgörs av dubbla automatiska skjutdörrar finns oftast ett samband mellan temperaturförhållanden nära golv och avståndet innanför dessa ytterentréer. I jämförelse med karuselldörrarna finns dock en väsentlig skillnad genom att klimatet innanför skjutdörrarna är beroende av tryckskillnaden inne-ute. Denna tryckskillnad beror i sin tur på mekanisk ventilation, vind och termik (skorstenseffekt). Vid tillfällen med övertryck





Figur 5.16. Temperaturprofil 0,1–3 m över golv och golvets ytemperatur under överglasningen vid två olika tidpunkter en mycket kall vinterdag. A, B och C motsvarar olika avstånd innanför karuselldörren mot Skärholmstorg, se figur 5.1 där mätpunkt 1 sammanfaller med B i denna figur. Intill denna karuselldörr finns även en slagdörr. De elektriska luftvärmarna över såväl karuselldörr som slagdörr gick denna dag med full effekt, d v s med 5,5 kW värme (och 100 W fläkt) vardera.

Bestämningarna gjordes den 8 januari 1987, vilket är samma dag som i figur 4.10, där även de tre mätpunkterna längst till höger sammanfaller med A, B och C i denna figur.

inne relativt utsidan av skjutdörrarna är klimatet innanför skjutdörrarna betydligt varmare än innanför karuselldörrarna. Vid betydande undertryck inne blir klimatet i stället kallare innanför skjutdörrarna. Varierande tryckskillnad i praktiken medför, till skillnad från karuselldörrarna, att det inte går att på ett lika enkelt och representativt sätt beskriva hur klimatet varierar med avståndet innanför skjutdörrarna.

## 5.2.5 Temperatur i omgivande byggnader

I tabell 5.2 visas resultat av samtida mätningar av temperaturen utomhus, under överglasning och i butiker för tre vinterdagar och en sommardag.

Tabell 5.2. Medel, min och max temperaturer, °C, uppmätta förmiddag (ungefär kl 10–13) och eftermiddag (ungefär kl 15–18) tre vinterdagar och en sommardag 1986. "Ute" är utomhus på taket till hus N. "Gångator" är 19 st mätplatser 1,1 m över golv jämnt fördelade i de överglasade gångatorna (de lägsta temperaturerna 5 m innanför ytterentréer). "Butiker" är ett fyrtiotal mätplatser 1,1 m över golv jämnt fördelade i det fyrtiotal butiker m fl lokaler som omger de överglasade gångatorna.

			Torsdag 13 februari	Onsdag 26 februari	Onsdag 12 mars	Tisdag 26 augusti
F Ö R	Ute	medel	-4	-4	±0	12
		min-max	-6- -3	-6- -2	±0-1	11-13
M I D	Gåga- tor	medel	17,0	16,8	17,2	18,3
		min-max	15,2-19,6	13,5-19,7	15,2-19,3	16,0-19,9
D A G	Buti- ker	medel	20,4	21,0	20,9	19,8
		min-max	16,8-23,0	18,5-23,6	18,0-23,2	17,3-22,5
E F T E	Ute	medel	-2	-2	±0	14
		min-max	-5- ±0	-2- -1	-1- ±0	13-15
R M I	Gåga- tor	medel	18,6	18,6	17,9	19,4
		min-max	15,7-20,4	16,7-20,5	15,0-20,1	17,3-20,6
D D A G	Buti- ker	medel	20,6	21,1	21,0	20,2
		min-max	18,2-23,2	18,6-23,7	17,8-23,4	18,0-22,7

Utetemperaturen fås från de kontinuerliga mätningarna (liksom tidigare), medan temperaturen under överglasning och i butiker mäts momentant vid två olika tillfällen per dag med ett handinstrument (Fluke Multimeter 77 med termoelement).

Spridningen hos utetemperaturen (min-max) beror helt på variation i tiden, medan spridningen i lufttemperaturerna under överglasning och i butiker främst beror på skillnader mellan olika mätplatser respektive olika butiker. Skillnaden mellan varmaste och kallaste butik är 5 °C, vilket överstiger skillnaden mellan varmaste och kallaste mätplats utmed gågatorna under överglasning. Skillnaderna är ungefär lika stora både för- och eftermiddag.

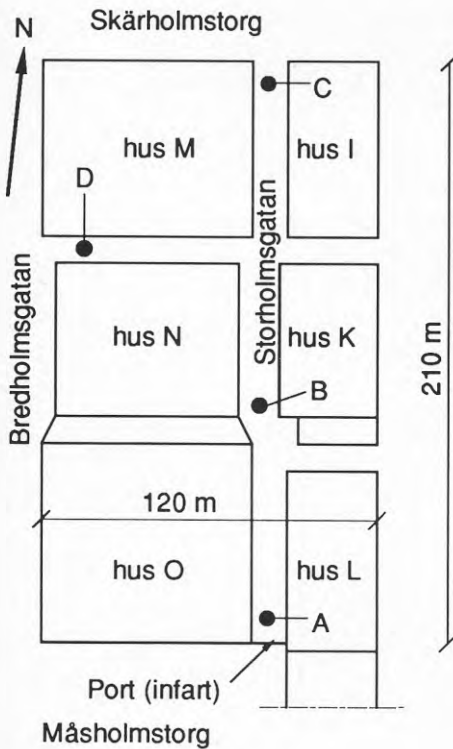
Temperaturen är i genomsnitt ganska lika på för- och eftermiddagen i butikerna, medan den stiger under överglasningen. Normalt är det ett par °C varmare i butikerna, d v s värmetransporten sker från butiker till överglasning, utom mycket varma dagar.

Temperaturen är i genomsnitt ungefär 21 °C i butikerna de tre vinterdagarna, vilket är komfortabelt för lättklädd butikspersonal, men för varmt för kunder med ytterkläder. En lägre temperatur skulle troligen uppskattas av de flesta kunder och dessutom spara energi, men förutsätter att personalen klär sig varmare.

## 5.2.6 Temperatur i lastgator

De överglasade gågatorna utom Byholmmsgången ligger direkt ovanpå lastgator. Däremellan finns ett oisolerat betongbjälklag med golvvärmslingor och marmorgolv. En tvärsektion genom detta bjälklag framgår av figur 3.14. Infarten söderifrån till lastgatan under Storholmmsgatan ligger i marknivå, medan huvuddelen av lastgatorna ligger under marknivå. In- och utfarter till lastgatorna har portar som är stängda då fordon inte passerar. Förvaltaren, AB Svenska Bostäder, uppskattar medeltemperaturen till ca 18 °C i lastgatorna.

Lastgatorna påverkar överglasningens energibalans på grund av transmission genom betongbjälklaget. Det är därför av intresse att veta vilka temperaturförhållanden som råder. Temperaturen i lastgatorna bestämdes momentant sju olika dagar under 1986 och 1987 med två handinstrument; en Fluke Multimeter 77 med termoelement och en Assman-psykrometer. Bestämningarna gjordes 1,1 m över golv vid de fyra platserna A-D enligt figur 5.17.



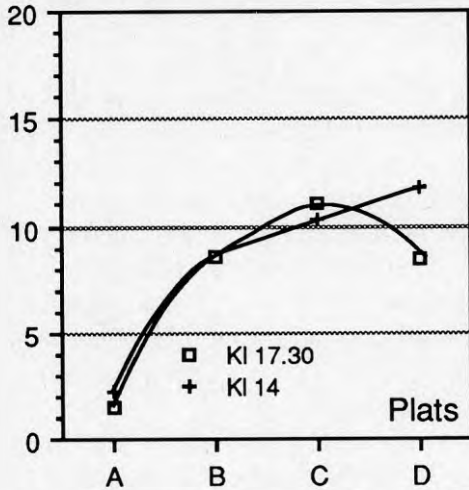
Figur 5.17. Platserna A–D i lastgatorna under den överglasade delen av Skärholmens Centrum där temperaturen bestäms. Plats A ligger strax innanför infarten.

Lastgatorna motsvarar i stort sett gågatorna ovan mark, dock finns ingen lastgata mellan hus N och O. Bredholmsgatan ligger utanför den överglasade delen (jämför figur 3.7).

Resultat från fyra dagar framgår av figur 5.18. De utetemperaturer som anges är lägsta – högsta temperatur under respektive dygn fram till den sista bestämningen ungefär kl 17.30. Bestämningarna gjordes vid angivna klockslag  $\pm 30$  minuter. Resultaten från de fyra mätplatserna i figur 5.18 har sammanbundits med linjer för att approximativt visa hur temperaturen varierar, och enstaka bestämningar mellan de fyra mätplatserna visar att detta redovisningsätt är motiverat.

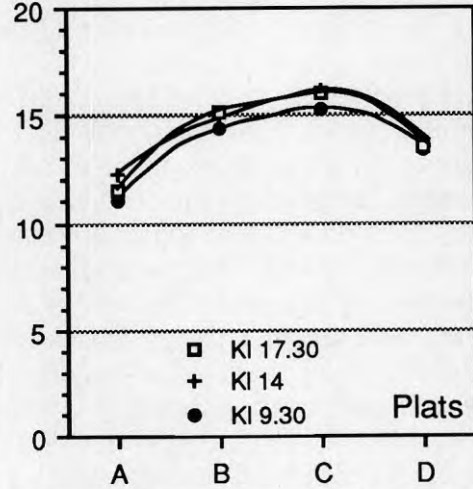
Som framgår av figur 5.18 varierar temperaturen i lastgatorna kraftigt med utetemperaturen. Temperaturen den 8 januari 1987 enligt a) bestämdes mitt under en ovanligt lång period med extrem kyla, varför dessa temperaturer kan betraktas som något av ett undre gränsvärde. Uppskattningsvis är värdena från den 27 mars, figur 5.18 b), ganska representativa för uppvärmnings-säsongen. Rimligtvis karaktäriseras lastgatorna av mycket stor termisk tröghet, d v s mycket lång tidskonstant, på grund av mycket stor tillgänglig värmekapacitet i form av betongytor och omgivande mark och dessutom relativt små värmeförluster genom såväl transmission som genom ventilation. Omgivande betong dämpar i första hand dygnssvängningen av temperaturen

Temperatur, °C



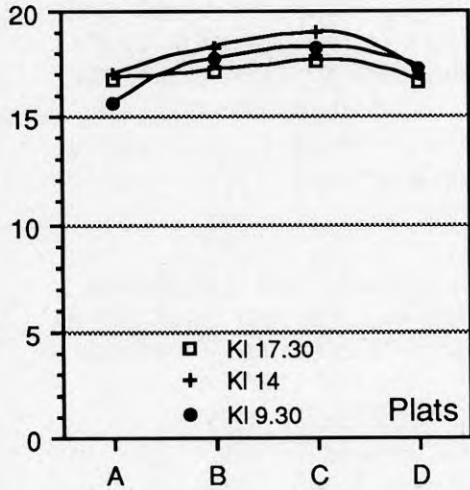
a) 8 jan. Utetemp. -25 – -12 °C

Temperatur, °C



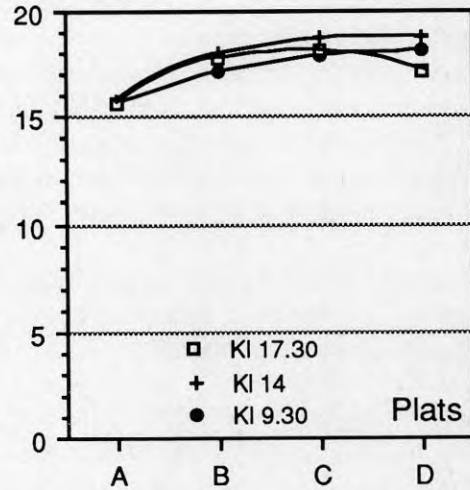
b) 27 mars. Utetemp. 0 – 4 °C

Temperatur, °C



c) 29 april. Utetemp. 8 – 22 °C

Temperatur, °C



d) 26 maj. Utetemp. 6 – 15 °C

Figur 5.18. Temperaturer i de lastgator som ligger under den överglasade delen av Skärholmens Centrum fyra olika dagar 1987. Bestämningarna är gjorda 1,1 m över golv vid platserna A–D enligt figur 5.17. Temperaturen är lägst vid plats A på grund av närheten till en port (infart) mot det fria.

medan omgivande mark dämpar temperaturens variation under längre tid. Det framgår också av figur 5.18 att temperaturen inte varierar lika mycket under dagen som den t ex gör under överglasningen.

Att temperaturen stiger från plats A till B och C i figur 5.18 beror på att kall uteluft kommer in via den port (infart) som ligger i närheten av plats A. Kalluften kommer främst in vid de tillfällen då porten öppnas för att fordon passerar. Förutom att temperaturen alltså varierar horisontellt, främst med avståndet från infarten, konstaterades att den vertikala temperaturgradienten är betydande och att temperaturgradienten ökar med minskande avstånd till infarten. I detta avseende har lastgatorna likheter med de överglasade gånggatorna, där ytterentréerna har motsvarande inverkan som porten till lastgatorna. Eftersom porten är stängd nattetid är det sannolikt att temperaturen vintertid i lastgatorna, främst i närheten av porten, är något högre nattetid.

De värden som redovisas i figur 5.18 gäller 1,1 m över golv. Vid bestämningarna konstaterades dock som nämnts att den vertikala temperaturgradienten är betydande, dvs att luften är kallare respektive varmare under respektive över 1,1 m-nivån. Detta har betydelse för värmeöverföringen från betongbjälklagets underyta till lastgatorna. Värmeöverföringen p g a konvektion påverkas av den relativt varma luften överst, medan värmeöverföringen p g a strålning påverkas av golvets relativt låga yttemperatur (och delvis av väggarnas yttemperatur). Om värmeövergångstalen p g a konvektion och strålning är ungefär lika stora är det därför rimligt att vid beräkningen av värmetransporten utgå från ett medelvärde av golvets yttemperatur och lufttemperaturen överst. Uppskattningsvis är temperaturen 1,1 m över golv en rimlig uppskattning av denna medeltemperatur.

Temperaturen i lastgatorna utgör indata vid beräkningen av energibalans, se avsnitt 7.4. Utifrån de erfarenheter och bestämningar som gjorts ansätts lite förenklat följande temperaturer i lastgatorna; 14 °C november – mars och 18 °C resten av året.

Det kan tilläggas att överglasningen sannolikt har medfört något högre temperatur i lastgatorna. Detta gäller i första hand när golvvärmeslingorna varit i drift, eftersom det saknas isolering mellan golvvärmeslingor och lastgator. Enligt en grov uppskattning (avsnitt 7.6.1) transmitterades 46 MWh/år ned till lastgatorna av golvvärmens. I figur 5.18 kan detta möjligen förklara varför temperaturen vid plats D i de flesta fall är lägre än vid C, eftersom D ligger på gränsen till den ovanförhängande helt öppna Bredholmsgatan. Om det är så att överglasningen även har medfört ett varmare klimat i underliggande lastgator så kan detta räknas som ett ytterligare litet plusvärde för överglasningen, eftersom det kan motsvara en något förbättrad arbetsmiljö i lastgatorna.

Avslutningsvis kan tilläggas att temperaturförhållanden för några andra stora överglasningar framgår av Gunnarshaug (1985), Lange (1986), Hamrebjörk et al. (1987), Andersson et al. (1987), Claesson et al. (1987), Jacobsen (1988), Carlson et al. (1988), Aschehoug et al. (1990), *Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings* (1991) och Glaumann (1992).

## SAMMANFATTNING

Sammanfattningsvis framgår av detta kapitel att det är många faktorer som påverkar temperaturförhållandena för en stor överglasad anläggning, och uppmätta temperaturförhållanden för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum redovisas här på ett flertal sätt. Det påvisas att utetemperatur 25 °C motsvarar en ungefärlig brytpunkt; över denna utetemperatur är temperaturen i genomsnitt faktiskt lägre inne än ute. En viktig orsak till detta gynnsamma resultat är solavskärmning från omgivande byggnader. Den allmänna och viktiga slutsatsen av detta är att stora överglasningar i skandinaviskt klimat mycket väl kan utföras så att problem med övertemperaturer undviks, utan att överglasningen är försedd med luftkonditionering eller ens gardiner e d.

Temperaturen under överglasningen följer en kraftig dygnssvängning. Ett typiskt vinterdygn är temperaturen nästan konstant (låg) ungefär kl 24–08 och nästan konstant (relativt hög) ungefär kl 12–18. Den viktigaste orsaken till dygnssvängningen är överluftsflöde genom öppna butiksentréer. Nattsänkning av temperaturen under överglasningen orsakas i detta fall inte av någon medveten styrning. Den nattsänkning av temperaturen som blivit följden har dock visat sig ge betydande energibesparing i jämförelse med om temperaturen skulle hållas mer konstant.

Sambandet mellan inne- och utetemperatur påvisas ge mycket intressant information om temperaturförhållandena för en överglasning, och sambandet visar i princip i vilken "grad" överglasningen är uppvärmd. För att enkelt kvantifiera graden av uppvärmning introduceras en ny storhet, uppvärmningsgrad, vilken möjliggör en enkel jämförelse av temperaturförhållandena (graden av uppvärmning i förhållande till uteklimatet) mellan olika överglasningar och/eller byggnader överhuvudtaget.

# 6 Ventilation och luftrörelser

Ventilationen har betydelse för luftkvalitet, termiskt inneklimat, energibalans och fuktförhållanden. Av de sociologiska undersökningarna i kapitel 11 framgår att av sju olika besvärreaktioner visade det sig att känslan av att sakna utomhusklimatet hade störst betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen, medan känslan av att luften känns instängd hade näst störst betydelse. Om en överglasning allmänt värderas som bra eller inte kan alltså i hög grad bero på luftkvaliteten.

I detta kapitel redovisas projekterade luftflöden och mätresultat och observationer i första hand avseende överluftsflöde mellan omgivande byggnader och överglasning, lufthastigheter i vistelsezonen och tryckskillnader mellan luften under överglasning och utomhus. Använda mätinstrument m m framgår under respektive avsnitt.

## 6.1 Mekanisk och naturlig ventilation

De överglasade gågatorna och omgivande byggnader i Skärholmens Centrum har separata ventilationssystem med mekanisk till- och frånluft, se även kapitel 3. De nio ventilationsaggregaten för överglasningen har projekterats för följande till- och frånluftsflöden:

- 5 st aggregat med 3 000 m<sup>3</sup>/h
- 4 st aggregat med 1 400 m<sup>3</sup>/h.

Totalt projekterat flöde är alltså 20 600 m<sup>3</sup>/h. Räknat på överglasningens totala volym 28 800 m<sup>3</sup> ger detta 0,72 luftomsättningar per timme. I förhållande till golvytan 3 950 m<sup>2</sup> i gågatorna blir det 1,4 l/s m<sup>2</sup>, vilket är betydligt mer än vanlig bostadsventilation (0,35 l/s m<sup>2</sup> minimikrav enligt SBN). Detta



är dock normalt för offentliga lokaler, eftersom ventilationen dimensioneras för hög personbelastning.

I tabell 6.1 har sammanställts projekterade luftflöden och dessutom golvarea och volym för såväl överglasning som omgivande byggnader. Specifikt luftflöde per m<sup>2</sup> golvarea är alltså ungefär lika för överglasning och omgivande byggnader, medan antal luftomsättningar per timme samtidigt är betydligt högre i omgivande byggnader p g a lägre takhöjd. Efter överglasningen har det totala projekterade uteluftsflödet för hela anläggningen (liksom golvarean) ökat 6 %.

Det projekterade luftflödet 20 600 m<sup>3</sup>/h för överglasningen är enligt avsnitt 36:22 i SBN 1980 dimensionerat för 3 m<sup>2</sup> golvyta/person, d v s totalt 1 300 personer, om man förutsätter att rökning förekommer. Om man förutsätter att rökning inte förekommer är samma luftflöde dimensionerat för 2,3 m<sup>2</sup> golvyta/person, d v s totalt 1 700 personer.

*Tabell 6.1. Golvarea, invändig volym och projekterat uteluftsflöde för de överglasade gågatorna och omgivande sex huskroppar I-O. I dessa värden ingår all golvarea innanför ytterväggarna. Värdena för hus I-O inkluderar källarvåningarna, som svarar för 31 % av golvarean. Angivna luftflöden gäller dagtid, nattetid är den mekaniska ventilationen avstängd.*

*Överglasningen har 9 st ventilationsaggregat med både till- och frånluft, medan omgivande hus I-O har totalt 94 st tillufts- och 134 st frånluftsaggregat. Utifrån förvaltarens uppgifter har 70 % återluftsgrad förutsatts i genomsnitt för hus I-O.*

Hus	Golvarea m <sup>2</sup>	Volym m <sup>3</sup>	Luftflöde m <sup>3</sup> /h	Specifikt luftflöde l/s m <sup>2</sup>	oms/h
I och K	14 100	41 700	54 000	1,06	1,29
L	11 300	33 800	40 000	0,99	1,18
M	15 300	50 500	82 800	1,50	1,64
N	10 400	36 600	72 500	1,94	1,98
O	17 800	58 500	116 200	1,81	1,99
Σ I-O	68 900	221 100	365 500	1,47	1,65
Övergl.	3 950	28 800	20 600	1,45	0,72

Ventilationsaggregaten saknar fasta mätuttag för att bestämma luftflödet. Man är hänvisad till att mäta vid till- och frånluftsgaller som är exponerade mot det fria på taket. Försök gjordes att mäta lufthastigheten vid galler vid ett flertal tillfällen, men vinden har medfört så kraftigt varierande lufthastighet att mätningarna avbrutits. Mätresultaten tyder dock på att ovanstående värden på luftflöden är av rätt storleksordning.

Ventilationskonsulten, Regenair AB, mätte samtliga luftflöden 27 augusti 1985. Tilluftsflödena bestämdes då till 21 700 m<sup>3</sup>/h och frånluftsflödena till 25 900 m<sup>3</sup>/h. Vid mättillfället var tilluftsfiltern kraftigt igensatta. Efter denna mätning har tilluftsfiltern rengjorts och frånluftsflödet i fyra av de nio aggregaten reducerats något.

Närheten mellan till- och frånluftsdon i de överglasade gågatorna medför en viss risk för "kortslutning", d v s att en viss del av tilluften mer eller mindre direkt evakueras via frånluftsdon. En risk med takspridare som tilluftsdon är också att man kan få en stagnationszon vid golvet dit tilluften knappast "när", vilket kan medföra låg ventilationseffektivitet. Dessa fenomen har dock inte studerats närmare inom detta forskningsprojekt.

Sommartid kompletteras den mekaniska ventilationen med "naturlig" ventilation. Genom termik (skorstenseffekt) bör öppna ytterentréer fungera som tilluftsdon och öppna glasluckor som frånluftsdon. Mätningar och observationer tyder dock på att luften lika ofta strömmar in som ut genom öppna ytterentréer. Tilluften kommer i stället i första hand via öppna butiksentréer, vilket framgår av avsnitt 6.2. Däremot bekräftar observationerna att de öppna glasluckorna verkligen fungerar som frånluftsdon, utom vid kraftig vind med viss riktning.

I Skärholmens Centrum har man sällan problem med för hög temperatur under överglasningen, vilket framgår av kapitel 5. Det är dock intressant att notera att en enkel och billig möjlighet till kylning inte utnyttjas. Den naturliga ventilationen kan nämligen sommartid användas till nattkylning med uteluft. Tack vare termisk tröghet kan då innetemperaturen under överglasningen sänkas dagtid. I Skärholmens Centrum är glasluckorna normalt halvöppna dygnet runt, medan ytterentréerna är låsta under natten. Effektiv nattkylning förutsätter dock att även ytterentréerna är öppna nattetid. En möjlighet är då att vid ytterentréerna montera skjutbara galler som låses på natten, d v s som vid t ex Stockholms tunnelbaneingångar. Eftersom butikerna är stängda nattetid finns det goda förutsättningar för att ytterentréerna då verkligen skulle fungera som tilluftsdon och släppa in den kalla nattluften.

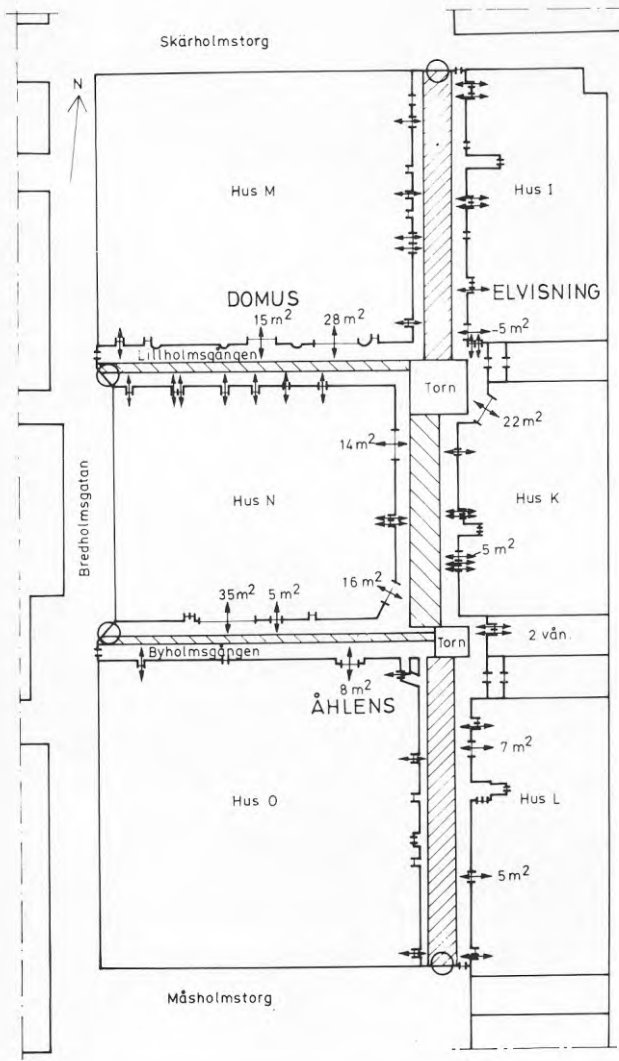
## 6.2 Överluftsflöde mellan överglasning och omgivande byggnader

Överglasningen invigdes i november 1984, och under följande år har butikerna successivt öppnat sina entréer mot gågatorna. Dels är det "gamla" slag- och skjutdörrar som numera oftast är helt öppna under affärstid, dels har många butiker låtit bygga om sina entréer till stora öppningar på upp till 35 m<sup>2</sup>. I september 1986 gjordes en uppmätning av samtliga entréer mot de överglasade gågatorna. Butiksentréerna har en total yta av 285 m<sup>2</sup>, och de entréer som normalt står öppna under affärstid har ungefär ytan 240 m<sup>2</sup>. Dessa 240 m<sup>2</sup> motsvarar t ex 120 st dörrar 1 x 2 m på vid gavel! De entréer som normalt är öppna framgår av figur 6.1.

Som framgår av kapitel 3 har gågator och butiker separata ventilationssystem, d v s inget överluftsflöde genom t ex entréer hade förutsatts vid projekteringen. Undersökningsresultaten i detta avsnitt visar dock att detta överluftsflöde är betydande, vilket påvisas ha stor betydelse för energibalans och termiskt inneklimat, se kapitel 7. Detta överluftsflöde kan dessutom medföra transport av fukt och föroreningar.

Lufthastigheter i öppna butiksentréer har bestämts med en mekanisk vinghjulsanemometer (Lambrecht), som registrerar medelvärden under en minut. Denna mätare är riktighetsberoende och registrerar inte lufthastigheter under 0,1 à 0,2 m/s. Kompletterande bestämmningar har dessutom gjorts med en varmtrådsanemometer (Alnor GGA-45). Lufthastigheten har i de flesta fall bestämts som ett medelvärde av mätning under en minut respektive vid bara tre olika mätpunkter i respektive entré, vilket medför att beräknade luftflöden är osäkra. För att erhålla ett noggrant medelvärde krävs egentligen betydligt fler än tre mätpunkter, se Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer (1982). Begränsningen till tre mätpunkter gjordes för att bestämningen vid de ca 50 entréerna inte skulle ta orimligt lång tid. De beräknade värmeeffekter som luftflödena medför är ännu mer osäkra, eftersom temperaturen i gågatorna varierar, vilket medför en svårbestämd temperaturskillnad.

I tabell 6.2 visas exempel på uppmätta lufthastigheter i tre av de "blåsigare" butiksentréerna. Luftflödena ut genom varuhusens entréer är mycket stora. Det totala fläktstyrda luftflödet från de nio aggregat som ventilerar gågatorna



Figur 6.1. Med dubbelriktade pilar visas här de butiksentréer som normalt är helt öppna under affärstid. För öppningar på minst  $5 \text{ m}^2$  har ytan skrivits ut.

är projekterat till ungefär  $20\,600 \text{ m}^3/\text{h}$  eller  $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , vilket alltså ibland är mindre än flödet genom en enda varuhusentré!

Temperaturskillnaderna mellan gågator och butiker är under större delen av dagen små, varför de beräknade värmeeffekterna trots stora luftflöden är måttliga, se tabell 6.2. När emellertid butikerna öppnar på morgonen är temperaturskillnaden större och följaktligen uppvärmningseffekten mer påtaglig. Ett kallt vinterdygn är ungefär  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  i gågatorna normalt när varuhusen

Tabell 6.2. Uppmätta lufthastigheter i tre olika butikens öppna entréer mot de överglasade gågatorna två olika dagar 1986. In eller ut anger om luften strömmar in i butiken eller ut ur butiken (till gågator). Lufthastigheten har utifrån entréns öppningsarea räknats om till ungefärligt luftflöde. Utifrån luftflöde och temperaturskillnad har ett mycket grovt värde på motsvarande värmeeffekt beräknats.

Butiken Elvisning kyls alltså här med 2–7 kW av inströmmande kallare luft från gågatan. Domus kyls här gågatan (26 augusti) med 6–8 kW (observera att liten temperaturskillnad medför stor osäkerhet). Åhléns värmer här gågatan med 5–22 kW. Den temperatur i gågata som anges är ett medelvärde från 3–4 st mätplatser i den närmaste delen av gågatan. De tre butikernas

Butik	Datum	Kl	Öppn. area	In eller ut	Luft- hast	Luft- flöde	Temp i butik	Temp i gågata	Temp- skillnad	Värme- effekt
			m <sup>2</sup>		m/s	m <sup>3</sup> /s	°C	°C	°C	kW
Elvisning (butik)	26 febr	11.30	1,82	In	0,6	1	20,6	15,0	5,6	- 7
	26 febr	15.30	1,82	In	0,3	0,6	21,2	18,4	2,8	- 2
	26 aug	10.00	1,82	In	0,5	0,9	20,2	16,8	3,4	- 4
	26 aug	15.00	1,82	In	0,3	0,6	21,0	18,6	2,4	- 2
Domus (varuhus)	26 febr	12.00	15,18	-	<0,2	<3	20,9	17,5	3,4	<12
	26 febr	16.00	15,18	-	<0,2	<3	21,0	17,8	3,2	<12
	26 aug	12.30	15,18	Ut	1,0	15	19,4	19,7	-0,3	- 6
	26 aug	17.00	15,18	Ut	0,9	14	20,0	20,5	-0,5	- 8
Åhléns (varuhus)	26 febr	13.30	8,05	Ut	0,7	6	20,4	17,2	3,2	+22
	26 febr	17.30	8,05	Ut	0,4	3	20,3	18,2	2,1	+ 8
	26 aug	12.00	8,05	Ut	1,0	8	19,0	17,7	1,3	+13
	26 aug	16.30	8,05	Ut	1,0	8	19,2	18,7	0,5	+ 5

öppnar kl 09. Med t ex 19 °C i varuhuset och 8 m<sup>3</sup>/s ut genom entrén (normalt för Åhléns enligt flera mätningar) värmer denna luftström gågatorna med hela 67 kW. Om man adderar effekten av överluft från övriga butiker blir effekten mycket stor. Det är alltså mycket rimligt att detta ger den snabba temperaturhöjning som sker under vinterdygn kl 08–12, se t ex figurer i kapitel 5.

Lufthastigheter i alla butiksentréer har bestämts totalt vid sex tillfällen tre olika dagar. I de flesta entréer går hastigheten inte att bestämma, d v s den understiger 0,2 m/s. Även mycket låga hastigheter kan dock ge stora flöden. Om t ex lufthastigheten vore bara 0,1 m/s åt samma håll genom alla entréer, så medför den stora ytan (240 m<sup>2</sup>) att luftflödet blir hela 24 m<sup>3</sup>/s eller 86 000 m<sup>3</sup>/h.

Tabell 6.3 sammanfattar samtliga mätningar genom att summer av luftflöden och värmeeffekter har sammanställts. Värdena är mycket osäkra, men visar vilken storleksordning det handlar om. Luftflödena är mycket stora.

Den 26 augusti är luftflödena ut ur butikerna ungefär 10 ggr större än luftflödena från den mekaniska ventilationen av gågatorna! Även luftflöden genom öppna ytterentréer bestämdes den 26 augusti. På förmiddagen strömmade ca 4 m<sup>3</sup>/s in och ca 15 m<sup>3</sup>/s ut genom ytterentréer. På eftermiddagen strömmade ca 2 m<sup>3</sup>/s in men nästan ingen luft strömmade ut genom ytterentréer. På förmiddagen strömmar alltså en del luft ut ur butiker till överglasningen och vidare ut genom ytterentréer. Luftflödena är betydligt mindre genom ytterentréer än genom butiksentréer.

*Tabell 6.3. Summer av ungefärliga luftflöden genom samtliga butikens öppna entréer mot de överglasade gågatorna tre olika dagar 1986. Utifrån luftflöden och temperaturskillnader har (mycket grovt) motsvarande värmeeffekter beräknats.*

*Här innebär alltså de 1–8 m<sup>3</sup>/s som strömmar in i butikerna att dessa kyls med 2–16 kW, eftersom luften från gågatorna är kallare än i butikerna. Den 26 augusti innebär de ca 60 m<sup>3</sup>/s som strömmar ut ur butikerna att överglasningen värms med ca 20 kW på förmiddagen. På eftermiddagen den 26 augusti har temperaturen under överglasningen stigit så pass att utströmmande luft i stället kyler överglasningen med ca 20 kW.*

Datum	Kl	Luftströmning ut ur butiker till gågator		Luftströmning från gågator in i butiker	
		Luft- flöde, m <sup>3</sup> /s	Värme- effekt, kW	Luft- flöde, m <sup>3</sup> /s	Värme- effekt, kW
26 feb	10.00–13.30	12	+48	5	-16
26 feb	15.30–18.30	14	+36	6	-8
12 mar	10.00–14.00	19	+77	5	-8
12 mar	15.00–18.30	22	+64	8	-6
26 aug	10.00–12.30	63	+22	2	-5
26 aug	15.00–17.00	57	-18	1	-2

Som framgår av tabell 6.3 är luftflödena ut ur butiker genomgående större än flödena in i andra butiker. Detta medför en nettotillförsel av luft till överglasningen. Sommartid (t ex 26 augusti i tabell 6.3) lämnar denna luft överglasningen i första hand genom halvöppna glasluckor. Vintertid tycks enligt tabell 6.3 nettotillförseln av luft från butikerna vara betydligt mindre och måste då lämna överglasningen i första hand genom otätheter.

Den mekaniska ventilationen i butikerna är den viktigaste orsaken till överluftsflödet mellan butiker och överglasning. I de flesta fall är det mekaniska tilluftsflödet i butikerna större än frånluftsflödet, varför överluftsflöde från butiker till överglasning är vanligast.

Fyra olika fall kan inträffa:

- utströmmande luft från butiker värmer eller kyler överglasningen
- inströmmande luft från överglasningen värmer eller kyler butiker.

I tabell 6.2 ges exempel på tre av dessa fall. Eftersom tilluftsflödet i de flesta butiker medvetet är större än frånluftsflödet och eftersom temperaturen oftast är lägre i överglasningen är dock utströmmande luft från butiker som värmer överglasningen det vanligaste.

Medelvärdena från februari och mars i tabell 6.3 är  $17 \text{ m}^3/\text{s}$  eller  $61\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  överluftsflöde dagtid från omgivande byggnader till överglasning, och  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  eller  $22\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  åt andra hållet. Dessa grova medelvärden har senare använts vid beräkning av energibalans och temperaturförhållanden under uppvärmningssäsongen. Överluftsflödet  $61\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  är tre gånger så stort som projekterat mekaniskt tilluftsflöde för överglasningen, och motsvarar 2 oms/h.

Nettouflödet ut ur butikerna dagtid,  $61\,000 - 22\,000 = 39\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ , motsvarar ca 11 % av det projekterade uteluftsflödet för omgivande byggnader. Detta kan t ex vara fallet om verkligt frånluftsflöde i omgivande byggnader är 11 % mindre än tilluftsflödet, samtidigt som hela "överskottet" av tilluft strömmar ut genom de öppna butiksentréerna och tillförs de överglasade gågatorna. Dessa grova medelvärden har alltså rimlig storlek, och överluftsflödet dagtid från omgivande byggnader till överglasning motsvarar endast en mindre del, 17 %, av teoretiskt möjligt överluftsflöde. Sedan bestämningarna av överluftsflöden gjordes, 1986, är sannolikt överluftsflödet till överglasningen större, eftersom förvaltaren som ett resultat av detta forskningsprojekt mer systematiskt utnyttjar detta luftflöde för uppvärmning av överglasningen.

## 6.3 Lufthastigheter i vistelsezonen

Enligt Carlson et al. (1985) är drag (främst lufthastighet) den termiska klimatfaktor som vanligen ger anledning till klagomål i ett överglasat rum. Att lufthastigheten har stor betydelse för den termiska komforten framgår också av kapitel 4.

I tabell 6.4 har lufthastighetens kylande inverkan på människokroppen räknats om till motsvarande sänkning av den ekvivalenta temperaturen (se även kapitel 4). Tabellen förutsätter konstant lufthastighet relativt människokroppen. Vid varierande lufthastighet är människan ännu känsligare, se avsnitt 4.3.1.

Enligt tabell 6.4 har klädseln ganska liten inverkan på upplevd temperatursänkning. Samma temperatursänkning *upplevs* dock som avsevärt större ju lättare klädsel man har, varför lufthastighetens inverkan ändå är kraftigt beroende av klädseln.

*Tabell 6.4. Lufthastigheten har en kylande inverkan på människokroppen. Här har denna inverkan räknats om till motsvarande sänkning av den ekvivalenta temperaturen. Siffrorna är medelvärden mellan de som gäller vid aktiviteter " stillasittande " och " shopping ". Som framgår är människan känslig även för låga lufthastigheter, där t ex 0,2 m/s upplevs som ungefär 1 °C temperatursänkning.*

*Omräkningen mellan lufthastighet och upplevd temperatursänkning har gjorts utifrån tabeller i bilaga E till den internationella standarden ISO 7730. Den här angivna temperatursänkningen förutsätter att man utgår från att komforttemperatur råder vid lufthastigheten noll. Se även avsnitt 4.3.1.*

Klädsel	Lufthastighet		
	0,2 m/s	0,4 m/s	1,0 m/s
0,5 clo lätt sommarklädsel	1,0 °C	2,1 °C	3,7 °C
1,0 clo vinterklädsel inomhus	0,9 °C	1,9 °C	3,2 °C
1,5 clo "kraftig klädsel"	0,9 °C	1,8 °C	2,9 °C



Bestämning av lufthastigheter i Skärholmens Centrum har i första hand gjorts med en vinghjulsanemometer, se avsnitt 6.2. För att visualisera luftrörelserna och för att fastställa riktningen har också synlig rök och heliumfyllda ballonger använts. Den synliga röken reagerar för mycket små luftrörelser, men skingras tyvärr ganska snabbt. Med en heliumfylld tyngdlös ballong kan luftrörelsens riktning visualiseras, men en ballong är inte alls lika känslig som synlig rök.

Sommartid erhålls en viss lufthastighet mitt i öppna ytterentréer, oftast 0–1 m/s men ibland upp till 2 m/s. Denna lufthastighet medför knappast några komfortproblem, bl a eftersom ytorna intill ytterentréer mest används som "kommunikationsytor" som man snabbt passerar. Inverkan av vind märks tydligt genom att lufthastigheten vid blåsig väder varierar kraftigt och även växlar riktning mitt i entréerna.

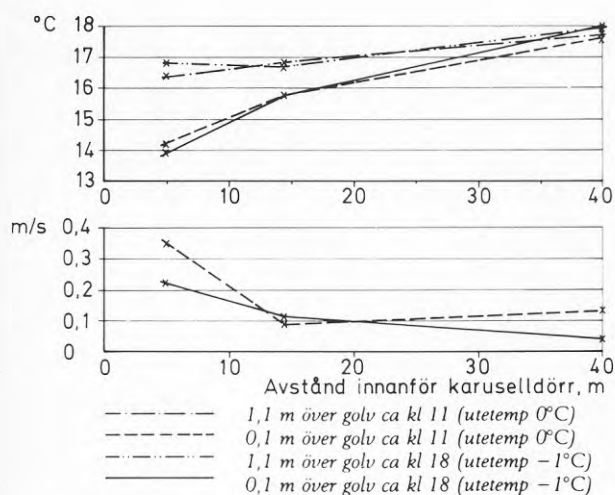
Som framgår av avsnitt 6.4 förekommer både över- och undertryck under överglasningen i golvnivå. Klimatet innanför de två ytterentréer som utgörs av skjutdörrar (mellan hus I och K respektive K och L) är kraftigt beroende av dessa tryckförhållanden, se även kapitel 4.

Vid övertryck inomhus är klimatet innanför skjutdörrarna anmärkningsvärt bra med hög lufttemperatur och låg lufthastighet. Jämfört med zonen vid karuselldörrarna är klimatet vid övertryck betydligt varmare innanför skjutdörrarna. Övertrycket medför dock vintertid en energiförlust genom utströmmande varmluft genom skjutdörrarna.

Vid undertryck innanför skjutdörrarna (t ex vid tillräckligt stark ostlig vind) strömmar uteluft in och medför då ofta låg lufttemperatur och betydande lufthastighet. Klimatet är då oftast kallare än innanför karuselldörrarna. På grund av varierande tryckförhållanden går det inte att beskriva ett typiskt klimat innanför skjutdörrarna.

De fyra ytterentréer som utgörs av karuselldörrar är dock ganska oberoende av tryckskillnaden inne–ute. Vintertid medför karuselldörrarna en typisk kombination av lägre lufttemperatur och högre lufthastighet närmast golvet, se figur 6.2. Det är alltså karuselldörrarnas rotation som hela tiden för in kall uteluft som strömmar längs golvet upp till några tiotal meter innanför dörrarna. De luftvärmare som finns vid karuselldörrarna hindrar inte kalluften från att strömma in.

I och i närheten av flera av de öppna butiksentréerna är lufthastigheten betydande, vilket också framgår av avsnitt 6.2. Här är visserligen lufttemperaturen normalt högre än vid ytterentréerna, men samtidigt används golvytorna



Figur 6.2. Lufttemperatur, °C, och lufthastighet, m/s, bestämda på tre olika avstånd innanför ytterentréer (karuselldörrar). Medelvärden från 3 minuters mätning i norra och södra delen av Storholmsgatan onsdag 12 mars 1986 (mulet väder). Det är normalt vintertid att det som i detta fall råder en svag kallluftsström intill golvet innanför karuselldörrarna. Observera att redovisade lufthastigheter under ca 0,2 m/s är mycket osäkra.

kring butiksentréerna till betydligt mer än bara "kommunikationsytor", varför lufthastigheten här kan ha större betydelse för den termiska komforten.

Undersökningar (med vinghjulsnemometer och synlig rök) från både sommar och vinter visar att lufthastigheten vid de flesta ställen under överglasningen understiger 0,2 m/s. Det är nästan bara i närheten av butiks- och ytterentréer som lufthastigheten överstiger 0,2 m/s.

I Skärholmens Centrum förekommer inga speciella kallrasskydd (d v s luftvärmare intill glasytor). Med hjälp av synlig rök intill vertikala glaspartier (ca 1 m över golv) gjordes försök att studera kallrasfenomenet vid några tillfällen. Det tycks dock som om luftrörelserna från ytterentréerna dominerar, så att något egentligt kallras inte kan observeras.

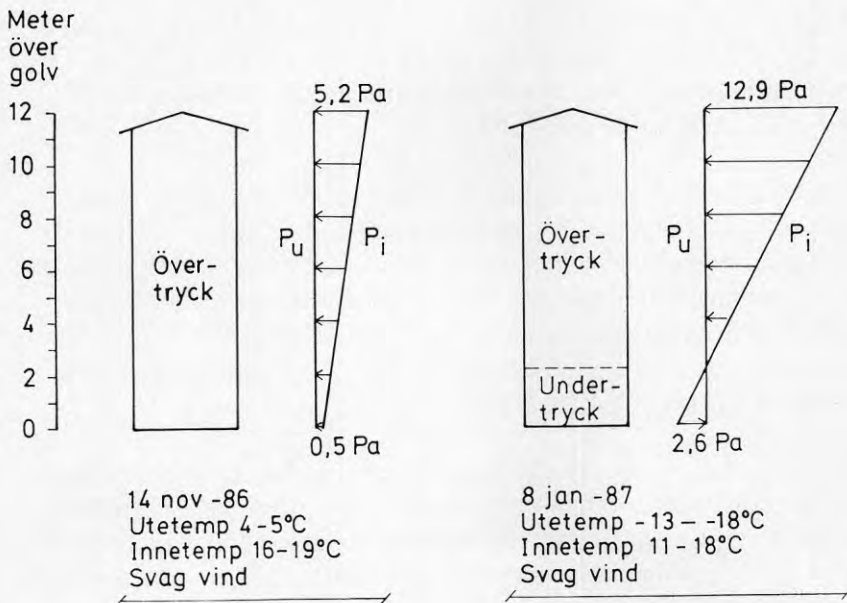
De högsta vertikala glaspartierna i Skärholmens Centrum finns i de två glasbornen, se kapitel 3. Dessa glaspartier når som lägst ner till drygt 4 m över golv, varför en kallluftsström orsakad av kallras intill glasytan eventuellt hinner "spädas ut" och förlora betydelse innan den når vistelsezonen. Om så är fallet är den valda konstruktionen mycket lyckad.

Lufthastigheten i vistelsezonen orsakad av tilluft från tilluftsdon (takspridare) har inte speciellt studerats i Skärholmens Centrum. Det finns dock inget som tyder på att detta skulle vara något problem.

## 6.4 Tryckskillnader

Drivkraften för luftens rörelser är en tryckskillnad, som uppstår på grund av vind, termik och mekanisk ventilation. Alla dessa tre faktorer kan ha stor betydelse.

Vid några tillfällen har tryckskillnaden mellan luften under överglasningen och utomhus bestämts med en vätskefylld mikromanometer (Lambrecht). I figur 6.3 visas exempel på resultat från två olika dagar. I taknivå var det under överglasningen hela tiden övertryck av varierande storlek. I golvnivå medförde vinden att det vid flera ytterentréer växlade mellan svagt över- och undertryck.



Figur 6.3. Exempel på tryckskillnad mellan luften inne i överglasningen,  $p_i$ , och luften utomhus,  $p_u$  (här ritat som referenstryck). Siffrorna som anges är medelvärden från två mätningar per dag (ungefär kl 11-13 respektive kl 15-17). I golvnivå gjordes mätningar vid fyra olika ytterentréer (en mot varje väderstreck) och i taknivå gjordes mätningar vid överglasningen 12 m över golv i Lillholmsgången. Trots svag vind varierade tryckskillnaden ganska mycket under de ca 4 minuter som mätningar gjordes på varje plats. Angiven innetemperatur är bestämd 1,1 m över golv på tio olika platser under överglasningen.

Resultatet i figur 6.3 kan jämföras med teoretiska beräkningar. Med hänsyn till enbart termik och medelvärden av angivna temperaturer blir den teoretiska tryckskillnaden mellan 0 och 12 m över golv 6,7 Pa den 14 november 1986, medan mätningarna gav  $5,2 - 0,5 = 4,7$  Pa. Den 8 januari -87 blir på motsvarande sätt den teoretiska tryckskillnaden 16,8 Pa, medan mätningarna gav  $12,9 + 2,6 = 15,5$  Pa. Dessa dagar kan alltså termiken förklara nästan hela tryckskillnaden, medan (den svaga) vinden inte påverkar medelvärdet av tryckskillnaden så mycket.

I golvnivå är tryckskillnaden normalt liten mellan överglasning och ute, och vinden medför att det ofta växlar mellan över- och undertryck. Enligt utförda observationer tycks dock svagt övertryck vara vanligast i golvnivå.

Termiken medför att det oftast råder övertryck uppe vid själva glasningen 5–21 m över golv. Detta övertryck medför att varmluft sommartid (som avsetts) strömmar ut genom öppna glasluckor. Vintertid läcker varmluft ut genom otätheter i överglasningen (exfiltration), främst vid glasluckorna. Över Byholms- och Lillholmsgången kan utläckande varmluft leda till snösmältning, se figur 10.3 i Höglund et al. (1987).

Som genomsnitt råder övertryck dagtid i de överglasade gågatorna. Detta beror i första hand på att den mekaniska ventilationen i de flesta fall medför övertryck i omgivande butiker, vilket via öppna butiksentréer överförs till de överglasade gågatorna. Nattetid är den mekaniska ventilationen avstängd, varför den genomsnittliga tryckskillnaden inne-ute då sannolikt är liten för såväl överglasning som omgivande byggnader (dock med undertryck nära golv och övertryck vid tak p g a termiken).

Övertryck dagtid i de överglasade gågatorna har den fördelen att risken för drag p g a infiltration av uteluft genom t ex otätheter i glasningen elimineras. Övertryck medför dock samtidigt en risk för fuktskador genom fuktkonvektion, och det är därför viktigt att övertrycket som i detta fall kombineras med ett tillräckligt lågt fukttillskott, se avsnitt 8.2.

# 7 Energibalans

## 7.1 Inledning

Att erhålla låga driftkostnader är ett självklart mål vid projektering av byggnader. För att uppnå detta mål är det viktigt att energiförbrukningen är så låg som möjligt, eftersom kostnaderna för värme och el är betydande i förhållande till de totala driftkostnaderna, se t ex figur 10.12. Ur företagsekonomisk synpunkt är det samtidigt intressant att t ex städkostnaderna faktiskt ofta är större än energikostnaderna. I samhällsekonomiskt perspektiv har dock energiförbrukningen betydligt större betydelse än vad en företagsekonomisk jämförelse antyder, bland annat eftersom det finns ett starkt samband mellan energiförbrukning och miljöpåverkan (miljöförstöring).

I och med överglasningen av Skärholmens Centrum 1984 tillkom ett energibehov när de överglasade gågatorna värms aktivt med golvvärmeslingor. En minskning av transmissionsförlusterna genom omgivande byggnaders inbyggda fasader erhöles dock samtidigt som ventilationsförlusterna för hela anläggningen (byggnader + överglasning) påverkades på ett komplicerat sätt. Det var därför svårt att förutsäga överglasningens inverkan på energiförbrukningen.

Energiförbrukningen i Skärholmens Centrum avläses regelbundet av förvaltaren, AB Svenska Bostäder. Värden har erhållits månadsvis för 10-årsperioden 1982-91, vilket motsvarar tre år före och hela sju år efter det att överglasningen byggdes, d v s här finns ett ovanligt omfattande underlag för att i praktiken bedöma bl a hur överglasningen påverkat energiförbrukningen. De sju åren efter överglasning innefattar fyra år med aktiv uppvärmning med golvvärme och tre år med golvvärmen avstängd. Att golvvärmen kunde stängas av är ett resultat av detta forskningsprojekt, där det tidigt påvisades bl a att överluftsflödet dagtid från omgivande byggnader motsvarar en betydande "passiv" uppvärmning av överglasningen.

Detta möjliggör en jämförelse av hela anläggningens energiförbrukning:

- före överglasning
- efter överglasning, där denna värms aktivt med golvvärme
- efter överglasning, där denna inte värms aktivt.

Normalårskorrigerig har gjorts enligt bilaga 1, och resultaten avseende uppmätt energiförbrukning framgår av avsnitt 7.3.

Genom teoretiska studier av energibalansen görs resultaten från Skärholmens Centrum mer allmängiltiga. En jämförelse görs mellan uppmätt och beräknad energiförbrukning för uppvärmning. Resultaten av beräkningarna förklarar också anläggningens energibalans, och dess delposter kvantifieras.

Den datormodell och de indata som har använts vid de teoretiska beräkningarna framgår av bilaga 2. Resultat av en enkel stationär energibalans redovisas i avsnitt 7.4. Resultat utifrån datorberäkningar med programmet BRIS framgår i avsnitt 7.5, där även en jämförelse görs med resultat från beräknad stationär energibalans och från datorberäkningar med programmet AUTSOL.

När det gäller temperaturförhållanden har kontinuerliga mätningar gjorts under fem år, se kapitel 5. Resultat från dessa mätningar har använts på två sätt vid studierna av energibalans. Dels används vissa resultat som indata vid beräkningarna och dels görs en jämförelse mellan uppmätt och beräknad temperatur.

Det material som tagits fram är relativt omfattande både när det gäller uppmätta och beräknade värden. Detta ger ett bra underlag för att dra slutsatser avseende såväl energianvändning som temperaturförhållanden.

## 7.2 Metodik

I detta avsnitt behandlas metodiken avseende både uppmätt energiförbrukning och datorberäknad energibalans. Den mer fördjupade redovisningen avseende normalårskorrigerig av uppmätt förbrukning respektive datormodell och indata för datorberäkningarna framgår av bilaga 1 respektive bilaga 2.

### UPPMÄTT ENERGIFÖRBRUKNING

Från förvaltaren av Skärholmens Centrum, AB Svenska Bostäder, har erhållits uppmätt energiförbrukning månadsvis för 10-årsperioden 1982-91. Denna energiförbrukning avser uppvärmning och en mycket liten andel tappvarmvatten från de fem undercentraler som försörjer hus I-O, d v s den del av Skärholmens Centrum som berörs av överglasningen.

Den aktuella 10-årsperioden motsvarar tre år före och sju år efter det att överglasningen byggdes, d v s här finns ett ovanligt omfattande underlag för att i praktiken bedöma bl a hur överglasningen påverkat energiförbrukningen. Analysen i det följande grundar sig på totalt 600 värden (10 år · 12 månader · värden från 5 undercentraler, varav i de flesta fall summan för de 5 undercentralerna, alltså 120 värden, har använts). Underlaget har möjliggjort en noggrann normalårskorrigerig och även en jämförelse av två principiellt olika sätt att korrigera energiförbrukningen till normalår.

De mätare som använts är konventionella energimätare (värmemängdsmätare) från AB Svensk Värmemätning, SVM. Dessa mätare har regelbundet kalibrerats vart tredje år. Allmänt gäller dock att värden på uppmätt värmeförbrukning måste tolkas med viss försiktighet på grund av svårigheter att mäta med riktigt hög noggrannhet. Dessa mättekniska svårigheter sammanfattas av Delsing et al. (1992).

Avläsningarna har gjorts kring varje månadsskifte. Intervallen mellan avläsningarna är i 90 % av fallen mellan 26 och 36 dygn (och standardavvikelsen för antal dygn mellan avläsningarna är 4 dygn). Denna direkt avlästa energiförbrukning har korrigerats till aktuellt antal dygn för respektive månad.

Enligt Svenska Bostäder motsvarar förbrukningen av tappvarmvatten i hus I-O uppskattningsvis 1–1,5 % av energiförbrukningen i de fem undercentralerna. För att erhålla energiförbrukningen för uppvärmning har därför totalt 8 MWh/månad motsvarande 96 MWh/år dragits av från avlästa värden. Detta avdrag motsvarar 1,2 % i förhållande till den slutligt normalårskorrigerade energiförbrukningen för uppvärmning + tappvarmvatten i hus I-O; 7 700 MWh/år som genomsnitt 1982–91. Avdraget har fördelats med 2 MWh/månad för de tre undercentraler där energiförbrukningen är högst och 1 MWh/månad för återstående två undercentraler. I det följande behandlas energiförbrukningen med det nämnda avdraget för tappvarmvatten, d v s energiförbrukningen som enbart avser uppvärmning (kan även kallas värmeförbrukning).

En närmare kontroll visade att två av de 120 månadsvärdena med allra största sannolikhet var felaktiga p g a mätarfel eller avläsningsfel. En speciell korrektion har därför gjorts utifrån medelvärdet från hela 10-årsperioden av ett värde en kall vintermånad som var orimligt lågt och ett värde en sommar-månad som var orimligt högt.

Värdena har korrigerats till normalår enligt bilaga 1. För september – maj har korrektion gjorts utifrån det uppmätta sambandet mellan energiförbrukning och månadsmedeltemperatur (detta samband kallas ibland för energisignatur).

Med värden från 10-årsperioden 1982–91 som underlag har korrektionen för apr–maj + sep–okt respektive nov–mar bestämts till 55,2 respektive 71,0 MWh/mån °C. För sommarmånaderna juni – augusti används dock uppmätt energiförbrukning utan korrektion.

Förbrukning av el och kyla (luftkonditionering) ingår inte i denna redovisning av uppmätt energiförbrukning. En grov uppskattning av överglasningens inverkan på elförbrukning och omgivande byggnaders kylbehov ingår dock i avsnitt 7.5.1.

## DATORBERÄKNAD ENERGIBALANS

Datorprogrammet BRIS kan användas för att beräkna temperaturförhållanden samt effekt- och energibehov för rum och byggnader. I indata beskrivs byggnaden såväl byggnads- som installationstekniskt och dessutom anges hur uppvärmningssystem, eventuellt kylsystem och mekanisk ventilation styrs. Som resultat kan bl a erhållas lufttemperatur, ytemperatur, operativ temperatur, tilluftsflöde och tilluftstemperatur. Beräkning av effekt för uppvärmning och eventuell kylning ger bl a underlag för att bedöma erforderlig dimensionerande effekt. Behovet av uppvärmningsenergi kan summeras för olika perioder; från delar av dygn till ett helt år.

Klimatdata kan som i detta fall tas från en datafil som innehåller timvisa värden för utetemperatur och solinstrålning som registrerats under ett år. Klimatet beskrivs alltså av utetemperatur och sol, medan ingen hänsyn tas till vind (ett infört värde på luftläckning kan dock mer eller mindre inkludera en genomsnittlig inverkan av vind). Med hänsyn till bl a mycket komplicerade och svårförutsägbara vindförhållanden runt byggnader är det mycket svårt att på ett bra sätt ta hänsyn till vindens inverkan på energibalansen. Att klimatet beskrivs utan vind är dock i de flesta fall en begränsning av mindre betydelse, eftersom vinden inverkar mycket måttligt på de flesta byggnaders energibalans, se t ex Levin (1991) och Herrlin (1992).

Solinstrålningen beskrivs av tre värden, samtliga i  $W/m^2$ :

- Direkt solinstrålning mot strålningens normalplan
- Diffus solinstrålning mot horisontell yta
- Direkt + diffus solinstrålning mot horisontell yta.

Utifrån dessa värden och bl a angiven latitud och aktuellt datum kan sedan BRIS med hjälp av ekvationer beräkna solinstrålningen varje timme mot ytor



med valfri orientering och lutning. Noggrann hänsyn tas till solvärmeinläckning genom fönster; direkt genom att en del av den kortvågiga solstrålningen passerar glaset och indirekt genom att absorberad solstrålning höjer ytemperaturen på glaset. Hänsyn tas även till att solinstrålningen höjer ytemperaturen på utsidan av ytterväggar och tak.

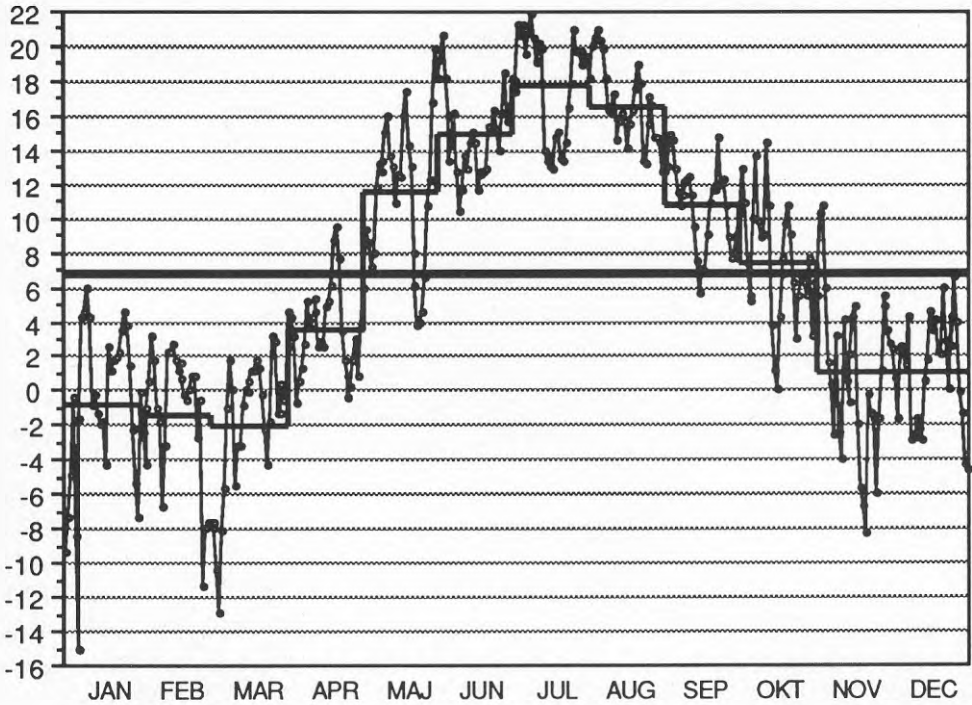
Utetemperatur och solinstrålning avser alltså uppmätta värden. I vissa sammanhang används sk normalår, där medelvärden beräknats utifrån uppmätta värden under lång tid, ofta 30 år. Att använda medelvärden har dock sin begränsning när man vill beräkna energibalans och temperaturförhållanden så verklighetsnära som möjligt, dvs med hänsyn både till verkliga vädervariationer och icke-stationära termiska förlopp i byggnader. Egentligen finns naturligtvis inget enskilt år som kan betraktas som meteorologiskt " normalt", eftersom just vädrets variation med olika avvikelser från medelvärden är viktiga förutsättningar i detta sammanhang. För att få beräknad energiförbrukning som så långt möjligt motsvarar avläst normalårskorrigerad energiförbrukning kan man dock välja ett år där t ex månadsmedelvärden av utetemperatur och solinstrålning skiljer sig så litet som möjligt från ett normalår.

I detta fall har klimatdata för Stockholm 1971 använts. Detta år används ofta i dessa sammanhang eftersom såväl utetemperatur (antalet graddagar) som antal soltimmar och total solinstrålning avviker förhållandevis litet från ett normalår. År 1971 utvaldes bland åren 1957 - 75 utifrån både års- och månadssummor av antalet graddagar och solinstrålning, se Taesler och Isfält (1980).

I figur 7.1 framgår hur dygnsmedeltemperaturen varierar, och i figur 7.2 framgår hur utetemperaturen varierar timme för timme under en vecka. Dessa figurer ger en uppfattning om i vilken grad utetemperaturen verkligen är icke-stationär. Solinstrålningen är naturligtvis i ännu högre grad icke-stationär.

I tabell 7.1 jämförs månadsmedeltemperaturen 1971 med ett normalår. Skillnaden är betydande trots att 1971 utvalts bland 18 olika år just för att minimera avvikelserna från ett normalår. En möjlighet i detta sammanhang är att korrigera de timvisa värdena på utetemperaturen 1971 med månadsmedeltemperaturens avvikelse från ett normalår. För t ex varje timvärde i januari minskas utetemperaturen med 2,5 °C osv. Härigenom erhålls ett år med verkliga vädervariationer, men samtidigt med samma månadsmedeltemperaturer som ett normalår. Detta är en fördel t ex vid beräkning av månadsvis energibehov, som då bättre kan jämföras med avläst normalårskorrigerad energiförbrukning. Den "diskontinuitet" på maximalt 3,4 °C som erhålls vid månadsskiftena med denna korrektion är inget problem; i t ex figur 7.2 ändras utetemperaturen upp till 6 °C på en timme på grund av väderomslag.

## Dygns-, månads- och årsmedeltemperatur i Stockholm 1971, °C

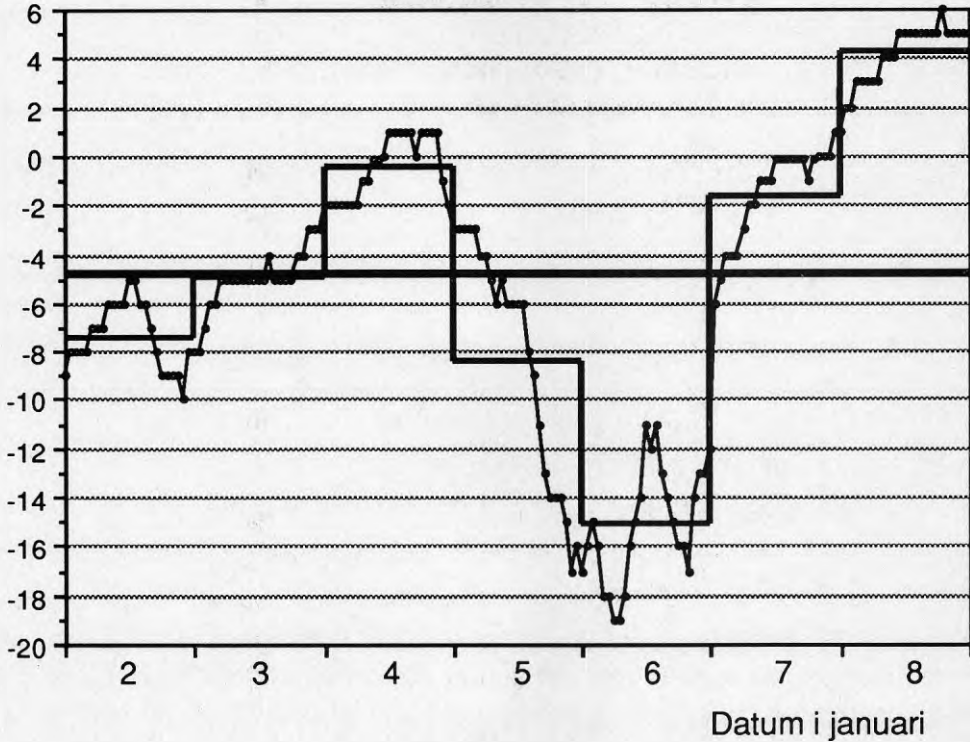


Figur 7.1. Utetemperaturens variation på Bromma i Stockholm 1971. Månads- och årsmedeltemperaturerna avviker förhållandevis litet från ett normalår, se tabell 7.1. Att som här enbart visa dygnsmedelvärden döljer utetemperaturens betydande variation även under enstaka dygn, jämför med de timvisa värdena i figur 7.2.

En ny klimatfil för Stockholm har sålunda tagits fram, där alltså månadsmedeltemperaturerna är desamma som ett normalår. Värdena på utetemperaturens variation är i denna nya klimatfil desamma som 1971, liksom samtliga värden på solinstrålning. Datorberäknad energibalans har i detta fall gjorts med den nya klimatfilen, vilket ger resultat som det är mycket rimligt att jämföra med normalårskorrigerad avläst energiförbrukning.

I BRIS tas noggrann hänsyn till hur värme lagras och avges i byggnadens stomme, vilket är helt avgörande för att kunna beräkna temperaturförlopp. Programmet räknar med  $s$  k finita differenser och räknar iterativt fram en energibalans, normalt en gång per timme, tills den relativa skillnaden mellan resultaten av de två senaste beräkningarna för samtliga variabler understiger

Temperatur timme för timme samt dygns- och veckomedeltemperatur den 2–8 januari 1971 i Stockholm, °C



Figur 7.2. Utetemperatur en vintervecka på Bromma i Stockholm 1971 (värdena timme för timme anges i hela °C). Den 6 januari var årets kallaste dygn och mellan den 6 och 7 januari stiger utemperaturen hela 6 °C på en timme. Datorberäkningarna görs i detta fall timme för timme med aktuella värden på såväl utetemperatur som solinstrålning, varvid hänsyn tas till hur vädret varierar såväl under enskilda dygn som under längre perioder.

den s k relaxationstoleransen, normalt 1 ‰. För att undvika onödigt höga noggrannhetskrav, och därmed onödigt långa beräkningstider, adderas värdet 20 till samtliga variablers absolutbelopp innan relaxationstoleransen beräknas. Onödigt höga noggrannhetskrav skulle annars erhållas t ex för temperaturer nära 0 °C.

Tabell 7.1. Månads- och årsmedeltemperatur på Bromma i Stockholm enligt SMHI. Februari 1971 var alltså *t ex* 2,7 °C varmare än medelvärdet från 30-årsperioden 1951–80. Medelvärden 1951–80 enligt Eriksson (1982).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	
År 1971	-0,9	-1,4	-2,1	3,5	11,5	14,9	
1951–80, medel	-3,4	-4,1	-1,4	4,1	9,9	15,4	
Skillnad	2,5	2,7	-0,7	-0,6	1,6	-0,5	
	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
År 1971	17,7	16,5	10,7	7,3	1,0	1,0	6,7
1951–80, medel	16,9	16,1	11,7	7,1	2,2	-1,0	6,2
Skillnad	0,8	0,4	-1,0	0,2	-1,2	2,0	0,5

När det gäller beräkning av energibalans är BRIS välkänt sedan länge och har fått en omfattande användning. Det är ingen överdrift att kalla BRIS för ett referensprogram i dessa sammanhang. Programmet började utvecklas redan i början på 60-talet, se Brown (1963). Hur programmet fungerar fysikaliskt m m beskrivs av Brown (1989) och Brown (1990). För den praktiska hanteringen med indata m m finns en programbeskrivning, Bring (1982). Exempel på programmets användning ges av Isfält (1988).

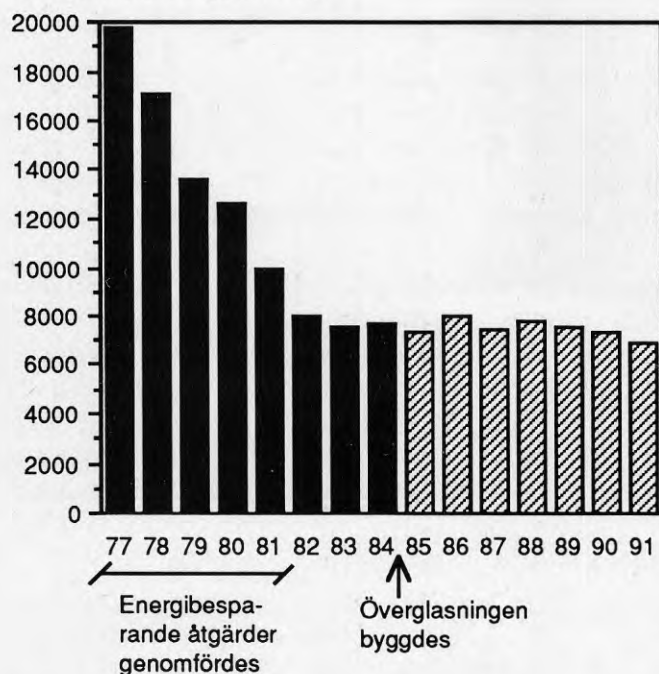
Indata m m som använts i detta fall framgår av den relativt omfattande bilaga 2. Där framgår även hur byggnadens verkliga geometri har förenklats till en geometrisk modell anpassad för datorberäkningarna.

## 7.3 Uppmätt energiförbrukning

Uppmätt energiförbrukning har korrigerats till normalår enligt bilaga 1. Redovisade värden avser endast aktiv uppvärmning av hus I-O, d v s de byggnader som omger de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum. Efter överglasningen i slutet av 1984 ingår även den aktiva uppvärmningen av gågatorna med golvvärmslingor. I det följande avses alltså med energiförbrukning den normalårskorrigerade energiförbrukningen för aktiv uppvärmning.

I figur 7.3 framgår energiförbrukningen 1977–91. Mellan åren 1977 och 1982 har energiförbrukningen minskat med hela 11 800 MWh/år eller 60 %. Denna besparing motsvarar energiförbrukningen för ca 600 småhus om man förutsätter 20 000 kWh per hus och år. Uttryckt i pengar motsvarar besparingen 4,7 miljoner kronor per år om man förutsätter energipriset 40 öre/kWh för fjärrvärmens.

Energiförbrukning, MWh/år



Figur 7.3. Energiförbrukningen för hus I-O i Skärholmens Centrum har tidigare varit mycket hög. Åren 1977–81 har energiförbrukningen minskat kraftigt främst tack vare ändrad drift av ventilationen.

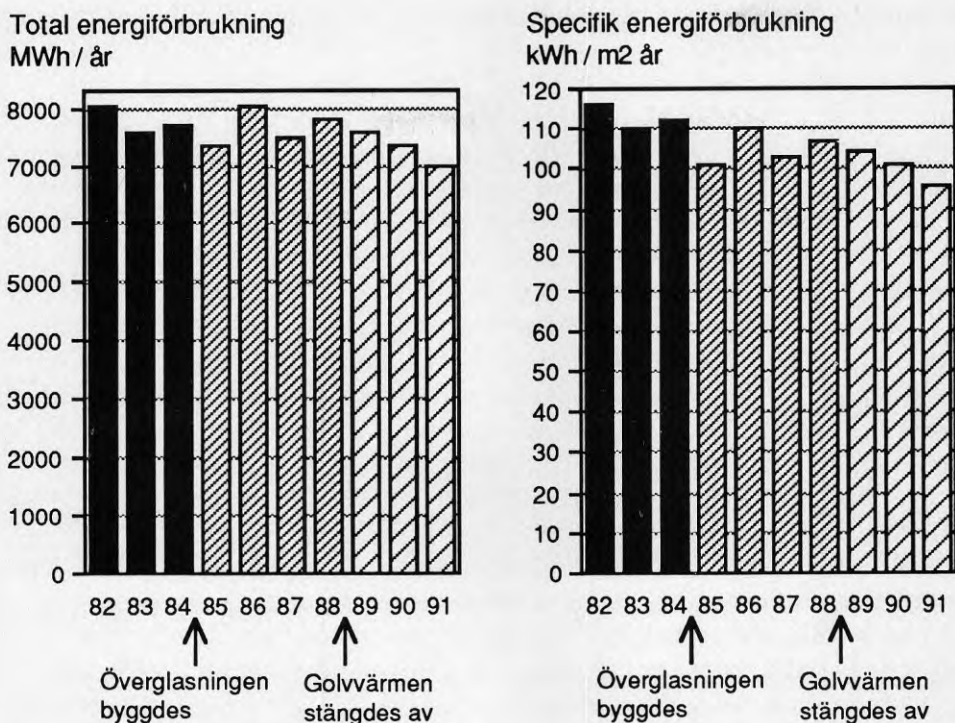
Från och med 1982 har förbrukningen varit förhållandevis konstant trots överglasningen av de tidigare öppna gågatorna, se dock figur 7.4.

Att man lyckades spara så mycket som över hälften av energiförbrukningen beror på att förbrukningen tidigare var mycket hög, vilket sammanhänger med tidigare låga energipriser. Besparingen förklaras i första hand av bättre styrning av den mekaniska ventilationen, som tidigare var fullt tillslagen även nattetid när inga människor vistades i byggnaderna. Som framgår av figur 7.3 erhöles besparingen successivt under ca fem år. Under dessa år genomförde förvaltaren ett stort antal drifttekniska åtgärder bl a avseende drifttider för ventilationen, ändrade utelufts- och återluftsflöden och justeringar av värmesystemet. Eftersom ca 2/3 av uppvärmningen sker via tilluften, se avsnitt 3.2, ger förkortad drifttid för ventilationen en mycket direkt besparing. Förutsättningarna för energibesparing genom förkortad drifttid för ventilationen var mycket goda, eftersom byggnadernas huvudsakliga användning som butiker innebär att de är oanvända ca 2/3 av tiden.

Att potentialen för energibesparing genom i första hand ventilationstekniska åtgärder varit mycket stor, bekräftas av att ventilationsförlusterna för dessa byggnader har varit dominerande. En beräkning visar att med den mekaniska ventilationen fullt tillslagen dygnet runt, och om man antar samma uteluftsflöde som idag, blir resultatet att transmissionen svarar för ca 20 % och ventilationen för hela 80 % av de totala värmeförlusterna. Att ventilationsförlusterna dominerar är mycket vanligt för stora byggnader, genom att den omslutande arean är relativt liten i förhållande till byggnadens volym och golvarea.

Stor potential för energibesparing finns för många äldre byggnader. För t ex Frölunda Torg, som liksom Skärholmens Centrum är ett äldre köpcentrum, anges besparingar på hela 70 och 80 % av Andersson (1990). Intressant att notera är att besparingarna i båda dessa anläggningar i första hand har uppnåtts med ventilationstekniska åtgärder som inte innefattar värmeåtervinning.

Den kraftiga energibesparing som framgår av figur 7.3 har erhållits fram till ca tre år innan överglasningen gjordes, och från och med 1982 varierar förbrukningen betydligt mindre. I figur 7.4 visas energiförbrukningen från och med 1982 före och efter överglasningen andra halvåret 1984. Till vänster i figur 7.4 visas samma värden som i figur 7.3, dock i större skala. Till höger har energiförbrukningen dividerats med den totala golvarean innanför ytterväggarna, där även källarvåningen medräknats. Från och med 1985 har även de överglasade gågatornas 3 950 m<sup>2</sup> medräknats, varigenom golvarean ökat 5,7 % och den specifika energiförbrukningen minskat 5,4 %.



Figur 7.4. Energiförbrukning för de sex huskroppar i Skärholmens Centrum, hus I–O, som berörs av överglasningen. Från och med slutet av 1984 ingår energiförbrukningen för golvvärmeslingorna i de överglasade gågatorna. Till vänster visas den totala förbrukningen och till höger den specifika förbrukningen per m<sup>2</sup> golvarea, där från och med 1985 även de 4 000 m<sup>2</sup> överglasade gågatorna har räknats med. Den specifika förbrukningen är därför något lägre efter överglasningen i förhållande till den totala förbrukningen.

Bestämningar i Skärholmens Centrum visar att överluftsflödet (luftutbytet) är mycket stort mellan överglasning och omgivande butiker genom de öppna butiksentréerna. Inverkan av denna överluft behandlas mer ingående i kapitel 6. Eftersom de överglasade gågatorna och omgivande byggnader har separata ventilationssystem hade man vid projekteringen inte räknat med någon överluft. Genom resultat från detta forskningsprojekt har det dock visat sig att detta luftutbyte har stor betydelse både för energibalansen och för temperaturen i de överglasade gågatorna. Förvaltaren av Skärholmens Centrum har därför fr o m vintern 1988/89 praktiskt taget stängt av golvvärmeslingorna, och utnyttjar numera medvetet överluften för uppvärmning dagtid. Denna luft som strömmar ut ur butikerna motsvarar i huvudsak gratis spillvärme, som

före överglasningen försvann till ingen nytta, eftersom omgivande byggnader saknar värmeåtervinning.

I figur 7.4 har markerats när överglasningen byggdes och när golvvärmen (praktiskt taget) stängdes av. Som framgår har utbyggnaden 1984 med överglasning av ca 4 000 m<sup>2</sup> gågator inte medfört någon ökning av energiförbrukningen. Man har i stället i praktiken lägre energiförbrukning efter överglasningen, vilket givetvis är ett mycket gynnsamt resultat. Den specifika förbrukningen var i genomsnitt 7 % lägre 1985–88 än före överglasningen, dvs 1982–84. När golvvärmeslingorna varit avstängda, 1989–91, var den genomsnittliga specifika förbrukningen 11 % lägre än före överglasningen. Trots normalårskorrigerering varierar energiförbrukningen från år till år såväl före som efter överglasningen. Orsaken är främst att styrningen successivt förändras för de mycket omfattande installationerna för uppvärmning och ventilation. Det går därför inte att utifrån avläst energiförbrukning exakt utläsa just överglasningens inverkan.

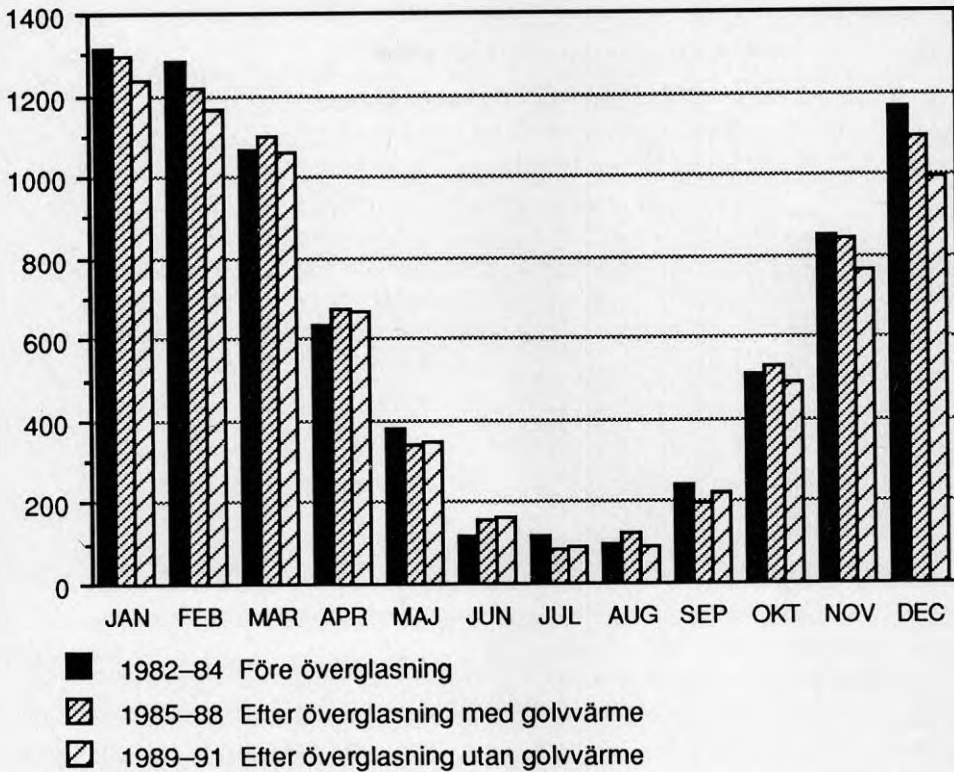
I figur 7.5 visas energiförbrukning månadsvis. Förbrukningen de olika månaderna följer väl månadsmedeltemperaturen ett normalår, jämför t ex tabell 7.1. Förbrukningen under januari är aningen högre än under februari trots att februari är den kallaste månaden med 0,7 °C lägre medeltemperatur än januari ett normalår. Detta beror i första hand på att januari är 11 % längre än februari (när det inte är skottår). Den energibesparing som erhållits efter överglasningen har i huvudsak erhållits november – februari, dvs under de solfattigaste månaderna. Detta kan sägas bekräfta solinstrålningens begränsade inverkan i detta fall, jämför t ex med resultatet i figur 5.11.

Under sommarmånaderna juni – augusti förbrukas i genomsnitt 5 % av uppvärmningsenergin (eventuellt något mindre om verklig tappvarmvattenförbrukning är högre än den antagna). Den uppvärmningsenergi som förbrukas sommartid är sannolikt i huvudsak onödig, och motsvarar då en potential för återstående besparing. Det kan inte uteslutas att uppvärmning sommartid i vissa fall sker samtidigt med klimatkylning, vilket i så fall orsakar onödig energiförbrukning för såväl uppvärmning som kylning.

I figur 7.6 visas energiförbrukningen vid en av de fem undercentralerna, nämligen den som är placerad i hus O. Energimätaren i denna undercentral registrerar fr o m 1985 summan av förbrukningen för hus O och för golvvärmeslingorna i de överglasade gågatorna. Att golvvärmen var i drift 1985–88 framgår av att förbrukningen var högre dessa år.



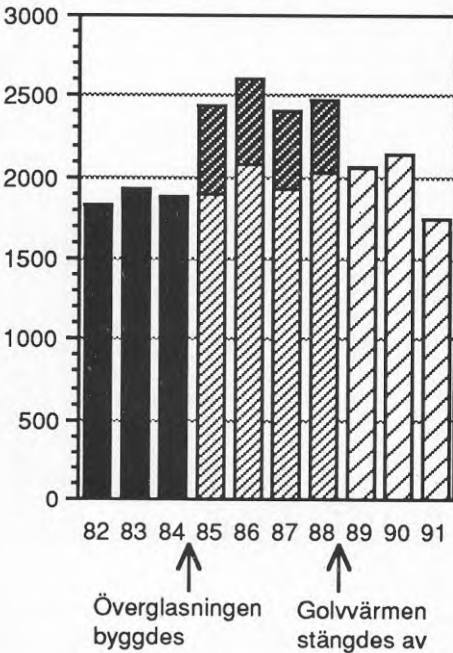
## Energiförbrukning, MWh/månad



Figur 7.5. Energiförbrukning per månad för hus I-O som genomsnitt för angivna perioder. För vintermånaderna utom mars har förbrukningen minskat successivt under de tre perioderna. Även sommartid förbrukas energi för uppvärmning.

Energiförbrukningen för golvvärmen har i figur 7.6 uppskattats utifrån antagandet att hus O:s andel av förbrukningen för samtliga hus, I-O, har varit densamma 1985-88 som genomsnittet från de sex åren 1982-84 och 1989-91, nämligen 26 %. Med detta antagande har golvvärmeslingorna förbrukat 450 - 540 MWh/år, motsvarande 6-7 % av hela anläggningens förbrukning (hela anläggningen = hus I-O inkl. överglasning). Denna uppskattning är dock ganska osäker. Under de sex åren varierar hus O:s andel av förbrukningen mellan 23 och 30 %, och om dessa minimala respektive maximala andelar antas även för 1985-88 motsvarar detta mellan drygt 100 respektive nästan 800 MWh/år för golvvärmeslingorna. Uppskattningsvis har golvvärmeslingornas verkliga förbrukning varit 300 - 700 MWh/år, vilket är något lägre än de tidigare uppskattade 400 - 800 MWh/år, se Öman (1991).

Energiförbrukning för hus O  
inkl. golvvärme, MWh/år



Figur 7.6. Energiförbrukning vid undercentralen i hus O i Skärholmens Centrum. Efter 1984 ingår även förbrukningen för de golvvärmeslingor som värmer de överglasade gågatorna.

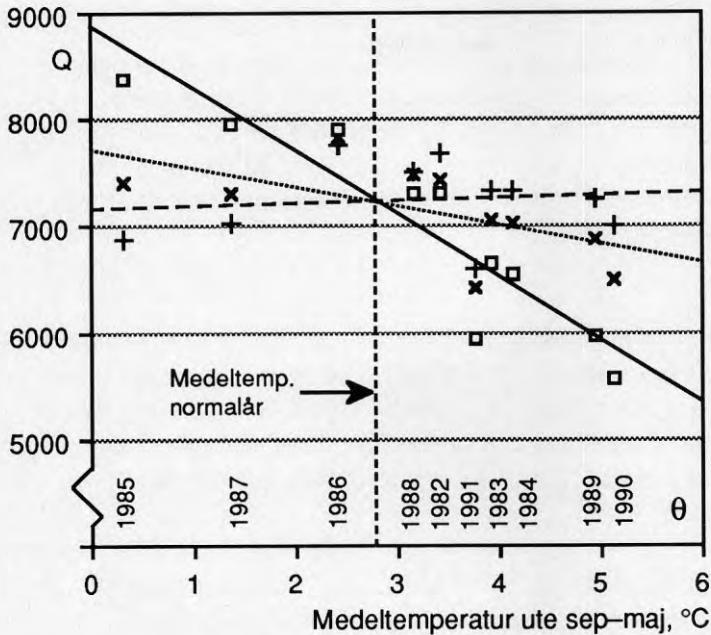
Att golvvärmen var i drift 1985–88 framgår tydligt av den högre förbrukningen vid denna undercentral. Den exakta energiförbrukningen för golvvärmen är dock okänd, och angivna värden är endast en uppskattning.

■ Golvvärme (uppskattad andel)

Normalårskorrekturen för hus O har liksom för hela anläggningen gjorts utifrån riktningskoefficienter med enheten MWh/mån °C enligt föregående avsnitt. För hus O har dock olika värden på riktningskoefficienterna använts för de tre perioderna 1982–84, 85–88 och 89–91. Detta motiveras av att förbrukningen varierar betydligt mer för hus O än för hela anläggningen. Skillnaden mellan den årsvisa energiförbrukningen för hus O med tre olika respektive ett enda värde på riktningskoefficienten är som mest 3 %.

Den årsvisa energiförbrukningen för hela anläggningen har tidigare visats i figur 7.4. I figur 7.7 visas motsvarande värden för september – maj med samma normalårskorrektion som tidigare (med MWh/mån °C), och dessutom förbrukningen korrigerad med graddagar till 22 °C och utan normalårskorrektion, se bilaga 1. Energiförbrukningen för de 10 åren visas i figur 7.7 som funktion av aktuell medeltemperatur ute. Utan korrektion är sambandet energiförbrukning – utetemperatur mycket tydligt, med i genomsnitt 585 MWh högre förbrukning per °C lägre utetemperatur. Detta värde motsvarar genomsnittet 65 MWh/mån °C för de nio månaderna, vilket ganska väl motsvarar det tidigare uträknade värdet per månad, 67,7 i tabell 1 i bilaga 1.

Energiförbrukning, MWh/år sep-maj



—	□	Utan korrektion	$Q = 8864 - 585 \theta$	$r = 0,92$
⋯	×	Graddagar till 22 °C	$Q = 7721 - 181 \theta$	$r = 0,62$
- - -	+	MWh/mån °C	$Q = 7161 + 23 \theta$	$r = 0,09$

Figur 7.7. Normalårskorrigerad energiförbrukning för perioden september – maj som funktion av medeltemperaturen ute. Efter normalårskorrigerad med graddagar till 22 °C finns tendens till lägre energiförbrukning vid högre utetemperatur.

Efter normalårskorrektion med graddagar till 22 °C finns alltså en ganska tydlig tendens till högre energiförbrukning vid lägre utetemperatur. Detta motsvarar att graddagar till 22 °C ger en underkorrektion, alltså att förbrukningen vid låg utetemperatur blir för hög och tvärtom. Detta resultat är logiskt, eftersom dessa graddagar kan sägas försumma inverkan av basvärme och solinstrålning. Med t ex graddagar till 17 °C erhålls också större korrektion, alltså korrektionsfaktorer som avviker mer från värdet 1.

Resultatet med graddagar till 22 °C i figur 7.7 skulle ha kunnat motsvara en bra normalårskorrektion, om det av en tillfällighet fanns ett klart samband mellan lägre utetemperatur och högre normalårskorrigerad energiförbrukning. Studier av enstaka månadsvärden bekräftar dock att resultaten i figur 7.7 inte är någon tillfällighet. Med den korrektion som använts, med MWh/mån °C, visar förbrukningen knappast någon systematisk variation med aktuell utetemperatur, d v s detta tycks bekräfta att denna korrektion är den bästa. Vid medeltemperaturen ett normalår, 2,8 °C för september – maj, möts de tre

linjerna i figur 7.7, eftersom detta motsvarar att korrektionen i genomsnitt är noll.

I tabell 7.2 ges en sammanfattning av hur energiförbrukningen förändrats efter överglasningen. Resultaten "enligt ekvationer" är beräkningar direkt utifrån ekvationerna i tabell 7.2 för nov-mar, apr-maj + sep-okt och jun-aug med utetemperaturen ett normalår. Denna metod ger resultat som är relativt lika resultaten med MWh/mån °C, trots att de senare beräknats med samma korrektion för hela 10-årsperioden.

*Tabell 7.2. Jämförelse av genomsnittlig energiförbrukning per år för hus I-O i Skärholmens Centrum före och efter överglasningen i slutet av 1984. Före överglasning avser medelvärdet 1982-84 och efter överglasning avser medelvärdet 1985-91 (hela perioden och uppdelad på två olika perioder). Aktuell medeltemperatur samt avvikelse från medeltemperaturen ett normalår:*

<u>Period</u>	<u>Före / efter överglasning</u>	<u>Medeltemp. september-maj</u>	
		<u>Aktuell</u>	<u>Avvikelse</u>
1982-84	Före	3,8 °C	+1,0 °C
1985-91	Efter, hela perioden	3,0 °C	+0,2 °C
1985-88	Efter, med golvvärme	1,8 °C	-1,0 °C
1989-91	Efter, utan golvvärme	4,6 °C	+1,8 °C

*Resultat med uppmätt energiförbrukning utan korrektion och med tre olika metoder för korrektion till normalår, se bilaga 1. Korrektion "enligt ekvationer" avser ekvationerna i tabell 1 i bilaga 1 för energiförbrukning per månad som funktion av aktuell månadsmedeltemperatur.*

Period efter överglasning med / utan golvvärmen i drift	Förändrad energiförbrukning efter överglasning i jämförelse med perioden 1982-84			
	Utan korrektion	Graddagar till 22 °C	MWh/mån °C	Enligt ekvationer
1985-91, hela perioden	+2,6 %	-0,5 %	-3,5 %	-5,0 %
1985-88, med golvv.	+15,0 %	+4,7 %	-1,5 %	-2,2 %
1989-91, utan golvv.	-13,8 %	-7,4 %	-6,1 %	-8,8 %

Med graddagar till 22 °C erhålls som visats i figur 7.7 en underkorrektion, vilket i tabell 7.2 medför att energiförbrukningen den kallaste perioden, 1985–88, tycks ha ökat med 5 %, när den med övriga metoder har minskat något. Resultaten med graddagar till 22 °C har medtagits mest som en jämförelse.

Bästa normalårskorrigerad bedöms i detta fall erhållas med MWh/mån °C och direkt enligt ekvationer. Den osäkerhet som trots allt kvarstår även efter korrektion med dessa metoder är av allt att döma liten i förhållande till den osäkerhet som erhålls av att styrningen av värme- och ventilationssystemen successivt förändras.

Sammanfattningsvis har anläggningens genomsnittliga energiförbrukning minskat 3–5 % efter överglasningen; minskningen är 1–2 % när överglasningen aktivt har värmts med golvvärme och 6–9 % när överglasningen endast har värmts passivt av omgivande byggnader. Den specifika energiförbrukningen per m<sup>2</sup> golvareal har på motsvarande sätt minskat efter överglasningen med 9–10 %, 7–8 % respektive 11–14 %. Som framgår av kapitel 4 och 5 har detta mycket goda resultat uppnåtts samtidigt som det termiska klimatet i de överglasade gågatorna i huvudsak är bra.

Redovisade värden på energiförbrukning i detta avsnitt inkluderar inte el. I omgivande byggnader används el endast på några enstaka ställen för uppvärmning. I och med överglasningen tillkom behov av el till vissa entrévärmare, ventilationsfläktar och litet extra belysning. En uppskattning av hur anläggningens elförbrukning har påverkats av överglasningen görs i avsnitt 7.5.1, där även anläggningens kylbehov mycket kortfattat diskuteras.

## 7.4 Stationära beräkningar av energibalans

I detta avsnitt redovisas några resultat av enkla "handberäkningar" av energibalansen vid stationära förhållanden. Detta kompletterar den mer omfattande redovisningen av energibalansen utifrån datorberäkningar, avsnitt 7.5.

Det är sex stora huskroppar i Skärholmens Centrum, hus I–O, som berörs av överglasningen, där hus L till nästan hälften ligger helt utanför överglasningen. Av sektionerna i kapitel 3 framgår att överglasningen, trots sin storlek, faktiskt framstår som relativt liten i jämförelse med de mycket stora omgivande huskropparna. Om man ser till storleken motsvarar hus I–O med sina närmare 70 000 m<sup>2</sup> golvarea ca 600 småhus (120 m<sup>2</sup> / småhus), medan de överglasade gågatorna motsvarar ca 30 småhus. Genom överglasningen har anläggningens golvarea ökat 6 %, dess volym har ökat 13 % och det projekterade uteluftsflödet har ökat 6 %. Av de sex huskropparnas totala fasadyta vetter 32 % mot överglasningen.

Det enklaste är att studera en stationär energibalans. För en överglasad anläggning kan man skilja på värmetransport:

- mellan överglasning och det fria
- mellan överglasning och omgivande byggnader
- mellan omgivande byggnader och det fria.

Vid en stationär beräkning försummas inverkan av termisk tröghet. För att kvantifiera en byggnads termiska tröghet kan man lite förenklat beräkna en tidskonstant,  $T$  (h):

$$T = M / B \quad (7.1)$$

där  $M$  = tillgänglig värmekapacitet (för t ex dygnssvängning) (Wh/°C)  
 $B$  = byggnadens totala värmeförl. (transmission+ventilation) (W/°C).

Värmeförlusterna har alltså lika stor betydelse för byggnadens termiska tröghet som värmekapaciteten. Moderna byggnader har oftast förhållandevis små värmeförluster, vilket medför lång tidskonstant. Överglasningar har i detta sammanhang väsentligt andra egenskaper, där främst stora transmissionsförluster i stället medför relativt kort tidskonstant. Om man jämför med betongytor har de glasade ytorna i sig också mycket låg värmekapacitet. För

de överglasade gågatorna har tidskonstanten beräknats till ca 18 h respektive ca 28 h när golvvärmslingorna är i drift respektive avstängda, d v s golvet bidrar med ca 10 h till tidskonstanten. Dessa värden på tidskonstanten är inte exakta och beror på hur mycket av omgivande ytors värmekapacitet som medräknas. För omgivande byggnader är tidskonstanten uppskattningsvis av storleksordningen 100 h. I jämförelse med omgivande byggnader är alltså den termiska trögheten för överglasningen betydligt mindre, vilket ökar möjligheterna till rimliga resultat med stationära beräkningar.

Värmetransporten (värmeförlusterna) utgörs av transmissions- och ventilationsförluster. Genom att summera produkten av U-värde och area för samtliga delytor har transmissionsförlusterna kunnat sammanställas för hela anläggningen, d v s överglasning + omgivande byggnader. Ventilationsförlusterna har bestämts med hänsyn till projekterade uteluftsflöden för den mekaniska ventilationen, värmeväxlare, drifttider, bestämt överluftsflöde genom öppna butiksentréer och antagen luftläckning. Genom att addera genomsnittliga ventilations- och transmissionsförluster erhålls ett värde på en byggnads totala värmetransport uttryckt i  $W/^\circ C$ . I tabell 7.3 har sammanställts totala värden för Skärholmens Centrum, där värmetransporten gäller per  $^\circ C$  temperaturskillnad dels mellan inne- och uteluft och dels mellan luft i överglasning och omgivande byggnader.

Förutom värdena i tabell 7.3 tillkommer viss värmetransport genom golv till källarvåning respektive lastgator. Denna värmetransport påverkas inte direkt av utetemperaturen. Med gjorda antaganden kan dock denna värmetransport räknas om till fiktiva värden, där genomsnittlig värmetransport under uppvärmningssäsongen sätts i relation till genomsnittlig temperaturskillnad inne-ute. Detta ger resultat som möjliggör en jämförelse med värdena i tabell 7.3. Resultatet är  $0,7 \text{ kW}/^\circ C$  värmetransport mellan överglasning och lastgator och  $3,0 \text{ kW}/^\circ C$  mellan omgivande byggnader och källarvåning, vilket motsvarar 6 respektive 4 % av total värmetransport inne-ute. Värmetransporten mellan överglasning och lastgator har kunnat uppskattas utifrån temperaturmätningar, och gäller endast med golvvärmen i drift (utan golvvärme är denna värmetransport beräkningsmässigt nära noll). Värmetransporten mellan omgivande byggnader och källarvåning är i detta fall endast en grov uppskattning.

Av tabell 7.3 framgår att av omgivande byggnaders värmetransport sker endast en mindre del, 16 %, mot överglasningen. Förhållandet är det motsatta för överglasningen, där 64 % av värmetransporten sker mot omgivande byggnader och alltså 36 % mot uteklimatet. För överglasningen dominerar transmissionsförlusterna medan ventilationsförlusterna dominerar för omgivande byggnader.

Tabell 7.3. Sammanställning av total värmetransport vardagar i Skärholmens Centrum dels från omgivande byggnader, hus I-O, och dels från de överglasade gågatorna. Kolumnen "mot" anger att en uppdelning gjorts i den del av värmetransporten som sker mot överglasning / hus I-O respektive mot det fria. Värmetransport p g a ventilation avser naturligtvis den värmande eller kylande effekt som tillförd luft har på respektive byggnad.

Byggnad	Mot	Medelvärde under	Värmetransport, kW/°C		
			Transmission	Ventilation	Totalt
Hus I-O	övergl.	dygnet	12,3	2,5	14,8
"	ute	"	21,1	55,2	76,3
"	totalt	"	33,4	57,7	91,1
Övergl.	hus I-O	dygnet	12,3	8,6	20,9
"	ute	"	8,8	3,0	11,8
"	totalt	"	21,1	11,6	32,7
Övergl.	hus I-O	dagen	12,3	20,6	32,9
"	ute	"	8,8	3,9	12,7
"	totalt	"	21,1	24,5	45,6
Övergl.	hus I-O	natten	12,3	0	12,3
"	ute	"	8,8	2,0	10,8
"	totalt	"	21,1	2,0	23,1

Värmetransporten p g a transmission är förhållandevis stor mellan överglasning och omgivande byggnader, 12,3 kW/°C. Huvuddelen (86 %) av denna transmission sker genom ca 2 000 m<sup>2</sup> skyltfönster med enkelglas. Värmetransport p g a ventilation mellan överglasning och omgivande byggnader beror på överluftsflöde (luftutbyte) genom öppna butiksentréer. Den ungefärliga storleken på detta överluftsflöde har bestämts genom mätningar, se avsnitt 6.2.

Överluftsflödet genom öppna butiksentréer är begränsat till butikernas öppettider, eftersom entréerna är stängda övriga tider. Detta medför att värmetransporten (värmeutbytet) mellan överglasning och omgivande byggnader är väsentligt olika dagtid och natttid. Detta framgår av tabell 7.3, där



överglasningen nattetid värms av transmission från omgivande byggnader (12,3 kW/°C). Dagtid värms (kyls) överglasningen även av överluft genom öppna butiksentréer, varför den totala värmetransporten blir 32,9 kW/°C. Andelen av överglasningens totala värmetransport som sker mot omgivande byggnader är nattetid 53 % och dagtid 72 %.

## ÖVERGLASNINGENS INVERKAN PÅ OMGIVANDE BYGGNADERS ENERGIBEHOV FÖR UPPVÄRMNING

Utifrån beräknad värmetransport kan en enkel uppskattning göras av hur omgivande byggnaders energibehov för uppvärmning påverkas av att gågatorna överglasas, där golvvärmen förutsätts avstängd. Utan överglasning är omgivande byggnader värmetransport 91,1 kW/°C mot det fria, där detta värde med överglasning fördelar sig på 76,3 kW/°C mot det fria och 14,8 kW/°C mot överglasning. I båda fallen tillkommer värmetransporten genom golv, som uppskattats till det fiktiva värdet 3,0 kW/°C.

Med uppvärmningssäsongen 15 sep – 15 maj är medeltemperaturen ute 1,7 °C. Med förutsättningarna till datorberäkningarna är dygnsmedeltemperaturen i omgivande byggnader oftast 19,9 °C under uppvärmningssäsongen (börvärde 21 °C dagtid och 19 °C nattetid). För överglasning utan golvvärme ger mätresultaten enligt figur 5.13 dygnsmedeltemperaturen 15,3 °C vid 1,7 °C ute. Detta medför att omgivande byggnaders värmetransport mot överglasning, 14,8 kW/°C, skulle motsvara följande värmetransport mot det fria:

$$\frac{(19,9 - 15,3)}{(19,9 - 1,7)} \cdot 14,8 = 3,7 \text{ kW/°C}$$

Detta medför  $91,1 + 3,0 = 94,1$  kW/°C före överglasning och  $76,3 + 3,7 + 3,0 = 83,0$  kW/°C efter överglasning. En grov uppskattning av energibesparingen p g a överglasning blir då  $(94,1 - 83,0) / 94,1 = 12 \%$ .

Om överglasning förutsätts vara utan aktiv uppvärmning kan denna stationära beräkning relativt enkelt göras vid t ex projektering av en överglasning. Vid projektering är man dock hänvisad till att beräkningsmässigt uppskatta överglasningens medeltemperatur.

## STATIONÄR BERÄKNING AV INNETEMPERATUREN

Bestämningar visar att lufttemperaturen under överglasningen vintertid följer en kraftig dygnsvägning, se kapitel 5. Med en enkel teoretisk beräkning görs i det följande ett försök till en kvantitativ förklaring till denna dygnsvägning. Av figur 7.8 framgår de storheter som används. Där indata är jämförbara är de i huvudsak desamma som vid datorberäkningarna.

En enkel energibalans (egentligen effektbalans) vid stationära förhållanden kan ställas upp för överglasningen utifrån att tillförd = bortförd energi:

$$B_b \cdot (\theta_b - \theta_{\ddot{o}}) + P_{\ddot{o}} = B_u \cdot (\theta_{\ddot{o}} - \theta_u) \quad (7.2)$$

där, se även figur 7.8:

$\theta_b$  = Lufttemperatur i omgivande byggnader. Dag: 21 °C. Natt: 19 °C.

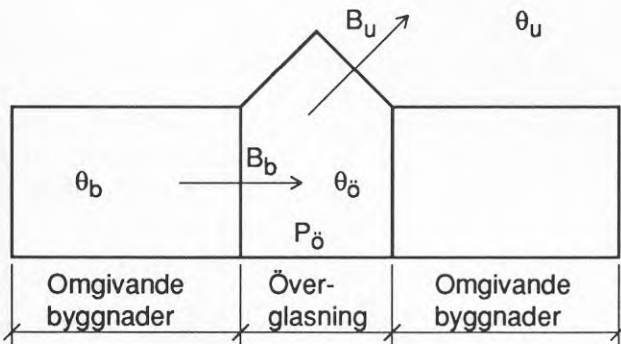
$\theta_u$  = Lufttemperatur ute, °C.

$\theta_{\ddot{o}}$  = Lufttemperatur under överglasningen, °C. Beräknas.

$B_b$  = Total värmetransport från omgivande byggnader till överglasning.  
Dag: 32,9 kW/°C. Natt: 12,3 kW/°C.

$B_u$  = Total värmetransport från överglasning mot uteklimatet.  
Dag: 12,7 kW/°C. Natt: 10,8 kW/°C.

$P_{\ddot{o}}$  = Värmetillförsel under överglasningen, kW. Detta motsvarar summan av belysning m m och personvärme vid datorberäkningarna.  
Dag: 80 kW nov–mar och 60 kW apr–okt. Natt: 10 kW (nattbelysning). För golvvärmen är maximala effekten 200 kW, och uppvärmning sker till 17 °C innetemperatur.



Figur 7.8. Stationär värmetransport till och från överglasningen i Skärholmens Centrum. Med dessa storheter kan en mycket enkel stationär beräkning göras av temperaturen under överglasningen, se ekv 7.2 och 7.3.

Den sökta temperaturen under överglasningen,  $\theta_{\delta}$ , kan enkelt lösas ur ekv (7.2):

$$\theta_{\delta} = \frac{B_b \cdot \theta_b + B_u \cdot \theta_u + P_{\delta}}{B_b + B_u} \quad (7.3)$$

Värmetransporten,  $B$ , har p g a aktuella temperaturer i de flesta fall den riktning som pilarna i figur 7.8 visar, alltså att överglasningen värms av omgivande byggnader och kyls mot det fria. Överluften från omgivande byggnader till överglasningen värmer i de flesta fall överglasningen och har alltså samma riktning som värmetransporten. Uteluftsflödet till överglasningen motsvarar dock i de flesta fall en kylning, varför luftflöde och värmetransport i detta fall har motsatt riktning.

Med aktuella indata erhålls följande ekvationer för temperaturen i de överglasade gågatorna:

$$\text{Dag: } \theta_{\delta} = 15,2 + 0,28 \cdot \theta_u + \frac{P_{\delta}}{46} \quad (7.4)$$

$$\text{Natt: } \theta_{\delta} = 10,1 + 0,47 \cdot \theta_u + \frac{P_{\delta}}{23} \quad (7.5)$$

Vid stationära förhållanden behövs alltså 46 kW dagtid för att höja temperaturen 1 °C, medan det räcker med hälften av denna effekt nattetid. Denna skillnad mellan dag och natt orsakas av att värmetillskott dagtid i högre grad reducerar värmetransporten från omgivande byggnader, som är högre dagtid p g a överluftsflödet. Med ekv (7.4) och (7.5) har temperaturen under överglasningen beräknats vid några olika utetemperaturer med och utan golvvärmen i drift. Resultatet framgår av tabell 7.4, där en jämförelse görs med uppmätta värden. En riktigt exakt jämförelse mellan beräknade och uppmätta värden är svår att göra, eftersom temperaturskillnader såväl horisontellt som vertikalt gör det svårt att uppskatta en medeltemperatur för den stora luftvolymen under överglasningen.

Som framgår av tabell 7.4 erhålls i huvudsak en relativt god uppskattning av innetemperaturen med en enkel stationär beräkning, trots att det handlar om en betydande dygnssvängning, d v s icke-stationära förhållanden. Värdena med golvvärme och -15 °C utetemperatur kan jämföras med datorberäknade värden enligt figur 7.19. Dagtid, kl 12–18, blir innetemperaturen lika både med stationär beräkning och med datorberäkning, eftersom golvvärmen

Tabell 7.4. Beräknad temperatur under överglasningen vid stationära förhållanden. Förutsättningar framgår av figur 7.8 och ekv (7.2). Uppmätt temperatur avser medelvärden från figurerna 5.10 och 5.13. Temperaturskillnaden mellan dag och natt går alltså i huvudsak att påvisa med en enkel stationär beräkning.

Antagen utetemperatur, °C	Med/utan golvvärme	Innetemperatur i de överglasade gågatorna, °C			
		Dag, beräknad	Dag, uppmätt	Natt, beräknad	Natt, uppmätt
15	utan	20,7	21,8	17,6	19,0
5	utan	17,9	17,8	12,9	15,0
-5	med golvv.	17,0	18,0	16,9	13,8
-5	utan	15,5	15,8	8,2	10,6
-15	med golvv.	17,0	16,4	12,2	12,2
-15	utan	12,7	14,0	3,5	6,4

dagtid i båda fallen (natt och jämnt) räcker till för att uppnå börvärdet 17 °C. Nattetid räcker inte golvvärmens effekt för att uppnå 17 °C; den stationära beräkningen ger resultatet 12 °C medan datorberäkningen visar att innetemperaturen kl 00–06 sjunker från ca 15 till 14 °C. Att högre temperatur erhålls med datorberäkningarna nattetid är logiskt med hänsyn till termisk tröghet. Den datorberäknade innetemperaturen i figur 7.19 ändras på ca 4 timmar, kl 08–12, från s a s natt- till dagtemperatur, vilket överensstämmer väl med resultat enligt mätningarna.

Sammanfattningsvis tyder resultatet på att man vid t ex projektering av en överglasning kan få en relativt god uppfattning om innetemperaturen genom en stationär beräkning avseende förhållandena dag- respektive nattetid. Med förutsättningarna i Skärholmens Centrum betyder överluftsfördelningen dagtid mest för skillnaden mellan dag och natt vintertid.

## 7.5 Datorberäknad energibalans

I detta avsnitt redovisas resultaten från datorberäkningar av energibalansen för den överglasade delen av Skärholmens Centrum. Avslutningsvis ges kortfattat några erfarenheter från själva arbetet med dessa beräkningar. Det datorprogram som använts, BRIS, datormodell och indata beskrivs i bilaga 2. Samtliga värden avser ett normalår enligt avsnitt 7.2.

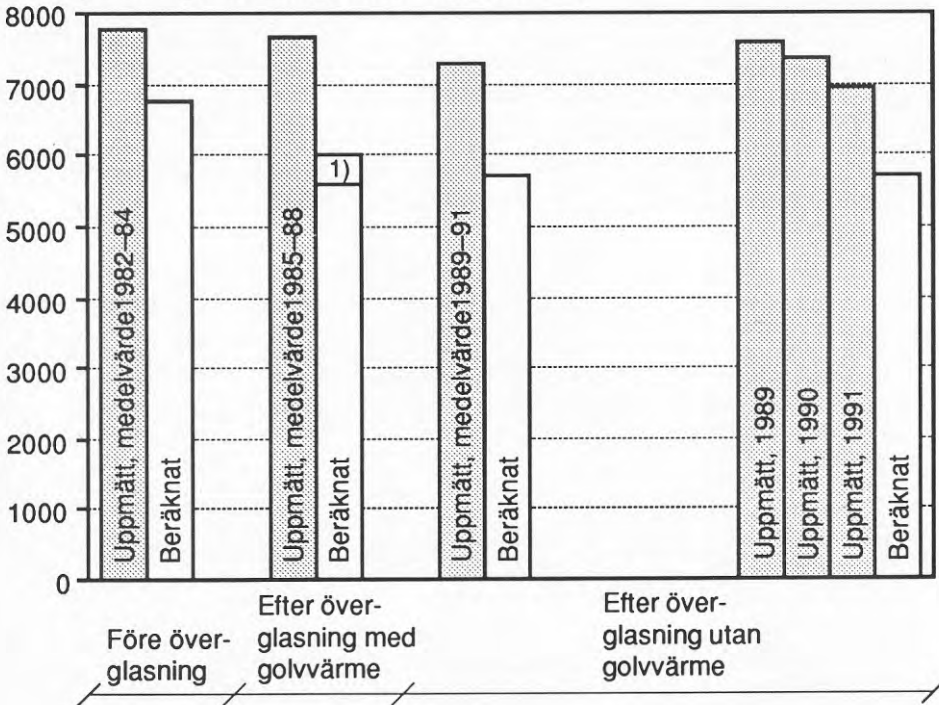
Datorberäkningarna har gjorts timme för timme, varefter resultaten har summerats för dygn, månader och år. I avsnitt 7.5.1 redovisas energibalansen för månader och år (uppvärmningssäsongen), där beräknad energiförbrukning för uppvärmning jämförs med uppmätta värden, se avsnitt 7.3. I avsnitt 7.5.2 framgår energibalans och temperatur för enstaka dygn.

### 7.5.1 Energibalans för månader och år

Beräknat energibehov (energiförbrukning) för enbart uppvärmning av såväl överglasning som omgivande byggnader framgår av figur 7.9 – 7.11. Beräknad energiförbrukning är genomgående lägre än uppmätt (verklig) förbrukning. Före överglasning är beräknad förbrukning 13 % lägre än medelvärdet av uppmätt förbrukning. Efter överglasning är beräknad förbrukning 22 % lägre såväl med som utan golvvärme. Om man bortser från sommarmånaderna juni – augusti minskar skillnaden mellan beräknad och uppmätt förbrukning från 13–22 % till 9–18 %.

Beräkningsmässigt föreligger inget uppvärmningsbehov juni – augusti, samtidigt som dock uppmätt förbrukning av uppvärmningsenergi sommartid inte är försumbar, se figur 7.10 – 7.11 (uppmätt förbrukning för uppvärmning sommartid är eventuellt något lägre om verklig tappvarmvattenförbrukning är högre än den antagna, se avsnitt 7.3). Beräkningsresultaten visar att huvuddelen av uppvärmningsenergin sommartid sannolikt används i onödan, d v s att här finns en potential för energibesparing. Det kan inte uteslutas att uppvärmning sommartid i vissa fall sker samtidigt med kylning, vilket i så fall orsakar onödig energiförbrukning för såväl uppvärmning som kylning. Ett mycket litet uppvärmningsbehov sommartid kan dock tänkas föreligga för t ex vissa lokaler mot norr som samtidigt har små energitillskott från belysning m m och personvärme. En viss osäkerhet finns också om värme-

Energiförbrukning för uppvärmning, MWh/år.  
Överglasning och omgivande byggnader.



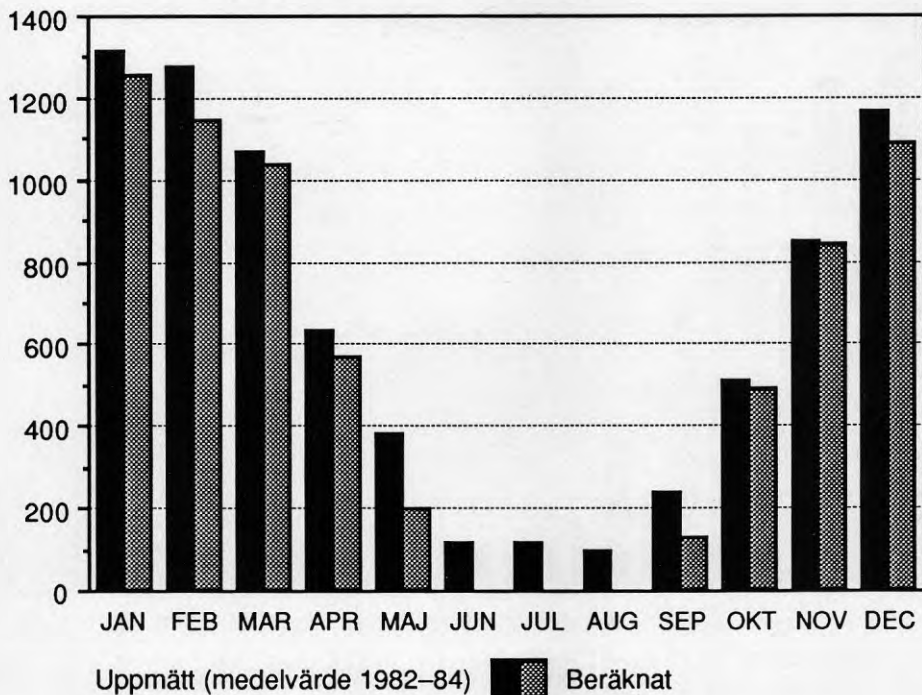
1) Golvvärme för uppvärmning av överglasning.

Figur 7.9. Beräknad och uppmätt energiförbrukning för uppvärmning. Före överglasning avser endast omgivande byggnader (hus I-O), medan efter överglasning även inkluderar de överglasade gångatorna med respektive utan aktiv uppvärmning med golvvärme. Under 1989-91 har man lyckats att successivt minska energiförbrukningen.

förlusterna till mark från källarvåningen kan tänkas medföra ett visst uppvärmningsbehov sommartid.

I det följande jämförs beräknat uppvärmningsbehov i första hand med uppmätt energiförbrukning exklusive förbrukningen juni - augusti. Denna jämförelse bedöms som mest relevant, eftersom såväl dessa beräkningsresultat som erfarenheter från andra byggnader visar att uppvärmningsbehovet sommartid är noll eller försumbart.

Energiförbrukning för uppvärmning, MWh/mån.  
Omgivande byggnader före överglasning

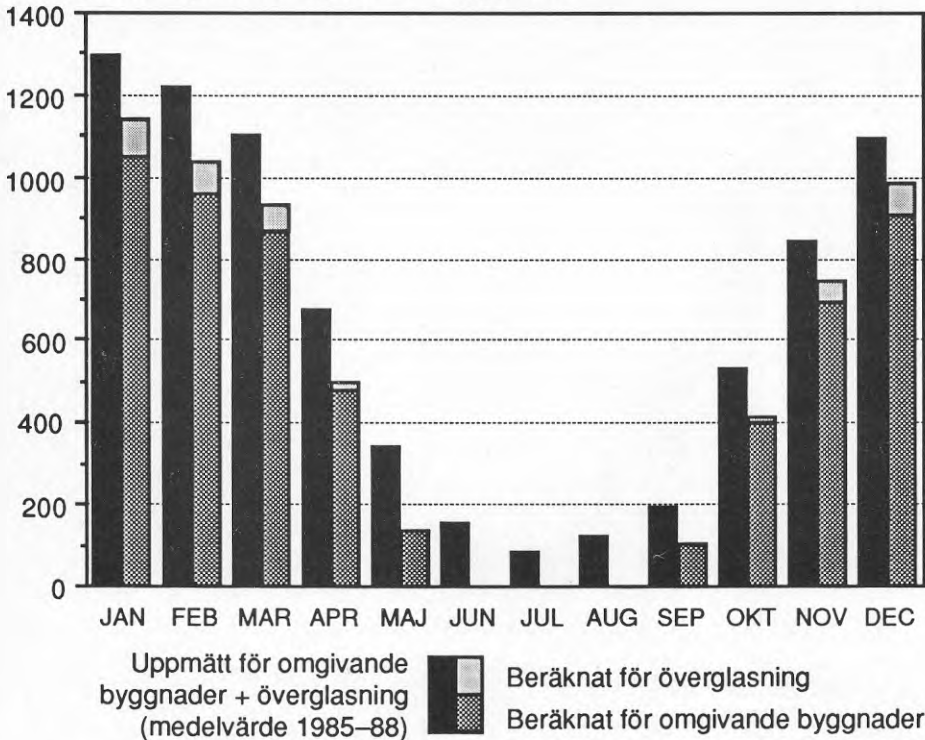


Figur 7.10. Beräknad och uppmätt energiförbrukning för uppvärmning av omgivande byggnader (hus I-O) innan överglasningen byggdes, alltså med helt öppna gågator. Beräkningarna visar här en potential att spara energi sommartid.

Skillnaden mellan beräknad och uppmätt förbrukning kan mycket väl förklaras av att vissa indata vid beräkningarna avviker från verkliga värden. För omgivande byggnader är ventilationsförlusterna dominerande; före respektive efter överglasning utgör ventilationsförlusterna 61 % respektive 67 % av omgivande byggnaders energiförluster med aktuella indata och stationära förhållanden. Ventilationsförlusterna orsakas av både mekanisk ventilation och luftläckning, och för omgivande byggnader är osäkerheten betydande för båda dessa värden.

Som framgår av tabell 6.1 har 70 % återluftsgrad förutsatts för omgivande byggnader. Om man i praktiken i stället har t ex 60 % återluftsgrad ökar de totala värmeförlusterna från omgivande byggnader med 18 % före och 20 % efter överglasning. Om dessa ökade värmeförluster helt kompenseras med

Energiförbrukning för uppvärmning, MWh/mån.  
Överglasning och omgivande byggnader



Figur 7.11. Beräknad och uppmätt energiförbrukning för uppvärmning av överglasade gågator och omgivande byggnader (hus I-O). Aktiv uppvärmning av gågatorna med golvvärme har förutsatts vid beräkningarna, och uppmätta värden avser den period när golvvärmen var i drift, 1985-88.

uppvärmning ökar uppvärmningsbehovet med hela 26 respektive 31 % före respektive efter överglasning med 60 % återluftsgrad i stället för 70 %. Om man i stället räknar med luftläckningen 0,2 oms/h i stället för det antagna värdet 0,1 ökar uppvärmningsbehovet på motsvarande sätt med 12 respektive 14 %. Beräknat uppvärmningsbehov är alltså kraftigt beroende av ventilationstekniska indata, och detta kan mycket väl förklara hela skillnaden mellan beräknat och verkligt uppvärmningsbehov.

Genom att anta återluftsgraden 66 i stället för 70 % erhålls ett beräknat uppvärmningsbehov före överglasning som är lika stort som uppmätt energiförbrukning exklusive juni - augusti. Återluftsgraden 66 % ger härigenom en "nollställning", genom att beräknad = uppmätt förbrukning före överglas-



ning, varigenom även beräknad och uppmätt förbrukning efter överglasningen blir direkt jämförbar. I tabell 7.5 har sammanställts årssummor av uppvärmningsbehovet med dessa förutsättningar. Beräknad förbrukning i tabell 7.5 är sålunda den datorberäknade förbrukningen med en korrektion (ökning) för att ventilationsförlusterna ökar med 674 MWh/år med 66 i stället för 70 % återluftsgrad.

Utifrån medelvärden av uppmätt energiförbrukning för uppvärmning har förbrukningen minskat med 2 respektive 7 % efter överglasning med respektive utan golvvärmen i drift. Motsvarande beräknade värden är 10 respektive 14 %, vilket tyder på att överglasningen medfört en potential för energibesparing som bara delvis har utnyttjats.

*Tabell 7.5. Sammanställning av energiförbrukning för uppvärmning av överglasning och omgivande byggnader. Efter överglasning redovisas med den aktiva uppvärmningen av överglasningen med golvvärme i drift respektive avstängd. För den beräknade förbrukningen har en justering av ventilationsförlusterna gjorts så att beräknad = uppmätt förbrukning före överglasning. Uppmätta värden är exklusive förbrukningen juni – augusti.*

Uppmätt år	Uppvärmningsenergi, MWh/år		Besparing efter jämfört med före överglasning	
	Uppmätt	Beräknad	Uppmätt	Beräknad
<u>Före överglasning</u>				
Medelvärde 1982–84	7443	7443	–	–
<u>Efter överglasning med golvvärme</u>				
Medelvärde 1985–88	7291	6677	2,0 %	10,3 %
<u>Efter överglasning utan golvvärme</u>				
Medelvärde 1989–91	6954	6393	6,6 %	14,1 %
1989	7257	6393	2,5 %	14,1 %
1990	7009	6393	5,8 %	14,1 %
1991	6594	6393	11,4 %	14,1 %

Som exempel kan nämnas att ökat uteluftsflöde i omgivande byggnader (i stället för minskad värmeförlust) i praktiken kanske i hög grad kompenserar för de minskade värmeförluster från omgivande byggnader som överglasningen medför. Förhållandena kan då jämföras med t ex ett småhus, om "vinsten" av en tilläggsisolering "tas ut" genom ökad fönstervädring (ventilation), i stället för energibesparing genom minskad värmeförlust.

Allmänt gäller att energiförbrukningen för en byggnad varierar främst med följande tre vitt skilda faktorer:

- byggnadens tekniska/termiska egenskaper
- uteklimatet
- förvaltarens åtgärder och användarnas vanor.

Den stora betydelsen av den sistnämnda faktorn framgår t ex av Lundström (1986) och Höglund et al. (1990), där olika boendevanor i småhus medför att den totala energiförbrukningen skiljer så mycket som förhållandet 1 : 2 mellan hushåll med lägst respektive högst förbrukning. För stora anläggningar, som t ex Skärholmens Centrum, har förvaltarens åtgärder mycket stor betydelse, se t ex den mycket kraftiga energibesparing som framgår av figur 7.3.

Intressant i detta sammanhang är att den uppmätta besparingen utan golvvärmens i drift 1989–91 successivt har ökat från 2 till 11 %, d v s besparingen har successivt kommit närmare det beräknade värdet 14 %. Den teoretiska potential till energibesparing som överglasningen medfört utnyttjas alltså allt bättre, vilket kan förklaras av successivt ändrad drift av omgivande byggnaders uppvärmnings- och ventilationssystem.

Den besparing som utifrån datorberäkningarna med BRIS erhålls med överglasning utan golvvärmens i drift, 14 %, kan jämföras med beräknad besparing utifrån en enkel stationär energibalans enligt avsnitt 7.4; 12 %. Överensstämmelsen är alltså god, men kan delvis förklaras av att uppmätt medeltemperatur för överglasningen använts vid den stationära beräkningen. Den besparing som utifrån BRIS-beräkningarna erhålls med överglasning med golvvärmens i drift, 10 %, kan jämföras med en tidigare beräknad besparing med det förhållandevis enkla datorprogrammet AUTSOL; 14 %, se Öman (1991). Överensstämmelsen är alltså relativt god trots de stora skillnader som finns mellan dessa datorprogram. De indata som använts till båda programmen var i huvudsak desamma, men indata till BRIS är mycket mer omfattande.

Överensstämmelsen är alltså relativt god mellan resultaten med ett relativt komplicerat datorprogram (BRIS), med ett relativt enkelt datorprogram

(AUTSOL) och även med enkla stationära beräkningar. Denna överensstämmelse ger förhållandevis säkra slutsatser när det gäller överglasningens inverkan på uppvärmningsbehovet, även om överensstämmelsen i hög grad beror på likartade indata vid beräkningarna.

Energibehovet för uppvärmning av de överglasade gågatorna med golvvärme är enligt beräkningarna 407 MWh/år, vilket motsvarar 6 % av beräknat energibehov för uppvärmning av hela anläggningen, alltså överglasning + omgivande byggnader. Detta resultat är mycket rimligt i jämförelse med att uppskattad verklig förbrukning för golvvärmeslingorna varit 300–700 MWh/år 1985–88 enligt avsnitt 7.3.

En del av energin som tillförs golvvärmeslingorna kan transmittas nedåt till underliggande lastgator. Med en stationär beräkning och samma indata som vid datorberäkningarna har denna värmetransport grovt uppskattats till 46 MWh/år, vilket motsvarar 11 % av beräknade 407 MWh/år. Med golvvärmeslingorna avstängda blir denna värmetransport beräkningsmässigt nära noll, eftersom temperaturskillnaden mellan överglasning och lastgator då är mycket liten.

Det kan tilläggas att utifrån den ursprungligt beräknade energiförbrukningen med 70 % återluftsgard blir golvvärmens andel aningen större, 7 i stället för 6 % enligt ovan. På motsvarande sätt (med 70 % återluftsgard) blir energibesparingen tack vare överglasningen 11 respektive 16 % med respektive utan golvvärme, alltså något större än de 10 respektive 14 % som framgår av tabell 7.5. För jämförelsen av den uppmätta förbrukningen före och efter överglasning har det mindre betydelse om man tar hänsyn till förbrukningen juni – augusti, vilket framgår om man jämför de procentuella besparingarna enligt tabellerna 7.2 och 7.5.

I figur 7.12 – 7.16 visas energibalansen för såväl överglasning som omgivande byggnader månadsvis och för hela uppvärmningssäsongen. Redovisade värden motsvarar den ursprungliga beräkningen med återluftsgarden 70 %, se ovan, vilket innebär att uppvärmningsbehovet för omgivande byggnader i verkligheten är något större, vilket sannolikt även gäller ventilationsförlusterna.

Summan av tillförd energi blir beräkningsmässigt hela tiden lika stor som energiförlusterna, eftersom den energi som lagras eller avges under en månad från byggnadsstomme m m är försumbar (energilagring har däremot stor betydelse för enstaka dygn). Summan av tillförd energi = energiförluster kan kallas för energiomsättning, vilket motsvarar staplarnas totala höjd i figur 7.12 – 7.16.

Med aktuellt utskriftsalternativ från BRIS-beräkningarna erhålls för varje rum (byggnad) såväl tillförd energi som energiförluster som fyra poster vardera:

Tillförd energi:

- uppvärmning
- solinstrålning genom fönster och glasning
- personvärme (angiven som indata)
- belysning m m (angiven som indata).

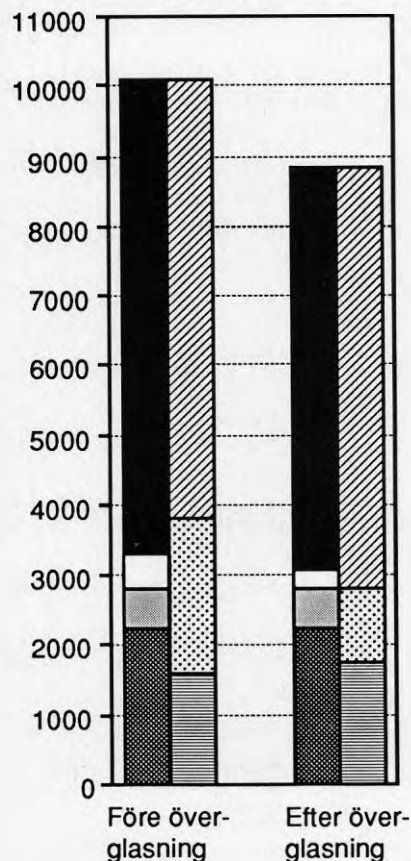
Energiförluster:

- ventilation (t ex uteluftsflöden inklusive luftläckning)
- ventilation (t ex överluftsflöde från ett annat rum)
- transmission genom fönster och glasning
- transmission genom väggar + tak + golv.

Solinstrålning avser total solvärmeinläckning utan hänsyn till om denna är önskvärd eller inte. Belysning m m inkluderar i detta fall all el som förbrukas inomhus inklusive värmetillskott från tilluftsfläktar. Energiförluster p g a två olika luftflöden kan redovisas. För överglasningen skiljs mellan ventilation av uteluftsflöden (summan av mekanisk ventilation och luftläckning) och överluftsflöde från omgivande byggnader. Transmission genom fönster och glasning avser endast extern transmission, alltså mot det fria. Transmission genom väggar + tak + golv inkluderar naturligtvis extern transmission genom väggar + tak + golv, men även all intern transmission mellan olika rum (byggnader). Den interna transmissionen genom t ex de stora ytorna med skyltfönster mellan överglasning och omgivande byggnader inkluderas därför i transmission genom väggar + tak + golv.

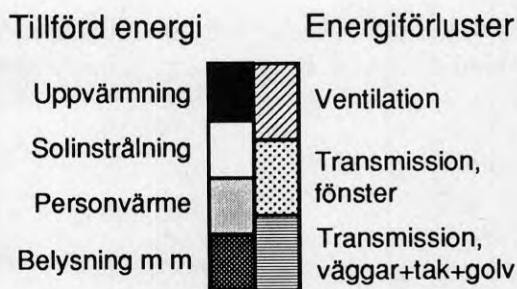
Posterna under "energiförluster" kan vid olika tidpunkter representera antingen energiförluster eller tillförd energi. Transmission genom väggar + tak + golv inkluderar transmission genom ett ganska stort antal delytor, där olika delytor samtidigt kan bidra både till värmeförluster och tillförd energi. För samtliga poster redovisas summan av tillskott och förluster, d v s ett lågt värde kan motsvara att såväl tillskott (+) som förluster (-) är stora. Detta gäller i första hand för posten transmission genom väggar + tak + golv, där t ex överglasningen i de flesta fall samtidigt värms av transmission från omgivande byggnader och kyls av transmission mot det fria.

Tillförd energi och energiförluster under uppv.säsongen, MWh/år.  
Omgivande byggnader



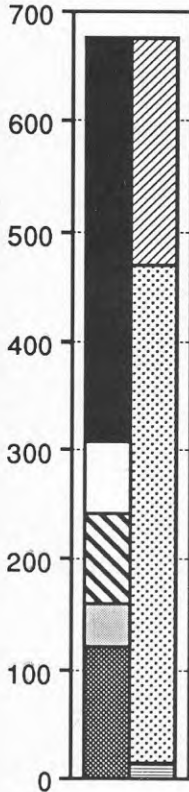
Figur 7.12. Beräknad energibalans för de byggnader (hus I-O) som omger överglasningen. Summer för uppvärmningssäsongen, 15 sep – 15 maj, före respektive efter det att gågatorna överglasades (där golvvärmen förutsatts avstängd).

Transmissionsförlusterna genom fönster (i huvudsak skyltfönster med enkelglas) har minskat betydligt tack vare överglasningen.



Figur 7.12–13 avser summer under uppvärmningssäsongen, medan figur 7.14–16 visar månadssummer för hela året. Beräkningsmässigt erhålls för omgivande byggnader uppvärmningssäsongen från ungefär mitten av september till mitten av maj, medan man i verkligheten förbrukar uppvärmningsenergi samtliga månader. För överglasningen erhålls beräkningsmässigt 91 % av uppvärmningsbehovet under de fem månaderna november – mars, se figur 7.16, varför denna period definieras som överglasningens uppvärmningssäsong. För överglasningen är den verkliga och teoretiska uppvärmningssäsongen ungefär lika lång, vilket visat sig genom att en temperaturskillnad mellan år med respektive utan golvvärmen i drift (figur 5.13) bara finns från de sista dagarna i oktober till de första dagarna i april. Med golvvärmen avstängd, fr o m 1989, finns inte längre någon uppvärmningssäsong för överglasningen.

Tillförd energi och energiförluster under uppv.säsongen, MWh/år.  
Överglasning



Tillförd energi

Uppvärmning  
Solinstrålning  
Överluftsflöde  
Personvärme  
Belysning m m

Energiförluster

Ventilation (uteluft)  
Transmission, glasning  
Transmission, väggar+tak+golv

Figur 7.13. Beräknad energibalans för de överglasade gågatorna. Summor för uppvärmningssäsongen med golvvärmen i drift, 1 nov – 31 mar.

Transmissionsförluster genom glasning innefattar vertikala och lutande glaspartier samt den transparenta plastpanelen. Transmission genom väggar + tak + golv innefattar transmission såväl mot det fria (förluster) samt från omgivande byggnader (tillskott).

Överluft avser luft från omgivande byggnader som tillförs överglasningen via öppna butiksentréer.

Figur 7.12 visar energibalansen för omgivande byggnader under uppvärmningssäsongen före och efter överglasning, där golvvärmen förutsatts avstängd. Överglasningen kan här jämföras med en tilläggsisolering av ungefär 1/3 av omgivande byggnaders fasadyta, varigenom transmissionsförlusterna minskar. Tack vare överglasningen minskar enligt figur 7.12 omgivande byggnaders transmissionsförluster genom fönster med hela 52 %. Den verkliga minskningen är dock något mindre, eftersom transmissionsförlusterna genom fönster (främst englas skyltfönster) mot överglasningen återfinns som intern transmission under posten transmission genom väggar + tak + golv. Denna sistnämnda post har härigenom ökat med 8 % efter överglasningen.

Omgivande byggnaders ventilationsförluster i figur 7.12 har tack vare överglasningen minskat med 4 %, genom att en liten del av det tidigare uteluftsflödet har ersatts med överluft från överglasningen. Solinstrålning genom fönster har p g a överglasningen minskat med hela 44 %, där det vid beräkningarna har förutsatts att överglasningen skärmar av all solinstrålning mot de fasader som vetter mot överglasningen. I verkligheten kan dock viss del av solinstrålningen nå fasaderna indirekt även efter överglasningen, men denna del är liten bl a eftersom överglasningen även innefattar skärmtak m m. Den solavskärmning av omgivande byggnader som överglasningen medför är oftast till nackdel under uppvärmningssäsongen, men samtidigt oftast en fördel sommartid genom att det bidrar till minskat kylbehov.

Figur 7.13 visar energibalansen för överglasningen under uppvärmningssäsongen med golvvärmen i drift. Av tillförd energi svarar golvvärmen för 55 %, belysning m m 18 %, överluft 12 %, solinstrålning 10 % och personvärme 6 %. Här framgår dock inte tillskottet av intern transmission från omgivande byggnader, som här beräkningsmässigt motverkar transmissionsförlusterna mot det fria, varför posten transmission genom väggar + tak + golv är nära noll. Transmissionsförlusterna genom glasning dominerar med 67 % av förlusterna, där glasning innefattar vertikala och lutande glaspartier och transparent plastpanel. Med golvvärmen avstängd medför den lägre temperaturen att energiförlusterna minskar, samtidigt som tillförd energi genom överluft och intern transmission ökar.

Figur 7.14–16 visar energibalansen månadsvis för hela året. Behovet av kyla (luftkonditionering) för omgivande byggnader har inte beräknats, varför en del av det som här redovisas som energiförluster genom transmission och ventilation sommartid i verkligheten motsvarar energi som kyls bort. I figur 7.14 och 7.15 är den vertikala skalan densamma, medan skalan i figur 7.16 är en tiondel så stor, varigenom de olika posternas storlek kan jämföras.

Som framgår vid en jämförelse av resultaten i figur 7.14 och 7.15 framgår att anläggningens energiomsättning minskat något efter överglasningen oktober – maj, medan den ökat något juni – juli (augusti är den oförändrad). Under uppvärmningssäsongen medför överglasningens funktion som tilläggsisolering att transmissionsförlusterna och därmed anläggningens energiomsättning minskar. Sommartid ökar i stället energiomsättningen eftersom överglasningen medför att mer belysning m m och personvärme tillförs.

När det gäller solinstrålning medför överglasningens solavskärmning av omgivande byggnader att den solinstrålning som tillförs anläggningen beräkningsmässigt faktiskt är ungefär densamma före och efter överglasning. När det gäller solinstrålning är dock den beräkningsmässiga kvantifieringen något osäker, eftersom solavskärmning p g a i verkligheten komplicerad geometri vid beräkningarna förenklat beskrivs med konstanta avskärmningsfaktorer. Uppskattningsvis har överglasningens avskärmning av omgivande byggnader överskattats något, genom att något för höga värden på avskärmningsfaktorerna har använts före överglasning. Enligt denna uppskattning skulle härigenom solinstrålningen som tillförs anläggningen öka efter överglasningen.

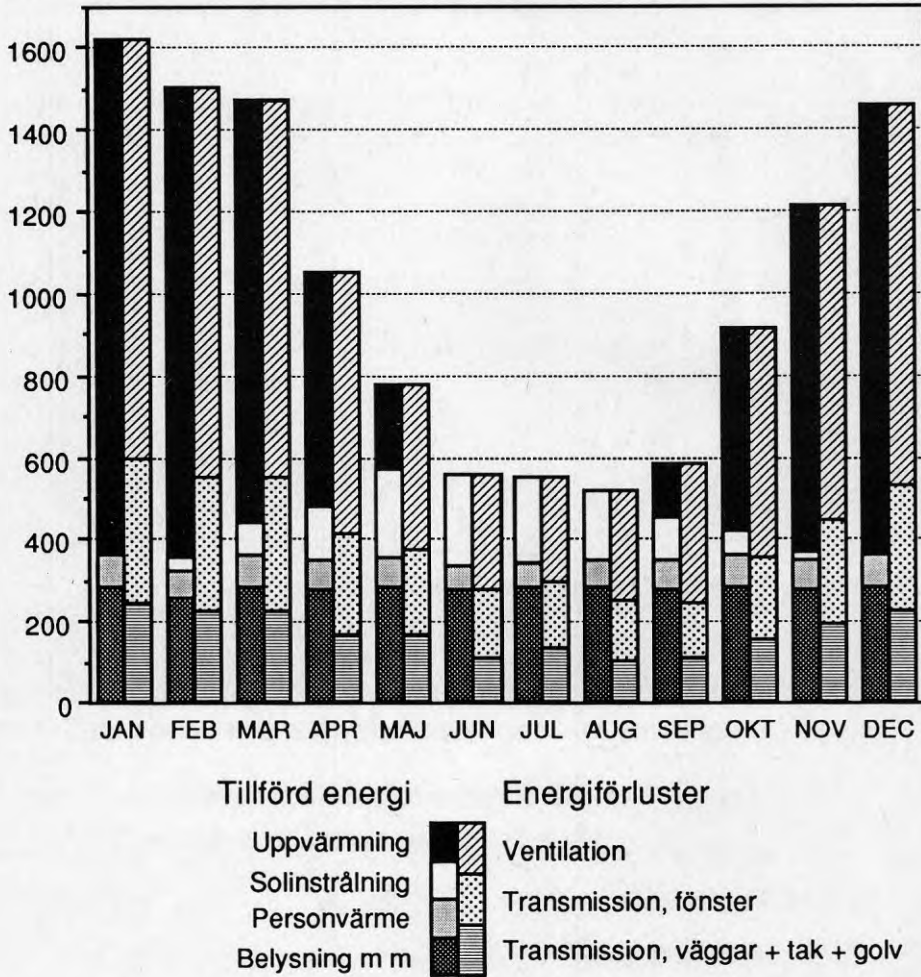
Figur 7.15 visar att de flesta poster för överglasningen är små i förhållande till motsvarande poster för omgivande byggnader (t ex syns inte personvärme för överglasningen). Två poster är dock av samma storleksordning, nämligen solinstrålning och transmission genom fönster respektive glasning. Transmission genom väggar + tak + golv syns för överglasningen sommartid men inte under uppvärmningssäsongen, vilket beror på den betydande interna transmissionen från omgivande byggnader till överglasning under uppvärmningssäsongen, då temperaturen nästan alltid är lägre i överglasningen.

Figur 7.16 visar energibalansen för enbart överglasningen. Solinstrålningens mycket stora säsongsvariation framgår tydligt, där t ex solinstrålningen under juni är 49 gånger så stor som under december. Som tidigare nämnt redovisas här all solinstrålning, oberoende av om denna är önskvärd eller inte. Tidigare har överglasningens uppvärmningssäsong definierats som november – mars, se figur 7.13. Om man i stället t ex skulle definiera oktober – april som uppvärmningssäsong, skulle solinstrålningens andel av tillförd energi öka från 10 till 18 %. Sommartid är solinstrålningen dominerande för överglasningens energibalans.

Som tidigare nämnts måste dock bidraget från solinstrålning tolkas med viss försiktighet, eftersom solavskärmningen i verkligheten varierar såväl under dygnet som under året. Solavskärmningen av omgivande byggnader är störst vintertid, då solen står lågt på himlen. Samtidigt medför utskjutande tak en solavskärmning som tvärtom är störst sommartid, då solen står högt på himlen. I indata till datorberäkningarna beskrivs dock inverkan av all solavskärmning genom grovt uppskattade medelvärden på avskärmningsfaktorerna.

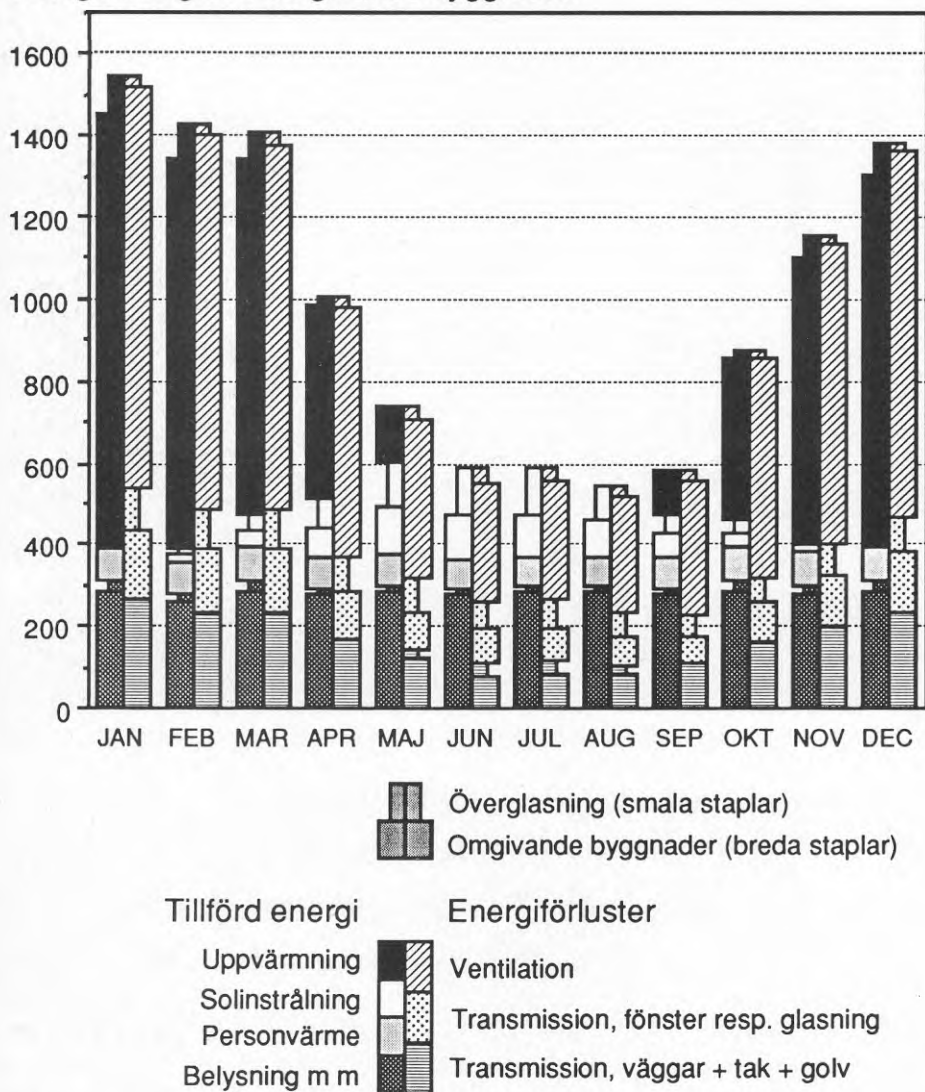


Tillförd energi och energiförluster, MWh/mån.  
Omgivande byggnader före överglasning



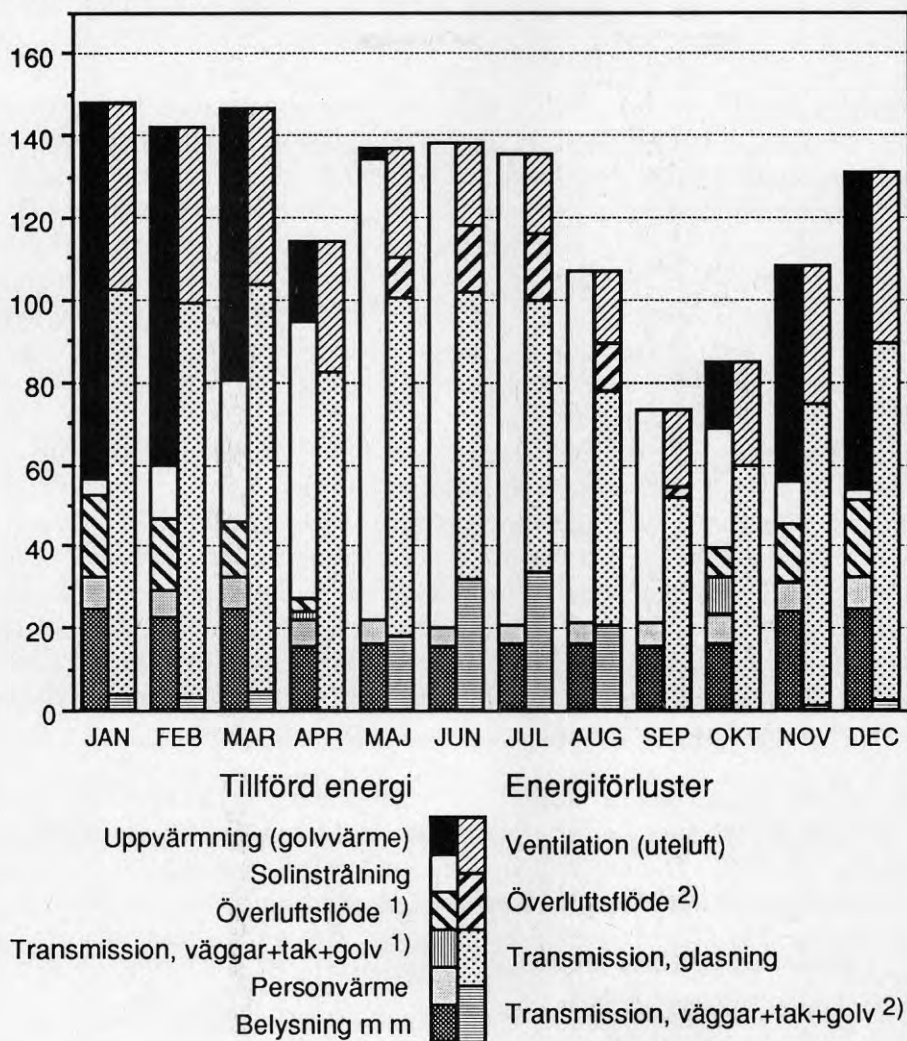
Figur 7.14. Beräknad energibalans för omgivande byggnader (hus I-O) före det att gågatorna överglasades. Av energiförlusterna dominerar ventilationen, som avser summan av mekanisk ventilation och luftläckning. En jämförelse med figur 7.15 visar att energibalansen är relativt enkel att beskriva utan överglasning.

Tillförd energi och energiförluster, MWh/mån.  
Överglasning och omgivande byggnader



Figur 7.15. Beräknad energibalans för hela anläggningen, d v s de överglasade gågatorna tillsammans med omgivande byggnader (hus I-O). En jämförelse med figur 7.14 visar att anläggningens energiomsättning (mot-svarar staplarnas totala höjd) faktiskt har minskat något efter överglasningen under oktober – maj. Detta förklaras i första hand av överglasningens funktion som "tilläggsisolering", varigenom anläggningens transmissions-förluster minskar.

## Tillförd energi och energiförluster, MWh/mån. Överglasning



Figur 7.16. Beräknad energibalans för de överglasade gågatorna med golvvärmen i drift. Med aktuella indata, bl a uppvärmning till 17 °C, erhålls en uppvärmningssäsong som i huvudsak omfattar november – mars. Av energiförlusterna är transmissionen genom glasning dominerande. Såväl överluftsflöde som transmission kan både värma och kyla överglasningen, varför månadssummorna kan motsvara antingen övervägande tillförd energi eller energiförluster.

Överluftsflödet från omgivande byggnader värmer överglasningen oktober – april, och kyler densamma maj – september, där värmning och kylning enligt figur 7.16 är ungefär lika stor. Denna kvantifiering av överluftsflödets inverkan är dock något osäker, eftersom temperaturskillnaden är relativt liten ( $21 - 17 = 4$  °C under större delen av uppvärmningssäsongen), varigenom även små skillnader mellan verkliga och beräknade temperaturer har betydande inverkan på den värmeeffekt som överluftsflödet medför. Dessutom är själva överluftsflödet relativt osäkert, där i detta fall ett mycket grovt medelvärde utifrån mätningar har använts. Detta medelvärde motsvarar endast 17 % av omgivande byggnaders totala tilluftsflöde, vilket alltså trots relativt liten temperaturskillnad är tillräckligt för att överluften skall ha betydande inverkan på överglasningens energibalans. Utan aktiv uppvärmning av överglasningen med golvvärme ökar temperaturskillnaden mot omgivande byggnader, vilket ökar betydelsen av såväl överluftsflöde som av intern transmission.

Datorberäkningarna är egentligen begränsade till förhållandena under uppvärmningssäsongen, varför ingen luftkonditionering förutsatts i omgivande byggnader. Datorberäknade innetemperaturer sommartid blir därför relativt höga för såväl överglasning som omgivande byggnader, och just den kvantifiering av överluftsflödets kylande inverkan på överglasningen som framgår av figur 7.16 är osäker. Resultaten från datorberäkningarna tyder dock på att överluftsflödet har en betydande kylande inverkan på överglasningen varma sommandagar, vilket bekräftar samma resultat utifrån mätningar av överluftsflöden och temperaturförhållanden.

Transmission genom väggar + tak + golv representerar under april och oktober mer tillförd energi än energiförluster. Detta beror på att den interna transmissionen från omgivande byggnader under dessa månader är större än överglasningens externa transmission exklusive glasning. Under vintermånaderna medför den låga utetemperaturen att den externa transmissionen är något större än den interna. Sommartid är temperaturen ofta högre under överglasningen än i omgivande byggnader, varigenom den interna och externa transmissionen samverkar.

Som framgår av bl a figur 7.16 är tillskottet från personvärme något mindre sommartid. Detta beror på att den personvärme som angetts i indata, motsvarande 120 W per person, i BRIS antas gälla exakt endast vid innetemperaturen 20 °C. Vid lägre respektive högre innetemperatur räknar BRIS med något större respektive något mindre tillskott från personvärme.

## ÖVERGLASNINGENS INVERKAN PÅ ELFÖRBRUKNINGEN

Tillskottet från belysning m m till överglasningen i t ex figur 7.16 inkluderar:

- belysning
- elektriska entrévärmare (luftvärmare)
- värme från tilluftsfläktar.

Detta tillskott är något större november – mars, eftersom de elektriska entrévärmarna har förutsatts avstängda övriga tider på året. November – mars kommer detta tillskott till 53 % från belysning, 35 % från elektriska entrévärmare och 12 % från tilluftsfläktar. Tillskottet från de elektriska entrévärmarna utgör 10 % av tillskottet från golvvärmslingor, och bara 0,6 % av hela anläggningens uppvärmningsbehov (6 680 MWh). Om dessa entrévärmare är avstängda eller inte har alltså marginell betydelse för anläggningens energibalans. Praktiska erfarenheter tyder också på att dessa entrévärmare har begränsad inverkan på det termiska klimatet vid ytterentréerna, eftersom denna varmluft tenderar att snabbt stiga uppåt från vistelsezonen. Entrévärmarna, varav flertalet har en fläkt på 100 W och maximalt 5,5 kW värme, är inte särskilt effektiva när det gäller att motverka inverkan av den kalluft som de stora karuselldörrarna tillför, se t ex figur 5.16.

Den överglasade Storholmsgatan har 15,8 kW belysningseffekt installerad, och den motsvarande Bredholmsgatan utomhus har bara något lägre belysningseffekt; 14,9 kW. Belysningens drifttid är erfarenhetsmässigt inte alltför olika för dessa båda gågator. Överglasningen skärmar dock av en hel del dagsljus för såväl gågator som omgivande byggnader, vilket bl a motiverar längre drifttid för belysning i överglasade gågator jämfört med gågator utomhus. Denna längre drifttid för belysningen kan sägas motsvara elförbrukning som tillkommit p g a överglasningen. Med antagna drifttider förbrukar överglasningens belysning 156 MWh under hela året, vilket t ex motsvarar 2 % av hela anläggningens uppvärmningsbehov. Av denna elförbrukning kan alltså en mindre del betraktas som förbrukning p g a just överglasningen.

Överglasningens till- och frånluftsfläktar förbrukar totalt 77 MWh el under hela året, vilket t ex motsvarar 1 % av hela anläggningens uppvärmningsbehov. Det har vid beräkningarna förutsatts att 90 % av tilluftsfläktarnas elförbrukning, 34 MWh/år, blir värme som tillförs överglasningen.

Sammanfattningsvis är den elförbrukning som tillkommit p g a överglasningen beroende av hur man definierar behovet av belysning, elektriska entrévärmare och mekanisk ventilation. Behovet av belysning ökar något efter överglasning. De elektriska entrévärmarna kan i detta fall i de flesta fall stängas av; en bedömning som för övrigt delas av förvaltaren. Behovet av mekanisk ventilation av de överglasade gågatorna kan diskuteras, dels mot bakgrund av att överluftsflödet från omgivande byggnader i praktiken visat sig vara större än det mekaniska tilluftsflödet, och dels mot bakgrund av överglasningens luftläckning och möjligheten att reglera denna (s k naturlig ventilation) genom mer eller mindre öppna ytterentréer och glasluckor.

Sammanfattningsvis uppskattas den elförbrukning som man kan anse har tillkommit p g a överglasningen till 1–2 % av hela anläggningens uppvärmningsbehov. Denna ökning av elförbrukningen kan sättas i relation till det minskade uppvärmningsbehov (fjärrvärme) som överglasningen har medfört; den uppmätta minskningen är i genomsnitt 7 % medan beräkningarna visar 14 %, i båda fallen med golvvärmen avstängd. Ökningen av elförbrukning är alltså mindre än besparingen av fjärrvärme. Allmänt gäller dock att el och fjärrvärme inte kan anses helt jämförbara, varför t ex el normalt är dyrare.

## ÖVERGLASNINGENS INVERKAN PÅ KYLBEHOVET

Omgivande byggnader har till skillnad mot överglasningen luftkonditionering installerad. Detta möjliggör en passiv kylning av överglasningen sommartid p g a transmission och överluft från omgivande byggnader, alltså på motsvarande sätt som den passiva uppvärmningen vintertid. Inverkan av denna passiva kylning har dock inte kvantifierats.

Beräkningarna har i detta fall begränsats till förhållandena under uppvärmningssäsongen, och någon beräkning av kylbehovet har inte gjorts. Leverans av kyla (luftkonditionering) är gemensam för hela Skärholmens Centrum och ytterligare några byggnader. Det går därför inte heller att utifrån förbrukad kylenergi bedöma inverkan av överglasningen. Sannolikt bör dock en eventuell förändring av kylbehovet p g a överglasningen vara mycket marginell. För detta talar bland annat att den bestämda temperaturskillnaden mellan överglasning och ute sommartid är relativt liten. I detta sammanhang är det mycket gynnsamt att temperaturskillnaden överglasning – ute är som minst när utetemperaturen är som högst, se t ex figur 5.14.

Överluftsflödet (luftutbytet) mellan omgivande byggnader och överglasning sker också i de flesta fall från byggnader till överglasning, vilket innebär att luften från överglasningen endast i begränsad utsträckning tillförs omgivande

byggnader. Denna sistnämnda luftströmning innebär annars att kylbehovet i omgivande byggnader ökar sommartid när luften under överglasningen är varmare än ute. Beräkningarna påvisar slutligen att den solavskärmning av omgivande byggnader som överglasning inklusive skärmtak m m medför är betydande, där denna solavskärmning i sig minskar kylbehovet sommartid.

## NÅGRA KOMPLETTERANDE RESULTAT FRÅN ANDRA PROJEKT

I samband med projekteringen av en tillbyggnad för elektroavdelningen vid Norges Tekniska Högskola gjordes en beräkning av energibehovet för uppvärmning som återges av Børresen et al. (1985), Gunnarshaug (1985) och Sunde (1991). Ett alternativ med öppen gågata jämfördes med fyra olika alternativ med överglasad gågata, där värmemotstånden varierades för glasning och för fasader mot gågatan. Det visade sig ha marginell betydelse för energibehovet om man förutsatte 5 eller 15 °C minimitemperatur för den överglasade gågatan. Resultaten av beräkningarna blev vidare att alternativen med överglasad gågata gav mellan 9 och 19 % lägre energibehov för uppvärmning i jämförelse med den öppna gågatan. Dessa resultat är alltså mycket likartade med motsvarande resultat från Skärholmens Centrum.

Datorberäkningar i samband med överglasningar behandlas i Bryn (1992), där även ett datorbaserat informationssystem för studier av energibalans presenteras. Glaumann (1992) behandlar energibalansen för själva glastaket utifrån både mätningar och beräkningar. I Thyholt et al. (1990) jämförs de ekonomiska konsekvenserna av olika isolerrutor till en uppvärmd överglasning i Norge. Av sex olika 2- och 3-glas isolerrutor visade sig 2-glas med lågmissionsbeläggning och argongas ge lägsta totala kostnader.

## 7.5.2 Energibalans och temperatur för enstaka dygn

I detta avsnitt redovisas energibalans och temperaturförhållanden under enstaka dygn för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum. Datorberäkningarna med BRIS har gjorts varje timme, och redovisningen i detta avsnitt (utom figur 7.22) avser 25 värden för respektive storhet från kl 00 till 24 under två olika vinterdygn. Under det ena av dessa två dygn har den aktiva uppvärmningen med golvvärme av de överglasade gågatorna varit i drift, och under det andra dygnet avstängd. Beräknad innetemperatur jämförs i båda fallen med uppmätta värden.

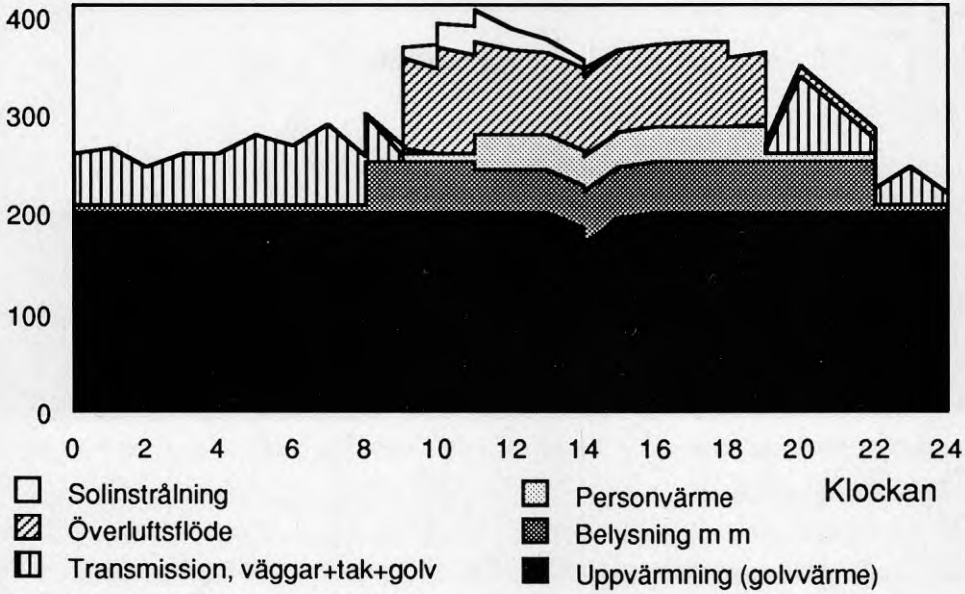
Beräknade värden enligt figur 7.17 och 7.19 utgår från klimatdata den 6 januari 1971. På motsvarande sätt har klimatdata från den 1 januari 1971 använts till figurerna 7.18 och 7.20–21. Utetemperaturen från den 1 januari är dock korrigerad till ett normalår, se avsnitt 7.2.

Figur 7.17 och 7.18 visar energibalans för två olika vinterdygn. Eftersom alla delposter avser värme är naturligtvis ordet värmebalans lika riktigt. Mest korrekt i detta fall är dock egentligen ordet effektbalans, eftersom det är värden på värmeeffekt som redovisas timme för timme. Här används genomgående, liksom i övriga avsnitt, det vanligaste ordet energibalans. I figur 7.17 och 7.18 är det arean för respektive delpost som representerar energi (medel-effekt · tid = energi).

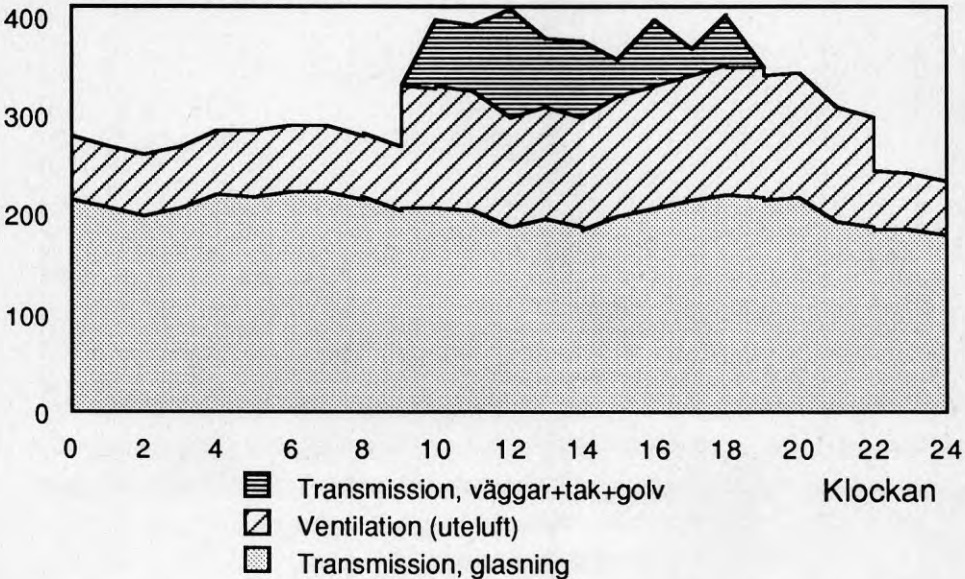
Som framgår av figur 7.17 är värme tillförd av golvvärmen dominerande för ett mycket kallt vinterdygn, om man som här förutsätter uppvärmning till 17 °C och maximal effekt 200 kW. Temperaturkravet 17 °C medför att golvvärmen behöver avge maximal effekt hela dygnet utom kl 14 och 15. Överluftsfördet motsvarar dagtid näst största delpost av tillförd energi med som mest 107 kW effekt, medan belysning m m som mest tillför 52 kW. Transmission genom väggar + tak + golv motsvarar tillförd energi nattetid och bortförd energi dagtid, d v s denna delpost bidrar till en temperaturutjämning under dygnet. Största delpost av bortförd energi är transmissionen genom glasing, där ”glasing” innefattar alla vertikala och lutande glasytor och även plastpanel.



## Tillförd effekt till överglasning, kW

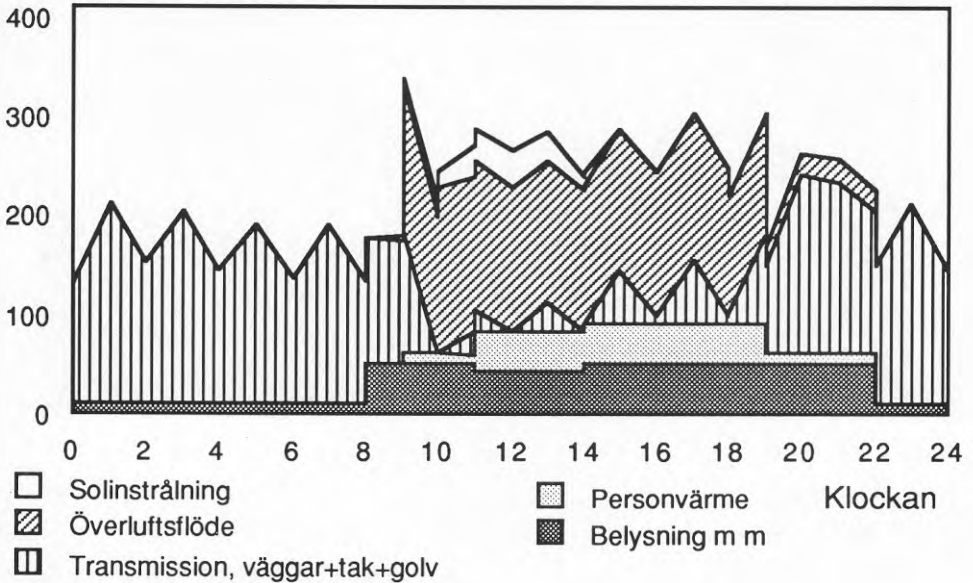


## Bortförd effekt från överglasning, kW

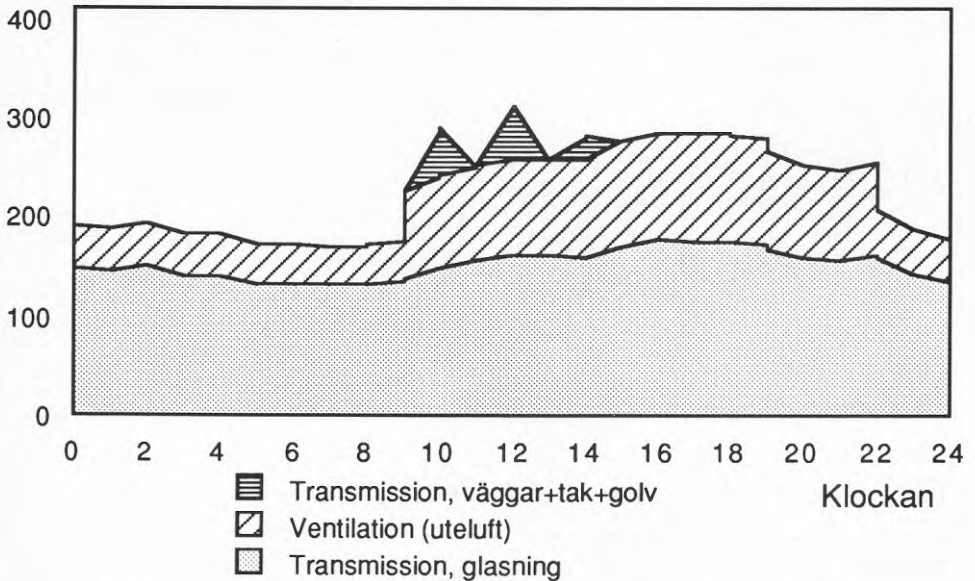


Figur 7.17. Beräknad effekt som tillförs till respektive bortförs från de överglasade gågatorna med golvvärmen i drift under ett mycket kallt vinterdygn. Klimatdata är från 6 jan 1971, då dygnsmedeltemperaturen ute var  $-15,1$  °C.

## Tillförd effekt till överglasning, kW



## Bortförd effekt från överglasning, kW



Figur 7.18. Beräknad effekt som tillförs till respektive bortförs från de överglasade gågatorna med golvvärmen avstängd under ett mycket kallt vinterdygn. Klimatdata är från 1 jan 1971, då dygnsmedeltemperaturen ute var  $-11,8$  °C.

Figur 7.18 visar motsvarande resultat som i figur 7.17, där den avgörande skillnaden är att golvvärmen har förutsatts avstängd i figur 7.18. Att förutsatt dygnsmedeltemperatur ute skiljer 3 °C mellan dessa två dygn har relativt liten betydelse. Energibalansen med respektive utan golvvärme har stora likheter när det gäller bortförd energi, men är väldigt olika när det gäller tillförd energi. Med golvvärmen avstängd representerar transmission genom väggar + tak + golv dominerande tillförd energi nattetid, medan den värmning som överluftsflödet medför dominerar dagtid med som mest 166 kW effekt. Skillnaden mellan dygnet med respektive utan golvvärme framgår tydligt om man jämför andelarna av tillförd energi för hela dygnet:

- Med golvvärme:
  - golvvärme 68 %, överluftsflöde 13 %, belysning m m 11 %, personvärme 5 %, solinstrålning 2 %, transmission genom väggar + tak + golv 1 %.
- Utan golvvärme:
  - transmission genom väggar + tak + golv 46 %, överluftsflöde 29 %, belysning m m 15 %, personvärme 7 %, solinstrålning 3 %.

Utan golvvärme blir alltså värmeförlusterna från omgivande byggnader p g a transmission och ventilation (överluftsflöde) dominerande energitillskott till överglasningen. Delposten transmission genom väggar + tak + golv inkluderar som tidigare nämnts såväl intern som extern transmission, varför energitillskottet till överglasningen p g a transmission från omgivande byggnader är något större än 46 % och övriga delposter något mindre.

Det kan tilläggas att en svängning kan observeras från timme till timme av värdet för transmission genom väggar + tak + golv, vilket framgår tydligast överst i figur 7.18. Detta beror på att en svängning har erhållits för värme-flödet genom den fiktiva skiljeväggen mellan datormodellens rum 1 och 2, se bilaga 2. Denna svängning beror alltså på datorprogrammets egenskaper och på indata för den aktuella skiljeväggen m m. Samtidigt är dock av allt att döma medelvärde för transmissionen genom väggar + tak + golv rimligt. Svängningen medför att värdet för denna transmission byter tecken varannan timme kl 10–14 i figur 7.18, varför den grafiska redovisningen då ser lite märklig ut.

Figur 7.19–21 visar beräknad innetemperatur för samma dygn och med samma indata som i figur 7.17–18. Som jämförelse visas även uppmätt innetemperatur för dygn då uteklimatet var mycket lika de dygn som beräkningarna avser. Som framgår är uppmätt innetemperatur väsentligt olika på

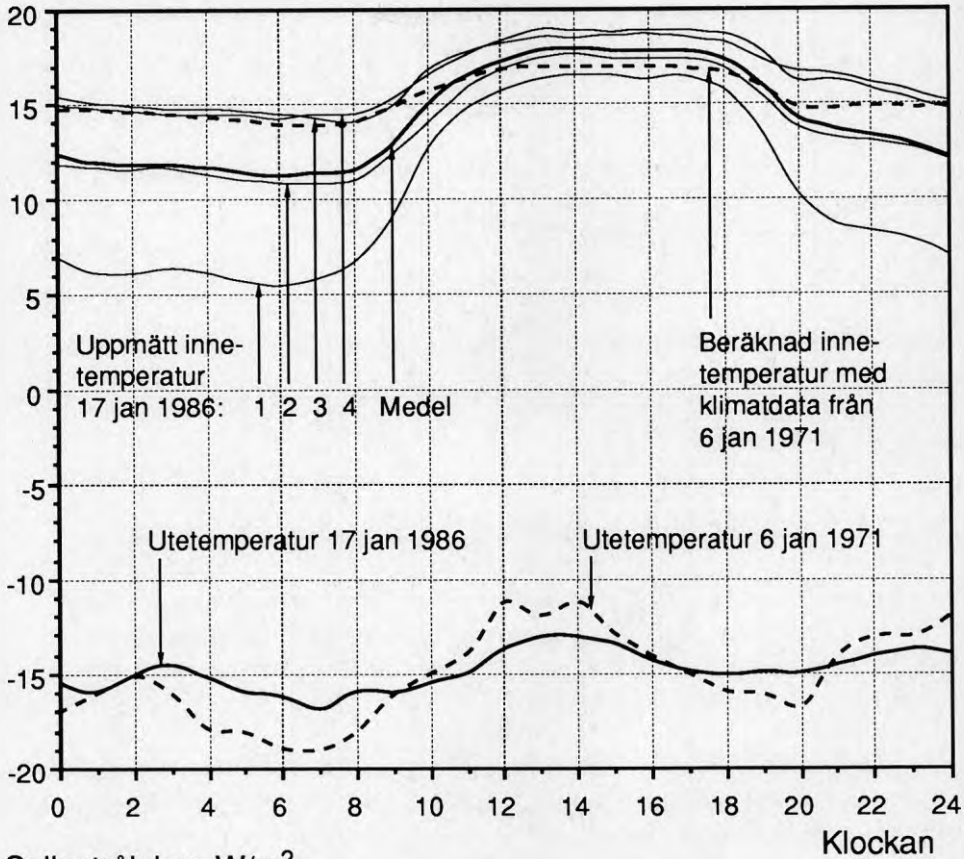
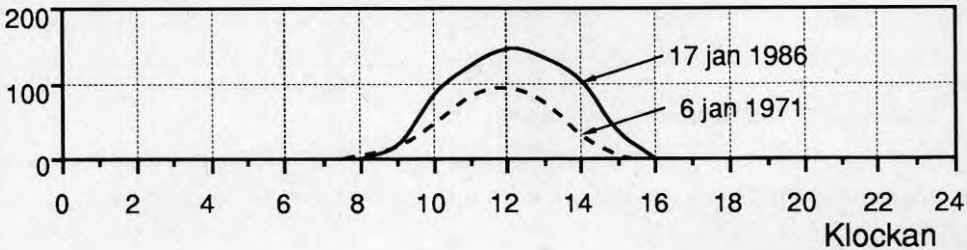
olika platser i de överglasade gågatorna främst nattetid, vilket bl a kan bero på olika infiltration av uteluft och olika stor tillgänglig värmekapacitet vid olika mätpunkter, se även avsnitt 5.2.2. Vid jämförelsen mellan uppmätt och beräknad innetemperatur har det p g a termisk tröghet även betydelse att uteklimatet var likartat under de dygn som föregår de dygn som redovisningen avser.

Beräknad dygnsmedeltemperatur inne med golvvärmen i drift enligt figur 7.19 är 15,4 °C, vilket är ca 1 °C högre än medelvärdet av uppmätta värden; 14,3 °C. Skillnaden är dock större om man jämför skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur under dygnet; 3,2 °C enligt beräkningarna och 6,6 °C som medelvärde från mätningarna. De viktigaste orsakerna till denna skillnad är sannolikt att det vid beräkningarna har förutsatts för små värmeförluster nattetid och/eller för små värmetilskott dagtid. För små värmeförluster nattetid erhålls t ex om antagen luftläckning är för liten, och för små värmetilskott dagtid erhålls t ex om antaget överluftsflöde är för litet.

Beräknad innetemperatur med golvvärmen avstängd framgår av figur 7.20–21, där överluftsflödet 17 m<sup>3</sup>/s är det som förutsatts i hela avsnitt 7.5 i övrigt. En jämförelse görs alltså här med resultatet med överluftsflödet noll respektive fördubblat. Beräknad dygnsmedeltemperatur inne är här 11,2 °C med överluftsflödet 17 m<sup>3</sup>/s, vilket är ungefär detsamma som medelvärdet av uppmätta värden; 11,0 °C. (Dygnsmedelvärdet 11,0 °C och medelvärdet enligt figur 7.21 avser ett medelvärde från endast mätpunkterna nr 1–3 p g a avbrott från mätpunkt nr 4. Erfarenhetsmässigt är temperaturskillnaden mellan mätpunkt nr 3 och 4 liten. Om man därför bildar ett medelvärde med värdet från mätpunkt nr 3 räknat 2 gånger erhålls ett medelvärde som är mer jämförbart med t ex figur 7.19. Dygnsmedelvärdet med värdet från mätpunkt nr 3 räknat 2 gånger blir 11,5 °C, alltså 0,5 °C högre.)

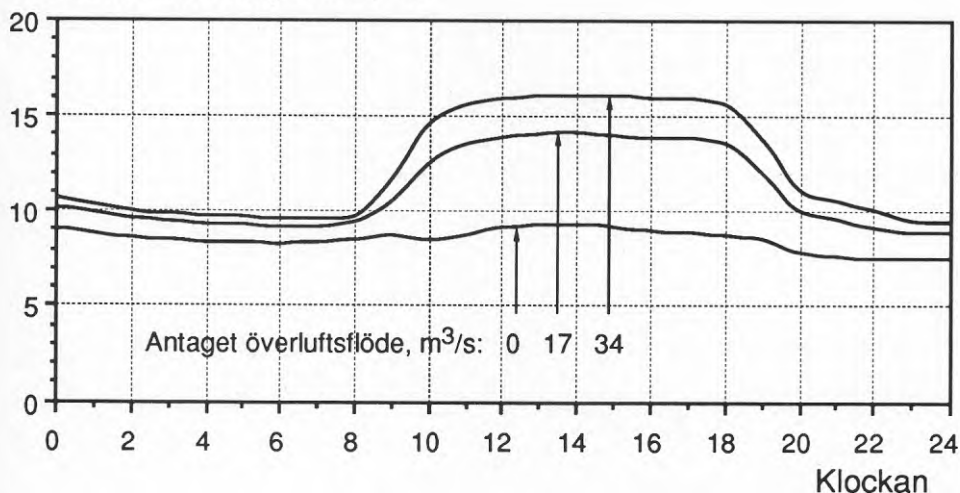
Resultaten enligt figur 7.20–21 visar överluftsflödets dominerande betydelse för innetemperaturens dygnsvägning. Beräkningarna har gjorts med identiska indata förutom överluftsflödet, och det framgår med överluftsflödet noll att dygnsvägningen som orsakas av enbart solinstrålning, utetemperatur, belysning m m och personvärme inte alls motsvarar verklig dygnsvägning enligt uppmätta värden. Med överluftsflödet 17 och 34 m<sup>3</sup>/s erhålls i stället en beräknad dygnsvägning som väl motsvarar uppmätta värden. Skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur under dygnet enligt beräkningarna med 0, 17 respektive 34 m<sup>3</sup>/s är 1,9, 5,3 respektive 6,7 °C. Detta kan jämföras med motsvarande medelvärde från mätningarna; 7,3 °C (7,0 °C om värdet från mätpunkt nr 3 räknas 2 gånger, se ovan). Bäst överensstämmelse erhålls alltså med det högsta överluftsflödet.

Temperatur, °C

Solinstrålning, W/m<sup>2</sup>

Figur 7.19. Beräknad och uppmätt innetemperatur i de överglasade gångatorna med golvvärmen i drift ett mycket kallt vinterdygn. Uppmätta värden är bestämda 3 m över golv vid plats 1-4 enligt figur 5.1. Mätningarna respektive beräkningarna avser ett dygn då dygnsmedeltemperaturen ute var mycket lika;  $-14,8\text{ °C}$  respektive  $-15,1\text{ °C}$ . Båda dagarna var klara, och skillnaden mellan solinstrålning de två dagarna har marginell inverkan, jämför *t ex* solinstrålningens andel i figur 7.17.

## Beräknad innetemperatur, °C

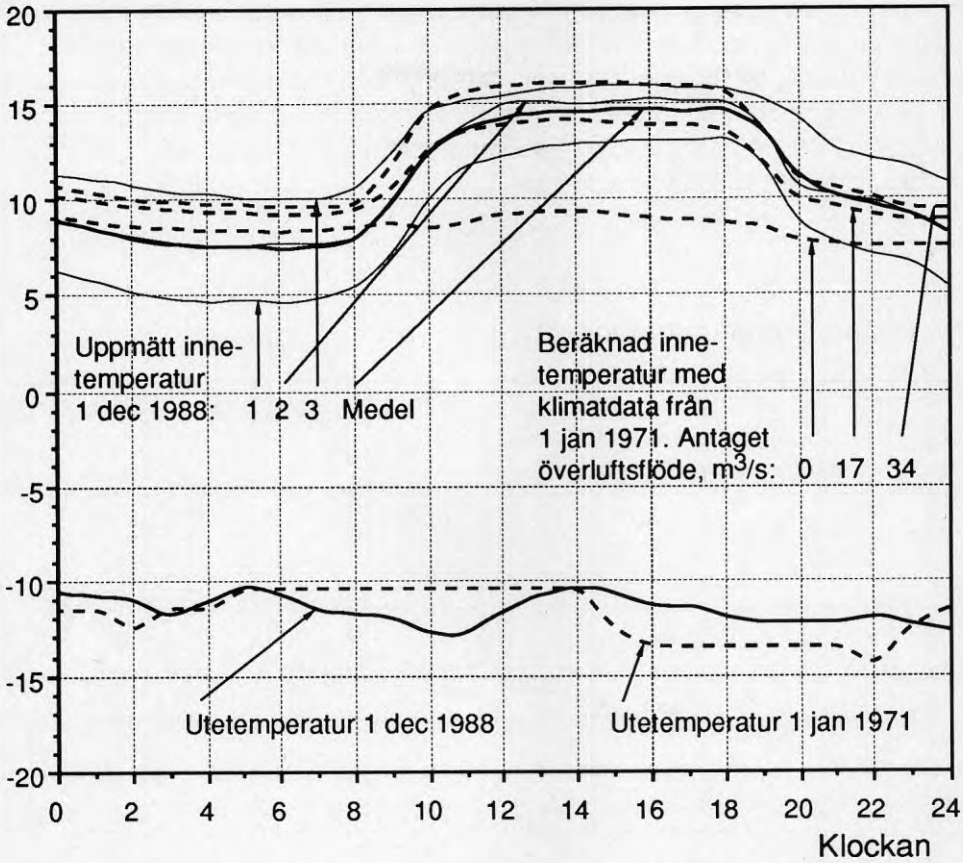


Figur 7.20. Beräknad innetemperatur i de överglasade gågatorna med golvvärmen avstängd ett mycket kallt vinterdygn. Överluftsflödet 17 m<sup>3</sup>/s från omgivande butiker till överglasningen motsvarar ett grovt medelvärde utifrån mätningar. Överluftsflödet är alltså huvudsak till dygnssvängningen av innetemperaturen. I figur 7.21 jämförs dessa värden med uppmätta värden. Klimatdata avser 1 jan 1971, d v s samma som i figur 7.18.

Beräknad och uppmätt innetemperatur enligt figur 7.19–21 visar i huvudsak påfallande likheter när det gäller hur temperaturen förändras under dygnet; mycket långsamt sjunkande ca kl 00–kl 06 å 08, snabbt stigande ca kl 08–12, nästan konstant (hög) ca kl 12–18, snabbt sjunkande ca kl 18–20 och långsamt sjunkande ca kl 20–24. Ett undantag är t ex att beräknad innetemperatur enligt figur 7.19 inte sjunker kl 20–24, vilket dock kan förklaras av att utetemperaturen då stiger 5 °C.

Sammanfattningsvis visar mätresultat att temperaturen vintertid i de överglasade gågatorna följer en mycket kraftig dygnssvängning. Datorberäkningarna visar att denna dygnssvängning kan förklaras teoretiskt, och att överluftsflödet från omgivande byggnader är avgörande i detta sammanhang.

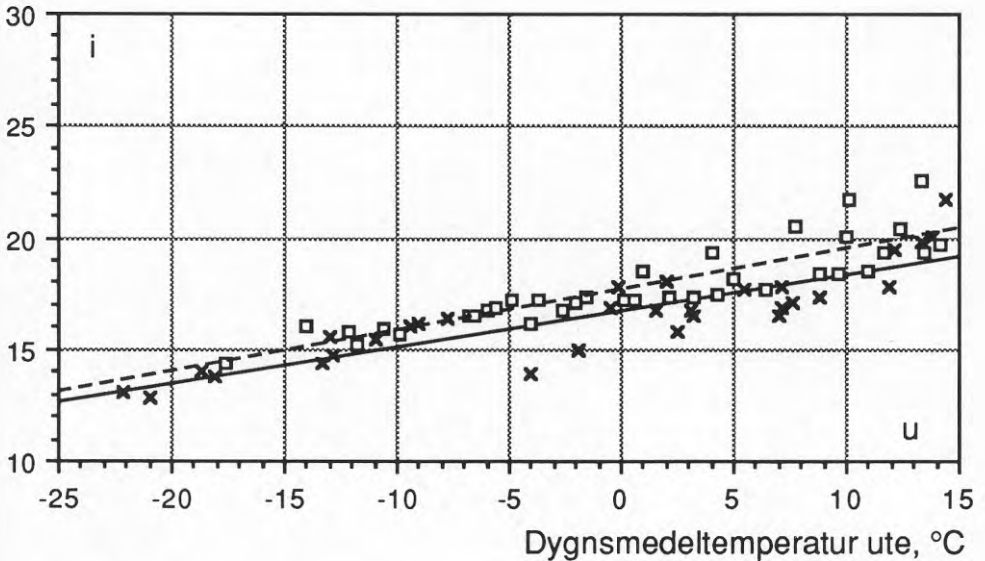
Temperatur, °C



Figur 7.21. Beräknad och uppmätt innetemperatur i de överglasade gångarna med golvvärmen avstängd ett mycket kallt vinterdygn. Uppmätta värden är bestämda 3 m över golv vid plats 1-3 enligt figur 5.1. Mätningarna respektive beräkningarna avser ett dygn då dygnsmedeltemperaturen ute var mycket lika;  $-11,6$  °C respektive  $-11,8$  °C. Beräknade värden är desamma som i figur 7.20.

I figur 7.22 visas en jämförelse mellan beräknad och uppmätt dygnsmedeltemperatur under överglasningen. Jämförelsen har i huvudsak begränsats till omgivande byggnaders uppvärmningssäsong. Eftersom beräkningarna inte omfattar kylning av byggnaderna sommartid, erhålls för såväl byggnader som överglasning alltför hög temperatur varma sommartid. Detta antyds i figur 7.22 genom att skillnaden mellan beräknad och uppmätt temperatur i genomsnitt ökar med stigande utetemperatur.

Dygnsmedeltemperatur inne, °C



□	Beräknad	-----	$i = 17,6 + 0,18 u$	$r = 0,88$
×	Uppmätt	—————	$i = 16,7 + 0,16 u$	$r = 0,87$

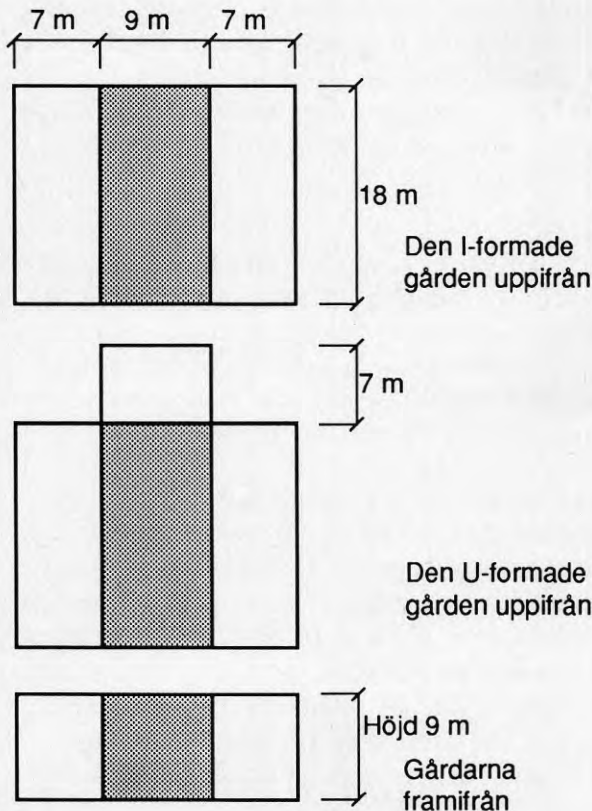
Figur 7.22. Dygnsmedeltemperatur inne i de överglasade gågatorna med golvvärmen i drift som funktion av dygnsmedeltemperatur utomhus. Värdena avser i huvudsak omgivande byggnaders uppvärmningssäsong, ca 15 sep – 15 maj. Skillnaderna mellan beräknade och uppmätta värden är relativt små, ca 1 °C i genomsnitt.



Den genomsnittliga skillnaden mellan beräknad och uppmätt dygnsmedeltemperatur är relativt liten, ca 1 °C. Av figur 7.22 framgår även att spridningen mellan olika värden är likartad för beräknade och uppmätta värden. Sammanfattningsvis ger alltså datorberäkningarna resultat avseende dygnsmedeltemperatur och sambandet mellan inne- och utetemperatur som överensstämmer relativt väl med motsvarande resultat utifrån uppmätta värden.

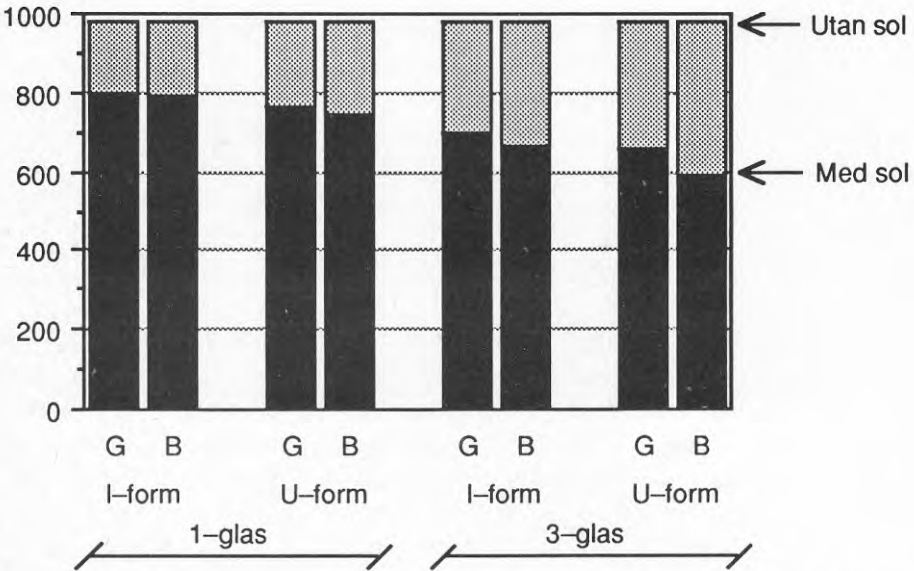
### NÅGRA KOMPLETTERANDE RESULTAT FRÅN WALL (1990)

I Wall (1990) redovisas datorberäkningar (med programmet DEROB-LTH) avseende några enkla geometriska modeller innehållande en överglasad gård, se figur 7.23. Exempel på resultat i form av energibehov och temperaturförhållanden framgår av figur 7.24 och 7.25, där uteklimatet för Malmö 16 – 22 mars 1971 har använts. Denna vecka var i huvudsak solig med 4 °C medeltemperatur. I omgivande byggnader har förutsatts 20 °C innetemperatur,



*Figur 7.23. Dessa två geometriska modeller av överglasade gårdar används för beräkning av energibalans och temperaturförhållanden i Wall (1990). Skuggade ytor är glastaket (horisontellt) och glasfasad mot det fria. Den överglasade gården omges av två respektive tre byggnader, och har två respektive en glasfasad mot det fria. Vid beräkningarna har glastak och glasfasad(er) enkelglas eller 3-glas.*

## Energibehov, kWh

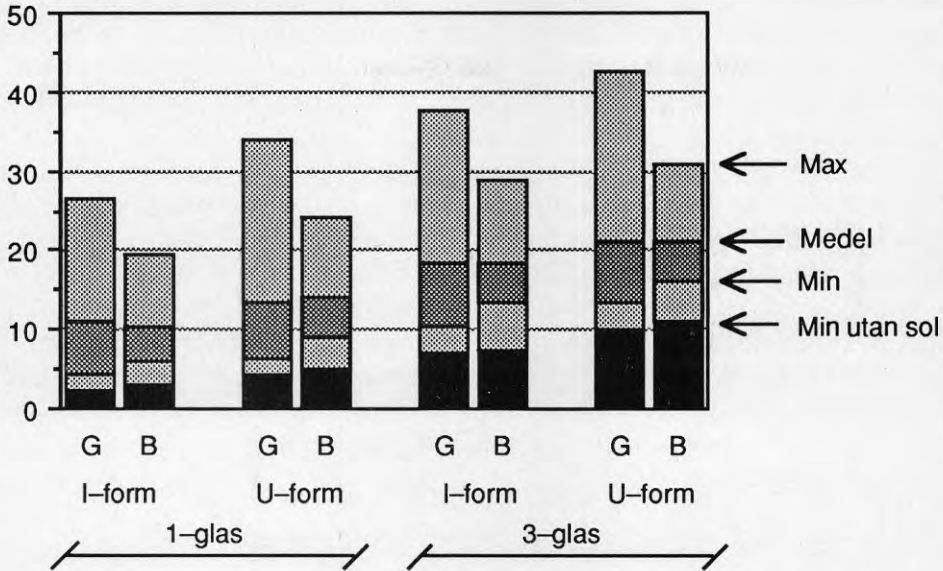


Figur 7.24. Beräknat energibehov för uppvärmning av en av de avlånga huskropparna i figur 7.23 under en vårvecka. Enligt dessa beräkningar reducerar solinstrålningen energibehovet med 20 – 40 % under denna period. G = 26 mm gips och B = 120 mm betong i väggarna närmast den överglasade gården. Såväl basvärme som ventilation av gården har satts till noll, se Wall (1990).

medan den överglasade gården endast värms passivt av transmissionsförluster och solinstrålning. I den geometriska modellen varierar mineralullsisoleringens tjocklek i väggarna mot den överglasade gården så att transmissionsförlusterna vid stationära förhållanden är konstanta oavsett gårdens form och antal glas i glastak och glasfasad(er). Detta förklarar varför energibehovet är konstant om inverkan av solinstrålning försummas i figur 7.24.

Med basvärme avses värme från människor, belysning, elapparater m m, dvs all "gratisvärme" utom solinstrålning. I Wall (1990) har basvärmen genomgående satts till noll vid beräkningarna, vilket kan ifrågasättas. Allmänt gäller att basvärmen får allt större relativ betydelse ju lägre energiförluster en byggnad har. I byggnader där basvärmen är tillräckligt betydande i förhållande till värmeförlusterna medför den passiva solvärmen i princip bara en icke önskvärd övertemperatur eller ett extra kylbehov under en stor del av året. I Öman (1991) framgår ett exempel på hur basvärmen kan påverka möjligheterna att nyttiggöra passiv solvärme, där det förhållandevis enkla datorprogrammet AUTSOL har använts.

Temperatur, °C



Figur 7.25. Beräknad temperatur i den överglasade gården i figur 7.23 under en vårvecka. Enligt dessa beräkningar har ökad termisk tröghet (betong i stället för gips) stor betydelse för att dämpa temperatursvängningarna. G = 26 mm gips och B = 120 mm betong i väggarna närmast den överglasade gården. Såväl basvärme som ventilation av gården har satts till noll, se Wall (1990).

I de flesta beräkningar i Wall (1990), som t ex i figur 7.24 och 7.25, har förutsatts att luftomsättningen är noll i den överglasade gården. Vidare gäller att inget överluftsflyde har antagits mellan överglasning och omgivande byggnader. Som framgår av erfarenheterna från Skärholmens Centrum inom detta arbete kan dock detta överluftsflyde ha mycket stor betydelse för såväl temperaturförhållanden som energibalans. Även för rent teoretiska studier av energibalans kan det därför finnas orsak att ta med överluftsflydet som en parameter.

Av figur 7.24 framgår ett exempel på hur gårdens form, antal glas och olika termisk tröghet påverkar energibehovet för en anslutande byggnad. Solinstrålningen bidrar alltså med 20 – 40 % av tillförd energi under denna soliga vårvecka. Temperaturvariationerna som framgår av figur 7.25 blir mycket stora med aktuella beräkningsförutsättningar, och ökad termisk tröghet har en betydande positiv inverkan i detta fall genom att dämpa temperaturvariationerna.

En allmän slutsats som man kan dra utifrån beräkningsresultat i Wall (1990) är att effektivare solavskärmning kan betyda mer än ökad luftomsättning för att sänka temperaturen sommartid i ett stort överglasat utrymme. Detta bekräftar alltså att den solavskärmning som erhålls av omgivande byggnader i Skärholmens Centrum i mycket hög grad bidrar till de gynnsamma temperaturförhållandena sommartid.

Betydelsen av människors förväntningar på det termiska klimatet diskuteras i avsnitt 12.1. Wall (1990) argumenterar för att i förväg datorberäkna det termiska klimatet (temperaturförhållandena), för att förebygga orealistiska förväntningar och t ex extra uppvärmningsenergi för att erhålla ett visst klimat. I Aschehoug et al. (1990) ges ett exempel på detta fenomen; en överglasning projekterad för 15 °C vintertid som senare värms till 18 °C med ökad energiförbrukning som följd.

### 7.6.3 Några erfarenheter av datorberäkningarna med BRIS

I detta avsnitt redovisas några erfarenheter av själva användningen av det datorprogram, BRIS, som utnyttjats för beräkningarna av energibalans. Själva programmet beskrivs kortfattat i avsnitt 7.2, medan aktuella indata m m framgår av bilaga 2.

Att beskriva hela den överglasade delen av Skärholmens Centrum med en datormodell innebar mycket arbete. En stor del av detta arbete beror dock på anläggningens storlek och varierade utformning, och är alltså oberoende av anpassningen av indata till just till BRIS. Datormodellen består av fyra rum (byggnader) och 57 delytor, vilka förenklat beskriver de överglasade gågatorna och omgivande byggnader. Totalt innefattar indata 1 600 siffervärden, och vid beräkningarna räknar BRIS med 288 variabler. Beräkningarna görs varje timme med ca 10–20 iterationer varje gång. Två olika versioner av BRIS har använts; en stordatorversion (3.04) och en PC-version (5.12).

Ursprungliga indata innefattade fyra olika överluftsflöden, vilket dock inte fungerade. Två av de ursprungligen fyra överluftsflödena var motriktade (mellan överglasning och omgivande byggnader), vilket sannolikt var det som orsakade problem. Med endast ett i stället för fyra överluftsflöden fungerade dock stordatorversionen utan problem. Huvuddelen av beräkningarna gjordes med stordatorversionen, varvid det tog ca 5–10 minuter att beräkna energibalansen för ett dygn och ca 3 timmar för en månad. Dator-

modellen består av mycket stora rum, upp till 383 m långa. För att erhållna värden (W och kWh) skulle rymmas i utskriften, fick därför datormodellen beskrivas i skala 1:10.

Med indata för fyra rum gick det aldrig att använda PC-versionen, sannolikt för att denna version av BRIS har för litet tilldelat minnesutrymme. Med indata för endast omgivande byggnader utan överglasning fungerade dock även PC-versionen, varvid indata endast omfattar två i stället för fyra rum och beräkningarna görs med 170 i stället för 288 variabler.

En möjlighet vore att förenkla den geometriska modell som använts i detta fall, genom att sammanföra ett antal delytor. Detta skulle sannolikt motsvara en acceptabel approximation, om man på ett riktigt sätt kan kompensera för olika delytors bidrag till både transmission och värmekapacitet. Däremot skulle detta knappast innebära någon arbetsbesparing, eftersom man måste utgå från lika detaljerade uppgifter från ritningar m m i princip oberoende av datormodellens grad av förenkling.

En begränsning när det gäller indata i BRIS är att endast huvudytor, och inte delytor, kan ges en lutning. En approximativ compensation för solinstrålning genom lutande delytor kan dock göras genom att huvudytan ges viss lutning, se figur 4 i bilaga 2. Vidare finns en begränsning till maximalt två olika luftflöden per rum. För de överglasade gågatorna (rum 1) hade dock tre luftflöden varit önskvärt; summan av mekanisk tilluft och luftläckning, överluft från omgivande byggnader och även överluft från tornet för att simulera ett fritt luftutbyte mellan överglasning och torn. Inverkan av detta sistnämnda luftflöde har visserligen kunnat simuleras med stor transmission genom en fiktiv skiljeväg, men detta har medfört viss instabilitet, se nedan.

Rekommendationer avseende lämplig tjocklek för delskikt av olika material har sammanställts i tabell 2 i bilaga 2, där syftet är att motverka både dålig beräkningsnoggrannhet och instabilitet i beräkningarna. Trots att dessa rekommendationer har följts har det uppstått en svängning av värmeflödet genom den fiktiva väggen mellan överglasade gågator och torn (datormodellens rum 1 och 2). För att erhålla stort värmeutbyte mellan dessa rum har den fiktiva väggen försetts med 10 cm betong, där värmekonduktiviteten är 100 ggr det verkliga värdet för betong, se bilaga 2. Det stora värmeflödet genom denna konstruktion faller alltså utanför ramen för beräkningsmässig stabilitet, samtidigt som dock medelvärdet av detta värmeflöde av allt att döma blir rimligt.

Beträffande klimatdata har en korrigerig gjorts av utetemperaturen så att månadsmedelvärdena överensstämmer med ett normalår, se avsnitt 7.2.

Sammanfattningsvis har BRIS-programmet visat sig vara ett mycket kraftfullt och användbart verktyg, som kan användas även för en stor och komplicerad anläggning som ett överglasat köpcentrum. Tillämpningen har visserligen visat på vissa begränsningar i BRIS, men dessa begränsningar bedöms genomgående vara av mindre betydelse för slutresultatet. Samtidigt har BRIS ett mycket stort antal möjligheter när det gäller styrningen av installationerna som inte har utnyttjats i detta fall. Resultaten avseende energibalans månadsvis kan med vissa förutsättningar erhållas med acceptabel noggrannhet med en enklare datorberäkning eller t o m en handberäkning med stationära förhållanden. För att kunna studera icke-stationära förlopp är dock BRIS eller motsvarande datorprogram ett ovärderligt verktyg. I detta fall kan t ex den verkliga dygnssvängningen av temperaturen i de överglasade gånggatorna ges en teoretisk förklaring, där det påvisas att överluftsflödet från omgivande byggnader har mycket stor betydelse. Med förutsättningarna i Skärholmens Centrum var det dock faktiskt möjligt att i huvudsak förklara just skillnaden mellan natt och dag även med en handberäkning med stationära förhållanden.

## 7.6 Sammanfattning

Energibalansen för en stor överglasad anläggning är komplicerad, och det kan vara svårt att i förväg uppskatta hur överglasningen kommer att inverka. För det överglasade Skärholmens Centrum har resultat tagits fram baserade på ett omfattande material både när det gäller uppmätt energiförbrukning och beräknad energibalans. Resultaten utifrån mätningar och beräkningar kompletterar varandra, och ger sammantaget ett bra underlag för slutsatser avseende såväl energianvändning som temperaturförhållanden. Både mätningar och beräkningar avser förhållandena både med och utan aktiv uppvärmning av överglasningen med golvvärme.

Normalårskorrigerad uppmätt energiförbrukning för uppvärmning har bestämts månadsvis för en tioårsperiod, varav tre år före och sju år efter överglasningen av Skärholmens Centrum. Normalårskorrigeringen har gjorts utifrån genomsnittligt samband mellan uppmätt energiförbrukning per månad och aktuell månadsmedeltemperatur, vilket påvisades ge bättre resultat i detta fall än graddagskorrigering. En viktig slutsats i detta sammanhang är att man måste vara mycket försiktig med att korrigera med graddagar för de månader (vår och höst) då antalet graddagar är litet, eftersom korrektionsfaktorn då lätt blir orimlig.

Utifrån byggnads- och installationstekniska förutsättningar för det överglasade centret har en förenklad datormodell tagits fram för beräkningar med datorprogrammet BRIS. Anläggningens storlek och komplexitet medförde att detta arbete blev mycket omfattande, vilket bl a framgår av att indata omfattar 1 600 siffervärden och att programmet räknar med 288 variabler. En ny klimatfil för Stockholm har tagits fram, där temperaturens variation timme för timme är desamma som ett verkligt år, men där månadsmedeltemperaturerna samtidigt motsvarar ett normalår. Med denna klimatfil erhålls resultat som det är mycket rimligt att jämföra med normalårskorrigerad avläst energiförbrukning.

Mätresultaten visar att den genomsnittliga normalårskorrigerade energiförbrukningen för uppvärmning av hela anläggningen (överglasning + omgivande byggnader) har minskat med 2 respektive 7 % med respektive utan aktiv uppvärmning av överglasningen med golvvärme. Motsvarande värden enligt datorberäkningarna är 10 respektive 14 %. Om man i stället betraktar den specifika förbrukningen per m<sup>2</sup> golvvärme (som ju ökat efter överglasningen) ökar energibesparingen med respektive utan golvvärme till 7 respektive 12 % enligt mätningarna och 15 respektive 19 % enligt datorberäkningarna. Likartade resultat har även erhållits med betydligt enklare datorberäkningar med programmet AUTSOL och med stationära beräkningar.

Den genomsnittliga uppmätta energibesparingen på 7 % utan golvvärme motsvarar nästan 500 MWh/år eller ca 200 000 kr/år om energipriset antas 40 öre/kWh.

Resultaten avseende den uppmätta energiförbrukningen måste i detta sammanhang tolkas med viss försiktighet, eftersom dessa resultat påverkas mycket kraftigt av styrningen av uppvärmnings- och ventilationssystemen. Även resultaten utifrån datorberäkningarna bör tolkas med viss försiktighet, bl a med hänsyn till vissa förenklingar och något osäkra indata. Resultaten utifrån både mätningar och datorberäkningar visar dock på ett likartat resultat, där energibehovet för uppvärmning alltså har minskat tack vare överglasningen, trots att den användbara golvvärme har ökat med 4 000 m<sup>2</sup>.

Den större energibesparing som erhållits enligt datorberäkningarna visar sannolikt att en potential för energibesparing inte har utnyttjats fullt ut. Som exempel kan nämnas att ökat uteluftsflöde i omgivande byggnader (i stället för minskad värmeförlust) i praktiken kanske i hög grad kompenserar för de minskade värmeförluster från omgivande byggnader som överglasningen medför. I detta sammanhang är det intressant att notera att den normalårskorrigerade energiförbrukningen för uppvärmning av det överglasade Skärholmens Centrum successivt har minskat 1989-91, vilket motsvarar att uppmätt förbrukning kommit allt närmare det teoretiska datorberäknade värdet.

Den elförbrukning som tillkommit p g a överglasningen är måttlig i detta fall, och uppskattas till 1–2 % av uppvärmningsenergin för hela anläggningen. Överglasningens inverkan på omgivande byggnaders kylbehov bedöms vara marginell.

Med datorberäkningarna bestäms energibalansens sammansättning både med överglasningens golvvärme i drift och avstängd, där de dominerande bidragen av transmission och överluft från omgivande byggnader påvisas. Överglasningens uppmätta temperaturförhållanden beskrivs relativt väl och ges en teoretisk förklaring genom datorberäkningarna. För överglasningens temperatursvängning vintertid påvisas (av både dator- och handberäkningar) den dominerande inverkan av överluft från omgivande byggnader, trots att överluftsflödet utifrån mätningar har förutsatts motsvara bara 17 % av omgivande byggnaders totala uteluftsflöde.

Som ett resultat av detta forskningsprojekt har förvaltaren av Skärholmens Centrum fr o m vintern 88/89 medvetet ersatt praktiskt taget all uppvärmning av gågatorna med överluft från butikerna i stället för aktiv uppvärmning med golvvärmeslingor. Luften som strömmar ut från butikerna motsvarar i huvudsak gratis spillvärme, som före överglasningen försvann till ingen nytta. Den besparing som enligt datorberäkningarna har erhållits genom att stänga av golvvärmen motsvarar nästan 300 MWh/år eller över 100 000 kr/år om energipriset antas 40 öre/kWh. Potentialen för besparing var alltså betydande.

Den indirekta uppvärmningen med överluft kombineras i Skärholmens Centrum med ett i huvudsak bra termiskt klimat. Den viktiga slutsatsen av dessa resultat är att det vid projektering av stora överglasningar finns stora möjligheter att förbättra ekonomin dels genom att under vissa förutsättningar förenkla eller helt utesluta uppvärmningsinstallationer, och dels genom uppvärmning med i huvudsak gratis spillvärme. Denna gratis spillvärme i form av uppvärmd frånluft från omgivande byggnader finns tillgänglig i alla anläggningar, där frånluftens värmeinnehåll inte nyttiggörs på annat sätt (med t ex värmeväxlare eller frånluftsvärmepump).

Sammanfattningsvis visar såväl experimentella som teoretiska resultat att en stor överglasning i skandinaviskt klimat kan medföra en viss energibesparing; för Skärholmens Centrum påvisas en besparing av storleksordningen 10 %. Denna energibesparing kan kombineras med ett i huvudsak bra termiskt klimat, vilket framgår av bestämningar av både termisk komfort och temperaturförhållanden samt dessutom av kompletterande sociologiska undersökningar. Avslutningsvis påpekas att såväl energiförbrukning som termiskt klimat i mycket hög grad beror på den tekniska förvaltningen.



# 8 Fuktförhållanden och mykologi

## 8.1 Bakgrund och metodik

Skärholmens Centrum karakteriserades tidigare av att tidvis vara blåsigt, råkallt och fuktigt, se t ex figur 2.3 i Höglund et al. (1987). I samband med byggandet av överglasningen, som i sig är en effektiv klimatskärm, har ytterligare åtgärder vidtagits för att kontrollera fuktförhållandena. Så har t ex värmeslingor anordnats utanför entréerna och under de nya marmorklädda gågatorna, vilka också ventileras med mekanisk till- och frånluft. Den temperaturhöjning och ventilation som erhålls bör i kombination med en måttlig fuktavgivning förhindra att den relativa luftfuktigheten blir alltför hög. Av följande två skäl bör man undvika alltför hög relativ luftfuktighet:

- för att undvika kondens på kalla delar i de olika glaspartierna (mest kritiskt är köldbryggor i hörn o d där det inre värmeövergångstalet är lågt)
- för att minska riskerna för ökad mykologisk aktivitet (mögelsvampar utvecklas bäst hög relativ luftfuktighet).

En viktig fuktkälla under överglasningen härrör från *biologiska aktiviteter*, dels av människor (via utandning och svettning), dels av gröna växter som pryder anläggningen. Andra källor utgörs av snö, slask eller dylikt som dras in genom ytterentréerna och eventuell fuktig luft som strömmar ut från butiker m m.

En fördel från fuktsynpunkt är att man vid projekteringen av överglasningen avstod från att ordna dammar, fontäner etc, det vill säga fria vattenytor. Man har också förhållandevis få växter under överglasningen.

Luftfuktigheten för t ex en stor överglasning är relativt svårt att förutsäga med någon högre grad av noggrannhet. Luftfuktigheten påverkas såväl av total fuktavgivning (g/h) som av total ventilationsgrad (oms/h). Dessutom har ventilationseffektiviteten betydelse för i vilken utsträckning föroreningar och även ökad halt av vattenånga ventileras ut med frånluften. För att kvantifiera

fuktbelastningen inne anges det s k fukttillskottet ( $\text{g/m}^3$ ), vilket utgör skillnaden mellan den absoluta luftfuktigheten (ånghalten) inne och ute.

Fuktförhållandena har bestämts med fältmätningar på tre olika ställen under överglasningen och dessutom utomhus. Dessa bestämningar har utförts med termohygrografer (hårhygrometrar, Lambrecht 252) som kontinuerligt registrerar samhörande värden på temperatur och relativ luftfuktighet under en vecka i taget. Dessa bestämningar kompletteras av noggrannare, men momentana, bestämningar av fukt- och temperaturförhållanden med hjälp av en s k Assman-psykrometer (R. Fuess, Berlin-Steglitz).

Resultat och diskussion avseende *mykologi* grundas på Hyppel (1987). Allmänt gäller att byggnadsmykologiska effekter i form av mögelskador är ett växande problem i Sverige. Tidigare utgjorde luktproblemen i golvbjälklag den alldeles övervägande delen av rapporterade skador. På senare tid har emellertid bilden förändrats och en stor del av de nyare skadorna kan hänföras till energibesparings- och ventilationsåtgärder i både nya och äldre hus. Denna typ av skador uppträder ofta i form av omfattande mögeltillväxt på väggar och i tak i våtutrymmen, klädkammare och vindar.

Mögelproblemen upplevs på olika sätt. Förutom ansträngningarna att hålla utrymmena rena tillkommer oron för medicinska följder av exponering för mögelsvampar i form av mobila sporer som i vissa miljöer kan förorsaka akuta överkänslighetsreaktioner. Till detta kommer svårigheten att eliminera den synnerligen resistent mögellukt som häftar vid kläder, möbler och bohag av fibertyp.

För att mögelsvampar skall utvecklas måste vissa kriterier vara uppfyllda. Det finns t ex knappast några mögelsvampar som kan utvecklas i temperaturer understigande  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (inom *Cladosporium*släktet, som oftast förs till mögelsvamparna, finns dock arter som kan växa vid  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) medan normal inomhustemperatur nära nog representerar optimala betingelser. Fuktfaktorn växer i betydelse när relativa luftfuktigheten 70 % överskrids. Tillgång på näring av organiskt ursprung är en tredje och viktig faktor i sammanhanget.

Överglasningen medför i jämförelse med uteklimatet radikala miljöändringar i form av temperaturändring och sannolikt fukttillskott med risk för kondens. Till detta kommer anläggning av växtgrupper och möjligtvis också arrangemang med fria vattenytor. Tillsammans kan dessa faktorer öka förutsättningarna för utveckling av en mikroflora som ogynnsamt påverkar hälsotillståndet. Man kan här peka på aspergillosis i vissa sjukhusmiljöer och andra mera specifikt miljöanknutna sjukdomar som fliseldarsjuka, tröskdammlunga och justerverkssjuka.

Överglasningars mykologiska effekter är föga kända. På den stora miljökonferensen "Indoor Air 84" i Stockholm presenterades endast en undersökning i ämnet av totalt sexhundra rapporter. Denna har titeln "Molds in the air of greenhouse homes", Botzenhart et al. (1984) och omfattar studiet av mögelförekomst i luften i:

1. äldre växthus ombyggt till arkitektkontor
2. enfamiljshus med inbyggd växthusdel öppen mot boendedel
3. tropiskt växthus i botaniska trädgården i Tübingen.

Bestämningarna av sporhalterna visade att i det äldre växthuset fanns i genomsnitt under året 6 000 sporer/m<sup>3</sup> luft. Motsvarande siffra för utomhusluften var 2 000. I hus med växthusdel fanns 5 000 sporer/m<sup>3</sup> luft i växthusdelen men färre än 1 000 sporer i boendedelen. I det tropiska växthuset var sporhalten genomgående låg, möjligen beroende på recirkulerad luft renad i filter.

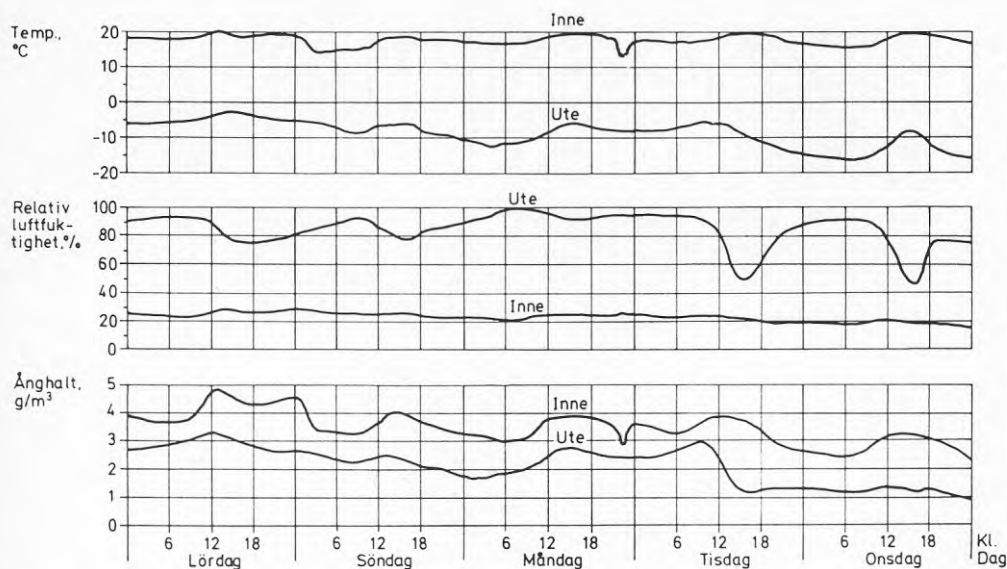
De insamlade mögelsvamparna tillhörde *Penicillium*- och *Cladosporium*-släktena. Endast enstaka fynd av den starkt allergena *Aspergillus fumigatus* registrerades. I krukjordar och på blad och stamdelar förekom mögelsvampar i högre frekvens än i omgivande luft. Här var *Aspergillus*-arter rikligt representerade.

Kunskap om följderna av de radikala förändringar som ombyggnad av utemiljö till en inneklimat miljö medför är således för närvarande inte dokumenterad. Det var därför angeläget att baskunskap om miljön insamlades såväl före ombyggnaden som efter färdigställandet av överglasningen av Skärholmens Centrum.

## 8.2 Luftfuktighet

I figur 8. 1 visas exempel på de resultat som erhållits under en kall vinterperiod, då fuktigheten skulle kunna ställa till bekymmer i form av kondens på glaspartier och på eventuella köldbryggor i konstruktionen. Under perioden i figur 8.1 var inomhusluften mycket torr, ca 20–25 % relativ luftfuktighet i genomsnitt.

Skillnaden mellan den verkliga ånghalten (mängd vattenånga/m<sup>3</sup> luft) inomhus och utomhus utgör under perioden ca 1 g/m<sup>3</sup>, vilket alltså utgör det s k



Figur 8.1. Resultat av temperatur- och luftfuktighetsbestämningar utförda med termohygrografer placerade dels under överglasningen i Lillholmsgången 3,5 m över golv ca 10 m innanför karuselldörren, dels utomhus på taket till hus N (i en SMHI:s mätbur). Bestämningarna gjordes 15–19 februari 1986.

Mer noggranna, men momentana, bestämningar har utförts med Assman-psykrometer. Härvid visade det sig att inomhusluften var ännu något torrare än vad som framgår av t ex denna bestämning med termohygrografer, beroende på dessas sämre noggrannhet.

fukttillskottet. Man finner en tendens till ökat fukttillskott under dagen, när många människor uppehåller sig i centret.

Resultat av något noggrannare, men momentana, bestämningar av fukt- och temperaturförhållanden med hjälp av en s k Assman-psykrometer framgår av tabell 8.1. Även utifrån denna bestämning framgår att fukttillskottet är litet, ca 0,3 g/m<sup>3</sup>. Det kan t ex jämföras med normalt fukttillskott i bostäder som ibland anges till 2–4 g/m<sup>3</sup>. Det är vidare rimligt om fukttillskottet *sommartid* är lägre p g a den större naturliga ventilationen.

Slutsatsen är sammanfattningsvis att luften är så torr att farhågor för negativa konsekvenser av fukttillskottet under överglasningen kan avskrivas. Luften är kanske t o m för torr vintertid; enligt den sociologiska undersökningen anser 36 % av de butiksanställda att luften tidvis känns för torr. Analysen stöds

Tabell 8.1. Resultat av bestämmningar med Assman-psykrometer fem olika dagar 1986. Medelvärden från 1–2 olika platser (1,1 m över golv) under överglasningen (inne) och 1 plats ute (Skärholmstorg) vid 2–3 olika tidpunkter mellan kl 10–18. Absoluta luftfuktigheten är omräknad till 20 °C.

Dag	Datum	Temp inne °C	Temp ute °C	Rel luftf inne %	Rel luftf ute %	Abs luftf inne g/m <sup>3</sup>	Abs luftf ute g/m <sup>3</sup>	Fukt till- skott g/m <sup>3</sup>
Må	4 aug	24,2	23,8	46	49	10,2	10,6	-0,4*
Fr	5 sept	20,8	13,0	50	80	9,1	8,9	0,2
Ti	7 okt	19,4	9,4	47	86	7,8	7,5	0,3
Fr	14 nov	17,7	5,4	38	79	5,6	5,2	0,4
Ti	16 dec	14,9	0,2	37	94	4,6	4,3	0,3

\* Det negativa tillskottet beror på väderomslag som medförde höjd luftfuktighet ute.

också av iakttagelserna rörande mykologisk aktivitet som redovisas i följande avsnitt 8.3. Sammanfattningsvis har projekteringen med hänsyn till fuktkällor varit bra, t ex värmeslingorna utanför ytterentréerna och undvikande av fria vattenytor (fontäner etc).

## 8.3 Mykologi

Följande undersökningar genomfördes som har direkt eller indirekt anknytning till mykologi:

- luftfuktighet vid ett representativt antal platser
- temperaturförhållanden vid ett representativt antal platser
- luftens halt av mögelsvampsporor
- artspektrum med speciell relation till hälsorisk
- förändringar i inbyggda material beroende på mikrosvampar
- intervjuundersökning avseende luftkvalitet.

Bestämning av luftens halt av mögelsporer gjordes vid fem olika tillfällen under de två första åren efter överglasningens färdigställande. Bestämningarna har gjorts vid olika årstider och både under överglasningen och utomhus, se tabell 8.2.

De erhållna värdena på totalhalten vitala mögelsporer är synnerligen låga vid den aktuella provplatsen under överglasningen i Skärholmens Centrum. Vid provtagningarna i maj 1985 och 1986 förekom ca 150 respektive 155 sporer per m<sup>3</sup> luft, vid provtagningarna i februari, september och december 1986 blev värdena betydligt lägre, mellan 40 och 70 sporer/m<sup>3</sup>. Resultaten av mätningarna utomhus visar helt naturligt en större spridning än inomhus. Som mest infångades 250 mögelsporer per m<sup>3</sup> luft i maj 1985 men endast 2 sporer i september 1986.

Tabell 8.2. Resultat av bestämningarna av luftsporhalten i Skärholmens Centrum, där "inomhus" är inne i en överglasad gågata, Hyppel (1987).

Provplats	Inomhus/ Utomhus	Datum	Antal mö- gelsporer per m <sup>3</sup> luft	Övrigt per m <sup>3</sup> luft	Förhärskande art av mikro- organism
Byholmsgången 1-3	Inomhus	85-05-28	150	-	Penicillium cf chrysogenum
Bredholmsgatan 16	Utomhus	85-05-28	250	-	P. sp. Aspergillus sp
Byholmsgången 1-3	Inomhus	86-02-28	40	30	P. chrysogenum
Bredholmsgatan 16	Utomhus	86-02-28	20	20	Övrigt = gråbakterier
Byholmsgången 1-3	Inomhus	86-05-27	155	-	Aspergillus versicolor
Bredholmsgatan 16	Utomhus	86-05-27	28	-	Penicillium chermesinum
Byholmsgången 1-3	Inomhus	86-09-09	50	-	Cladosporium sphaerosp.
Bredholmsgatan 16	Utomhus	86-09-09	2	-	Penicillium sp
Byholmsgången 1-3	Inomhus	86-12-18	70	10	Paecilomyces variotii
Bredholmsgatan 16	Utomhus	86-12-18	220	-	Cladosporium herbarum

Med utgångspunkt från de ovan redovisade resultaten kan man dra den slutsatsen att i den överglasade Byholmshöjningen förekommer så få mögelsporer att miljön kan bedömas som riskfri att vistas i ur mykologisk synpunkt. Stickprovsmätningar i kontorsmiljö visar enligt Arbetarskyddsfondens rapport 1983 att 100 mögelsporer/m<sup>3</sup> luft är "normalt". För daghem varierar värdena mellan 1 000 och 10 000 sporer i luften. De diagnostiserade mögelsvamparna tillhör vanliga s k "trivialsvampar" och är inte kända som orsak till överkänslighetsreaktioner. Det kan dock självfallet inte uteslutas att en liten grupp speciellt känsliga personer – atopiker – kan reagera för en viss mögelsvampart även om denna förekommer i ringa omfattning.

## SAMMANFATTNING

Bestämningar av fuktförhållandena för överglasningen i Skärholmens Centrum under olika årstider visar att fukttillskottet är lågt, oftast 0–1 g/m<sup>3</sup>. Typiska värden på den relativa luftfuktigheten är 20–40 % vintertid och 30–60 % sommartid. Dessa låga värden förklaras av luftens temperaturhöjning i förhållande till uteluften och dessutom av att fuktavgivningen är liten i förhållande till ventilationen. Den torra luften innebär att problem med kondens är praktiskt taget uteslutet i detta fall. Det kan tilläggas att sammanställningar från ett stort antal överglasningar visar att kondens är ett relativt ovanligt problem, se Dreier (1986), Carlson et al. (1988) och Augustson et al. (1991).

Överglasningen saknar i detta fall dammar, fontäner etc, det vill säga fria vattenytor. Man har också förhållandevis få växter under överglasningen. Det är vidare av mycket stor betydelse att den överluft som tillförs från omgivande byggnader är relativt torr, eftersom denna överluft dagtid dominerar för överglasningens luftomsättning.

Beträffande mykologi kan sammanfattningsvis konstateras att överglasningen av Skärholmens Centrum inte medfört några hälsorisker som kan hänföras till antalet mikrosvampsporer i inomhusluften. Överglasningen har inte medfört någon förhöjd mykologisk aktivitet till följd av ändrade klimatförhållanden i jämförelse med det som tidigare var uteklimat. Dessa gynnsamma resultat beträffande mykologi är logiska när den relativa luftfuktigheten är så låg som i detta fall.

# 9 Akustik

## 9.1 Bakgrund och problemställning

Akustikfrågorna har inom detta forskningsprojekt studerats i två etapper. Under hösten 1984 utfördes mätningar av efterklangstider och bullernivåer omedelbart före och efter överglasningens tillkomst. Dessa mätningar visade att överbyggnaden medförde en kraftig ändring av akustiken i gågatorna. Ändringen var så stor att en närmare undersökning av effekten av olika åtgärder utfördes med hjälp av en datorsimulering. I Ljunggren (1986) och Höglund et al. (1987) sammanfattas och diskuteras resultaten från denna första etapp.

Resultat från den första etappen tydde på intressanta möjligheter att förbättra akustiken genom att öppna butiksentréerna som vetter mot de överglasade gågatorna. En andra etapp, som liksom den första innefattar såväl fältmätningar som datorberäkningar, har därför beskrivits och kvantifierats de öppna entréernas inverkan på akustiken, vilket kompletterar den tidigare undersökningen av hur själva överglasningen påverkar akustiken. Resultat från denna andra etapp framgår av Rudolphi (1990).

I detta kapitel ingår resultat från båda dessa etapper. Förklaringar av använda storheter m m framgår av avsnitt 9.2

Ur akustisk synvinkel kan effekten av överbyggnaden beskrivas som att ljudabsorptionsmängden hos gatorna minskar. Detta beror på att det före överbyggnaden fanns en relativt stor mängd öppna ytor. Dessa kan betraktas som totalabsorberande, de reflekterar ju inget ljud. När gatorna däremot byggs över, kommer ljudet att reflekteras. Skillnaden kan därför ses som en absorptionsminskning som i sig medför att efterklangstiden blir längre (mer ekon) och att bullernivån blir högre. Man kan på förhand bedöma att ökningen i bullernivå inte kommer att bli särskilt stor. I förbindelse med den förlängda efterklangstiden blir effekten utan andra vidtagna åtgärder dock en "råare" ljudkaraktär i gatorna.

Lång efterklangstid ger ett slags anonymitetsskydd genom att det är svårt att lokalisera en ljudkälla i ett rum med lång efterklangstid. När det gäller



övertäckta gågator i allmänhet måste ett ökat akustiskt anonymitetsskydd tillsammans med en råare ljudkaraktär i gatorna ses som en väsentlig förändring. Om ändringen är stor synes sådana ändringar kunna påverka beteendet i negativ riktning hos dem som vistas i miljön. Blir ändringen mycket stor, måste man också räkna med att publikens sammansättning kan komma att ändras.

I fallet Skärholmen finns det sannolikt goda möjligheter att i efterhand påverka akustiken om det skulle visa sig vara erforderligt. En möjlighet är här att montera ljudabsorbenter exempelvis på undersidan av utskjutande takpartier. En annan möjlighet är att göra större öppningar mellan gatorna och butikerna, varigenom absorptionsmängden också ökas.

Syftet med denna undersökning har därför varit att bestämma den ändring i bullernivå och efterklangstid som överbyggnaden medfört samt att undersöka effektiviteten av de båda typer av åtgärder som nämns ovan.

## 9.2 Storheter och mät- och beräkningsmetoder

### EFTERKLANGSTID

Efterklangen för ett rum har stor betydelse för akustiken (ljudmiljön). Ett vanligt sätt att kvantifiera efterklangen är att beräkna eller mäta efterklangstiden, som definieras som den tid det tar för ljudtrycksnivån att minska 60 dB efter det att ljudkällan stängts av. Efterklangstiden,  $T$ , för ett rum kan approximativt beräknas med Sabines formel:

$$T = 0,16 \cdot V/A \quad (\text{s}) \quad (9.1)$$

där

$V$  = rummets volym ( $\text{m}^3$ )

$A$  = absorptionsarean ( $\text{m}^2 \text{S}$ )

Sabines formel är i princip alltmer approximativ ju mer rummets form avviker från att vara kubiskt. Absorptionsarean ( $\text{m}^2 \text{S} = \text{m}^2 \text{Sabin}$ ) beräknas genom att multiplicera arean för varje delyta i rummet med dess absorptionsfaktor och sedan summera bidragen.

Efterklangstiden kan mätas med en impuls, t ex ett pistolskott, eller brus. Efterklangstiden varierar med frekvensen och redovisas därför antingen för en viss frekvens eller som funktion av frekvensen i oktav- eller tersband.

#### EARLY DECAY TIME, EDT

Ett alternativt sätt att kvantifiera efterklangsen är att beräkna eller mäta Early Decay Time, EDT, (ung. tidig efterklangstid) som definieras som den tid det tar för ljudnivån att minska 10 dB efter det att ljudkällan stängts av multiplicerat med 6. EDT tar alltså bara hänsyn till efterklangsförloppets första del, vilken erfarenhetsmässigt har störst betydelse för taluppfattbarheten. Ett rum med kort EDT har goda förutsättningar för tydlig ljudbild och god taluppfattbarhet.

#### SPEECH TRANSMISSION INDEX, STI

Speech Transmission Index, STI, (ung. talöverföringsindex) är en storhet som ger en indirekt kvantifiering av taluppfattbarheten för ett rum. Vid mätning av STI sänds en testsignal som består av amplitudmodulerat brus ut genom högtalare och analyseras på mottagarsidan. Bakgrundsbuller och efterklang orsakar en utslätning av signalen, d v s en minskning av modulationsamplituden. Ur modulationsminskningen kan ett värde på STI beräknas. STI kan även erhållas med en strålgångsberäkning. STI kan variera mellan 0 och 1 där 1 motsvarar förlustfri överföring, d v s perfekt taluppfattbarhet.

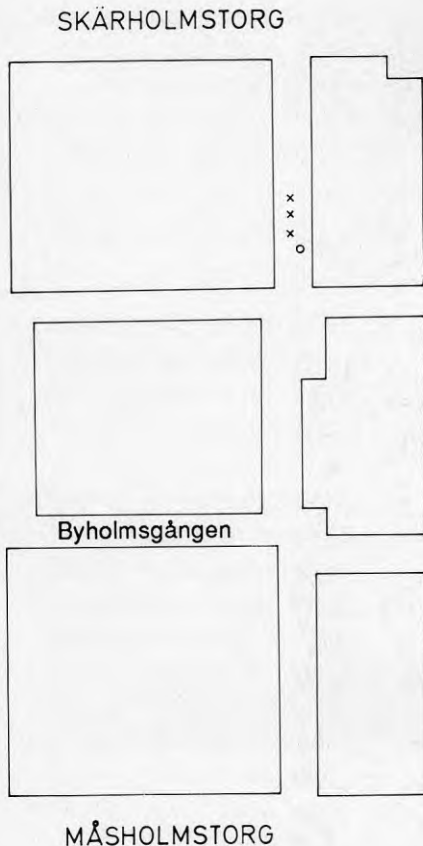
#### STRÅLGÅNGSBERÄKNING

Traditionella beräkningar av efterklangstid och ljudnivå grundar sig på antagandet att ljudet reflekteras så att det fördelar sig jämnt i hela rummet. Detta är en god approximation för de flesta rum, där rummets form inte avviker alltför mycket från att vara kubiskt. För mycket långsmala rum, som t ex övergladsade gågator, stämmer antagandet om jämnt fördelat ljud dåligt, varför det då är motiverat med datorsimuleringar för noggrannare studier.

Vid datorsimulering med en sk strålgångsberäkning definieras rummets geometri i en dator med koordinater och delytorna tilldelas absorptionsfaktorer. I rummet placeras en ljudkälla och ett antal mottagarsfärer, d v s tänkta öron eller mikrofoner. Ljudkällan skickar ut ett stort antal strålar (ljudstrålar) i alla riktningar som reflekteras eller absorberas i rummets ytor. Datorn registrerar när strålarna träffar en mottagarsfär. Ur denna information kan efterklangstid m fl akustiska storheter beräknas för varje mottagarpunkt.

## 9.3 Överglasningens inverkan

Avsikten med dessa mätningar var att bestämma efterklangstid och buller under jämförbara förhållanden före respektive efter det att överglasningen var färdigställd. Mikrofonens placering i den norra delen av Storholmsgatan framgår av figur 9.1. Mikrofonen hängdes längst ut på det utskjutande takpartiet och ungefär 75 cm under dettas underkant.



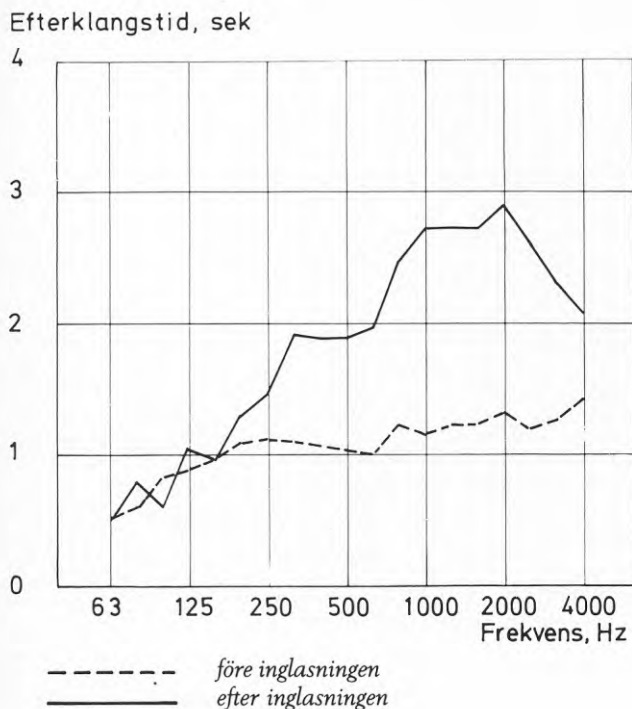
*Figur 9.1. Placering av mikrofon (o) och ljudkälla (x), vilka använts för att studera överglasningens inverkan (avsnitt 9.3).*

*Markerad är även Byholmsgången, där studier gjordes av öppna butiksentréers inverkan (avsnitt 9.4).*

### 9.3.1 Mätresultat

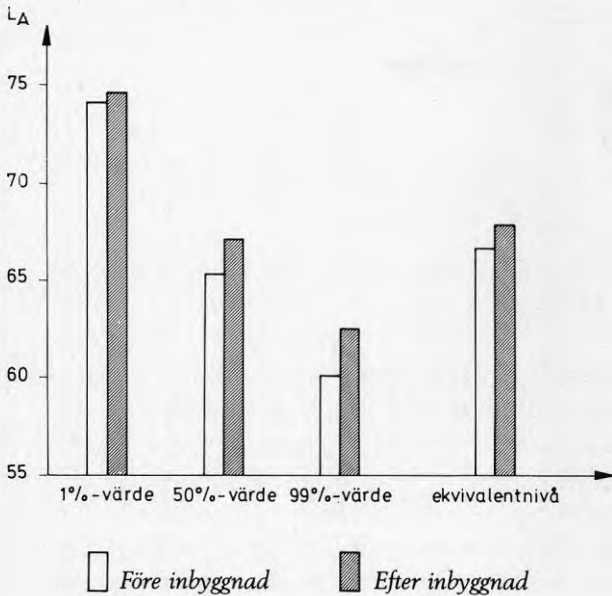
I figur 9.2 redovisas medelvärdena av efterklangstiden (3 skott i vardera 3 positioner) före och efter inbyggnad. Som synes har överglasningen medfört en kraftig förlängning av efterklangstiden, speciellt vid höga frekvenser.

Bullernivåerna har mätts under en lördag kl 08.00–16.00 före (84-10-06) respektive efter (84-12-08) överglasningen. Resultaten visar att överbyggnaden gett en viss höjning av grundbullernivån (2,5 dB) medan toppnivån endast påverkats marginellt (0,5 dB), se figur 9.3. Detta är vad som kan förväntas; grundbullernivån bestäms i hög grad av ljud som reflekterats i olika ytor och eftersom mängden reflekterande ytor har ökats i och med inbyggnaden bör därför rimligen grundbullernivån öka. Toppnivåerna däremot bestäms av ljudkällor som befinner sig nära mikrofonen. I detta fall påverkas ljudutbredningen relativt litet av reflekterande ytor varför bullerökningen också bör vara mindre.



Figur 9.2. Uppmätt efterklangstid, medelvärden, före och efter överglasningen.

Överglasningen har medfört en förlängning av efterklangstiden vid höga frekvenser. Anledningen till att efterklangstiden inte förlängts vid de låga frekvenserna är att överbyggnaden här är utförd av plastpaneler, som har stor ljudabsorption inom området 63–250 Hz.



*Figur 9.3. Uppmätta bullernivåer under jämförbara dagar före respektive efter överglasningen.*

*1 %-värde anger den A-vägda nivå som över-skrids 1 % av tiden etc. Toppnivån har ökat mindre än grundnivån.*

Det kan också tilläggas, att bytet av golvmaterial från mörkt marktegel till ljus marmor skedde samtidigt med överglasningen. Detta har medfört att golvet blivit slätare och vackrare. Den nya golvbeläggningen har också medfört att bullret från skramlande varuvagnar blivit betydligt mindre framträdande – från att tidigare ha varit dominerande.

## 9.3.2 Datorsimuleringar

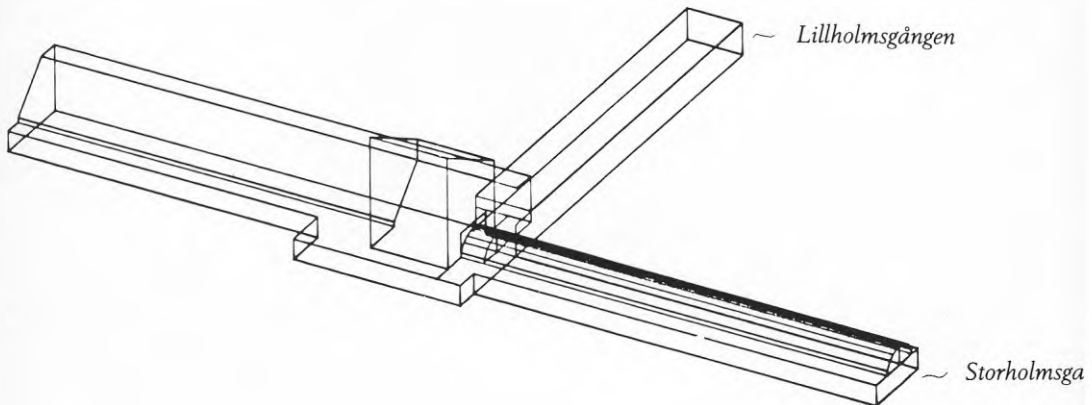
Allmänt gäller att det finns två olika möjligheter att genom byggnadstekniska åtgärder minska efterklangstiden; öppningar eller ljudabsorberande material. I detta fall kan öppningar erhållas av öppna butiksentréer och ljudabsorberande material skulle kunna placeras under utskjutande tak. Genom att gaturummet är extremt långsmalt blir konventionella beräkningar av effekten av sådana åtgärder tämligen osäkra. I stället har en datorbaserad analys, en s k strålgångsberäkning utförts.

Följande fem fall har analyserats:

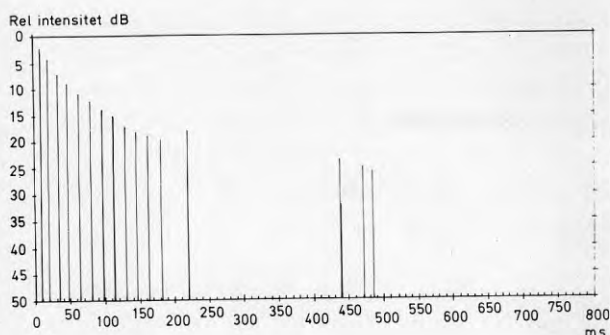
- 1 före överglasning
- 2 överglasning i befintligt skick
- 3 överglasning med extra ljudabsorbenter under utskjutande tak
- 4 överglasning med öppningar in mot butiker
- 5 överglasning med extra ljudabsorbenter under utskjutande tak och med öppningar in mot butiker.

Denna undersökning utfördes med hjälp av en datorsimulering av ljudutbredningen. Därvid förutsattes att ljudkälla och mikrofon har samma placering som vid de utförda mätningarna. Den använda rumsgeometrin, d v s den geometriska modellen, framgår av figur 9.4. I modellen tas hänsyn till att olika ytor reflekterar ljud olika kraftigt genom att varje yta modelleras med en absorptionsfaktor. Vid beräkningen låter man ljudkällan sända ut ljudstrålar i alla riktningar. Dessa reflekteras i en mängd ytor till de efter en viss tid når mottagarpunkten. Resultaten framgår av figur 9.5–9.7.

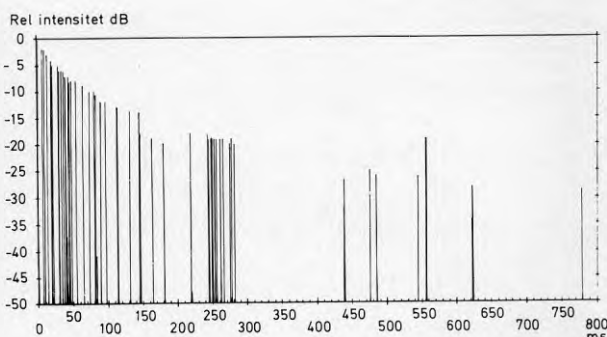
I figur 9.6 visas reflexionsmönstret efter ombyggnad vid frekvensen 2 000 Hz. Som synes finns här en kraftig ansamling av reflexer med en tidsfördröjning om ca 250 ms. Det är väl känt att en anhopning av reflexer av detta slag upplevs som ett hörbart eko och därigenom ger en "otrevlig" akustik. Anledningen till detta mycket ojämna förlopp är följande. Diagrammet gäller för det fall att gatan är helt glasad mot butikerna och utan extra ljudabsorbenter.



Figur 9.4. Vy av den vid datasimuleringar använda geometriska modellen, sedd snett uppifrån.

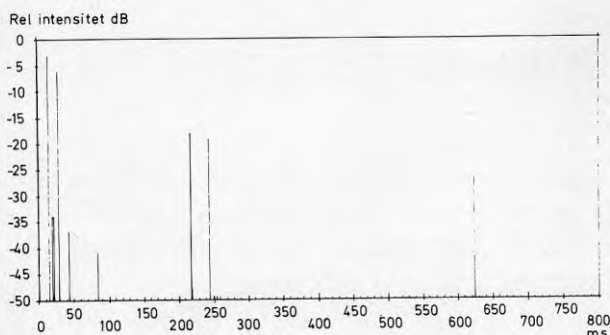


*Figur 9.5 Reflexionsmönstret före överglasningen. I detta fall bestäms förhållandena av det ljud som står och studsar mellan butiksfasaderna (fall 1, frekvens 2 000 Hz).*



*Figur 9.6. Reflexionsmönstret med överglasningen i befintligt skick. Taket ger här en ökning i antal av de reflexer, som kommer omedelbart efter direktljudet (tidsfördröjning mindre än ca 100 ms). Taket medverkar dessutom till att en relativt stor del av*

*ljudet transporteras längs med gatan och reflekteras i glasfasaden vid Skärholmstorg. Dessa reflexer kommer åter efter ca 250 ms (fall 2, frekvens 2 000 Hz).*



*Figur 9.7. Reflexionsmönstret med kontinuerlig öppning in mot butiker på båda sidorna av gatan. Dessa öppningar fungerar här som ljudabsorbenter vilket kraftigt reducerar antalet reflexer (fall 4, frekvens 2 000 Hz).*

En relativt stor mängd ljud kommer då att transporteras i gatans längdriktning. Den del av ljudet som går i nordlig riktning reflekteras vid glasfasaden mot Skärholmstorg och går sedan tillbaka till mottagarpunkten. En del av ljudet går i zick-zack mellan fasaderna. Detta ljud går en något längre sträcka och kommer därför fram något senare än det ljud som reflekteras direkt i kortväggen. Detta medför att det blir tämligen många strålar som så småningom når mottagaren.

Ur figur 9.5 framgår att ansamlingen av reflexer inte funnits före överglasningen. Figur 9.7 slutligen visar vidare att denna effekt till stor del försvinner om butikerna öppnas mot gatan. Däremot har en ljudabsorbent under det utskjutande skärmtaket mycket liten effekt på detta ekofenomen. Resultaten vid 500 Hz och 1 000 Hz skiljer sig inte nämnvärt från dem vid 2 000 Hz.

Slutsatserna är därför att överbyggnaden för den förhållandevis låga norra delen av Storholmsgatan har medfört en viss ökning av grundbullernivån (2,5 dB). Denna ökning bedöms inte vara speciellt väsentlig.

Viktigare är i stället ändringen i efterklangstid. Dels har efterklangstiden kraftigt förlängts, dels har den fått en finstruktur med ett tydligt eko. Förändringarna är så stora att de bedöms påverka upplevelsen av gatans karaktär i negativ riktning.

Undersökningen visar dock att möjligheten finns att påtaglig förbättra akustiken om butikerna i större utsträckning öppnas mot gatan. Många ombyggnader av detta slag har genomförts efter denna undersökning. I det följande, avsnitt 9.4, beskrivs närmare hur de öppna entréerna inverkar på akustiken.

## 9.4 Öppna butiksentréers inverkan

Efterklangstider och impulssvar mättes före och efter butikernas öppnande. Mätresultaten låg till grund för datorsimuleringar genom strålgångsberäkningar. I datormodellen kunde ett valfritt antal (tänkta) butiksentréer öppnas, vilket tillförde resultat som inte kunde erhållas med fältmätningar.

Som undersökningsobjekt valdes Byholmsgången, se figur 9.1. Denna del av överglasningen har relativt enkel geometri och är någorlunda avgränsad. Byholmsgången är därför lämplig att använda för datorsimuleringar och ger större möjligheter till generella slutsatser än överglasade delar med mer



komplicerad geometri. Den största öppna butiksentrén (35 m<sup>2</sup>) finns också i Byholmsgången.

Den överglasade Byholmsgången har dimensionerna ca 70 x 9 x 10 m (längd x bredd x höjd). I Byholmsgångens ena ände finns en rökasskärm av glas som täcker ca halva gatans tvärsnitt, medan den undre halvan är helt öppen mot Storholmsgatan och dess 21 m höga glasade torn. Den andra änden utgörs av ett vertikalt glasparti med en ytterentré i form av en stor karusell-dörr. Väggarna består huvudsakligen av betongelement med mineralullsisolering och skyltfönster med enkelglas, d v s väggytorna mot den överglasade gågatan utgörs huvudsakligen av betong och glas. Taket utgörs av utskjutande betongkassetter (isolerade på ovansidan, d v s betong inåt) och ett smalt (1,5 m brett) mellanliggande glasparti. Golvet är klätt med marmor. Ljudabsorbenter saknas helt. En tvärsektion framgår av figur 3.13.

Butiksentréer mot Byholmsgången som är helt öppna under affärstid utgörs av entréerna till en livsmedelsaffär (35 m<sup>2</sup> öppen yta), ett varuhus (8 m<sup>2</sup>), en fotoaffär (5 m<sup>2</sup>) och en blomsteraffär (2 m<sup>2</sup>). Byholmsgången, som utgör ca 1/5 av det överglasade Skärholmens Centrum, har därmed 50 m<sup>2</sup> öppna butiksentréer under affärstid. För hela det överglasade Skärholmens Centrum finns 240 m<sup>2</sup> öppna butiksentréer (uppmätt 1986, dock ingen större skillnad 1989), d v s Byholmsgången är i det avseendet representativ för hela det överglasade Skärholmens Centrum.

### 9.4.1 Mätresultat

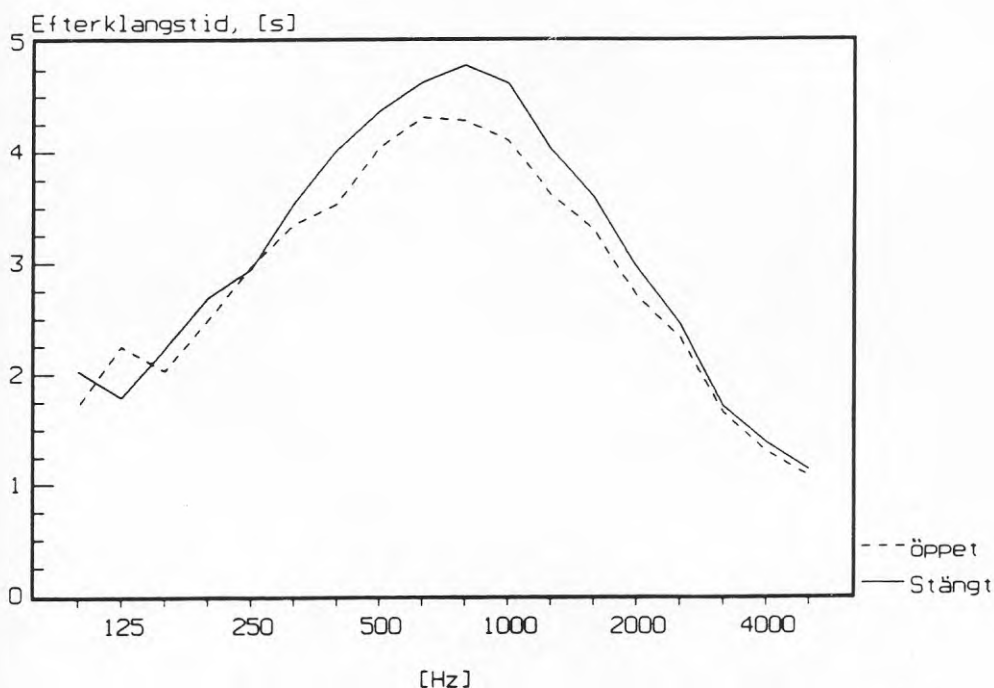
Fältmätningarna gjordes på förmiddagen tisdag 5 dec 1989 före och efter butikernas öppnande i Byholmsgången. Platsen för mätningarna var mitt framför den stora entrén till livsmedelsaffären, eftersom inverkan på akustiken av öppna entréer kan förväntas vara störst på denna plats. Bestämning av efterklangstid och EDT gjordes med en brussignal vid ca 90 dB(A) ljudnivå som först fick fylla rummet innan den bröts. Vid bestämning av efterklangstiden användes (p g a bakgrundsbrus) den tid det tog för ljudnivån att minska 30 dB, vilket omräknades till motsvarande efterklangstid, d v s tiden till 60 dB minskning.

Som framgår av beskrivningen i början av avsnitt 9.4 kännetecknas Byholmsgången av stor volym och huvudsakligen hårda omgivande ytor, d v s liten absorptionsarea. Enligt Sabines formel (avsnitt 9.2) bör efterklangstiden bli

lång med dessa förutsättningar, även om Sabines formel i första hand gäller för mer kvadratiska rum.

Som framgår av figur 9.8 är efterklangstiden lång, och allra längst för frekvenser mellan ca 500 och 1 000 Hz. Vid mättillfället kunde man mycket väl höra att efterklangstiden var lång genom att ljudnivån endast avtog långsamt efter det att brussignalen bröts. Vid låga frekvenser verkar framförallt glasytorna som absorberer och förkortar efterklangstiden. Vid höga frekvenser är det framförallt luftens absorption som förkortar efterklangstiden.

Resultaten från mätningarna av EDT redovisas och kommenteras samtidigt med motsvarande resultat av datorberäkningar i följande avsnitt 9.4.2.



Figur 9.8. Efterklangstid före och efter butikernas öppnande. Skillnaden beror på ljudabsorptionen av de totalt 50 m<sup>2</sup> butiksentréer som är öppna under affärstid i Byholmsgången.

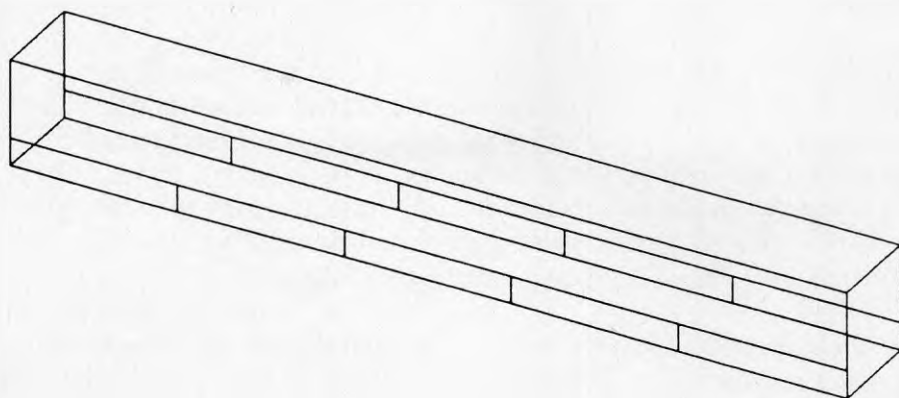
Som framgår är efterklangstiden betydligt längre här i Byholmsgången i jämförelse med i norra delen av Storholmsgatan, figur 9.2. Denna skillnad beror främst på att olika takhöjd medför olika volym, jämför figurerna 3.8 och 3.13.

## 9.4.2 Datorsimuleringar

Datoranalys med s k strålgångsberäkning utgår från en geometrisk modell som på ett förenklat sätt efterliknar det verkliga rummet. Beräkningsprincipen framgår kortfattat av avsnitt 9.2. Erfarenheter visar att verklighetsnära resultat kan erhållas även med starkt förenklade geometriska modeller, d v s kraven på den geometriska modellen är inte speciellt höga.

Den geometriska modellen av Byholmsgången framgår av figur 9.9. Skyltfönster med höjden 2,5 m har lagts in längs gatans båda sidor. Skyltfönstren delades in i tio delytor om vardera  $2,5 \times 16,8 \text{ m} = 42 \text{ m}^2$ , där öppna / stängda butiksentréer simuleras genom att ändra delytornas absorptionsfaktor. En öppnad delyta motsvarar ungefär verkliga förhållanden under affärstid. Följande absorptionsfaktorer användes:

<u>Material</u>	<u>Absorptionsfaktor</u>
Betong och golvmarmor	0,02
Glas och gipsskivor	0,05
Öppning mot Storholmsgatan	0,50
Slitsade gipsskivor	0,60
Öppna butiksentréer	0,90



Figur 9.9. Den använda datormodellen av den överglasade Byholmsgången. De tio delytor med vardera  $42 \text{ m}^2$  yta framgår som simulerar öppna / stängda butiksentréer.

För öppna butiksentréer har alltså absorptionsfaktorn 0,90 antagits. För Byholmshölgångens öppning mot Storholmshölgatan (mot ett 21 m högt glasat torn) gäller att absorptionsfaktorn är svår att uppskatta. Här används värdet 0,50.

Fem olika alternativ provades med olika tillskott i absorptionsarea, där alternativ 2 ungefär motsvarar verkliga förhållanden under affärstid:

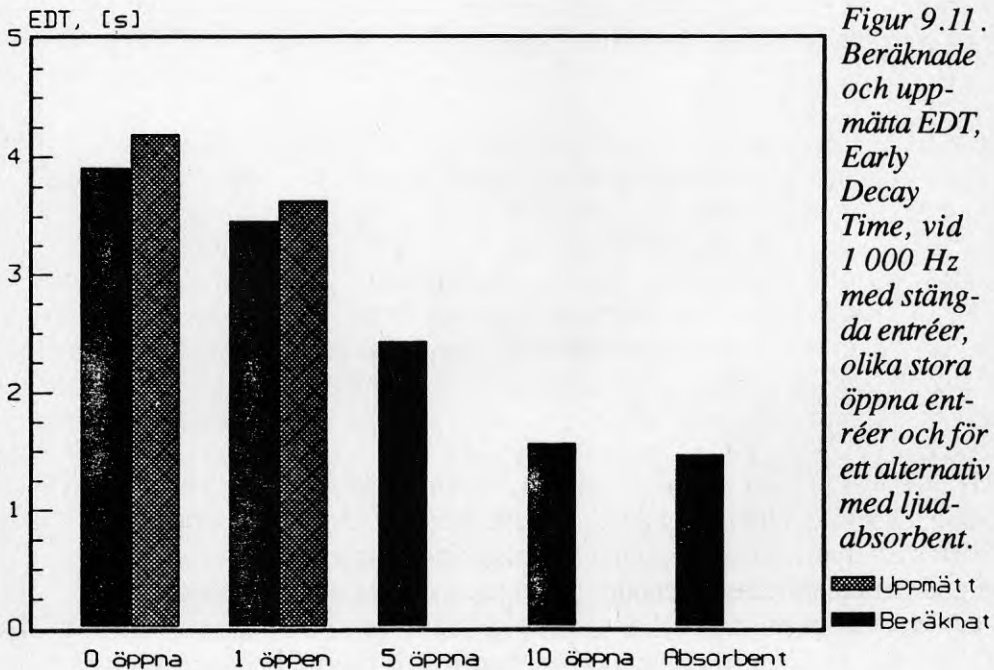
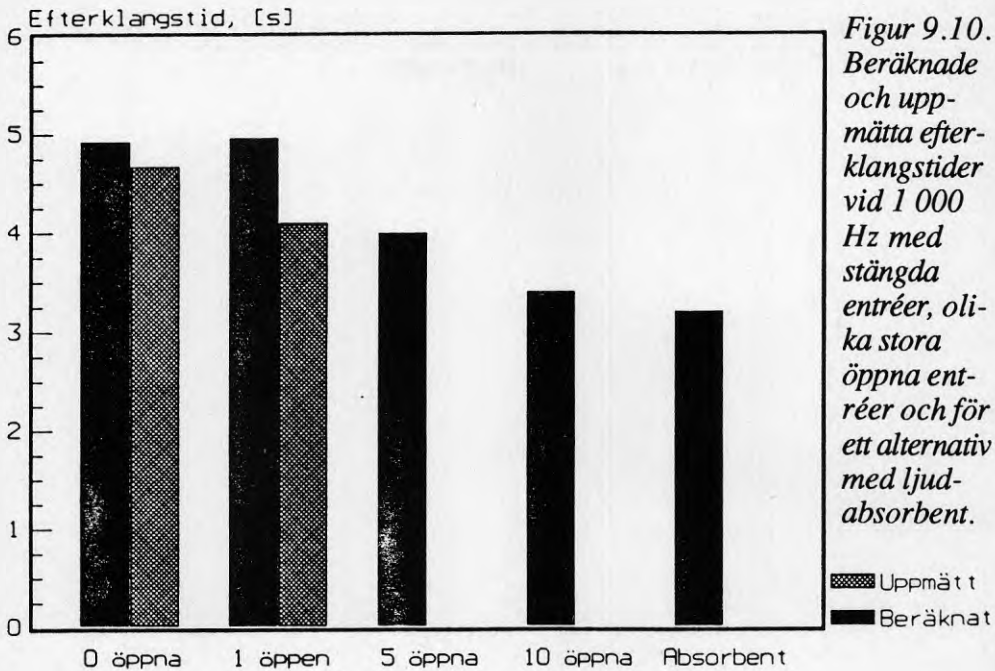
<u>Alternativ</u>	<u>Tillskottsabsorption, m<sup>2</sup> S</u>
1 Alla entréer stängda	0
2 En delyta öppen framför ljudkällan	37
3 Fem delytor (varannan) öppna	187
4 Tio delytor (alla) öppna	374
5 En långvägg täckt med absorbent motsvarande slitsad gipsskiva ovanför skyltfönstren.	355

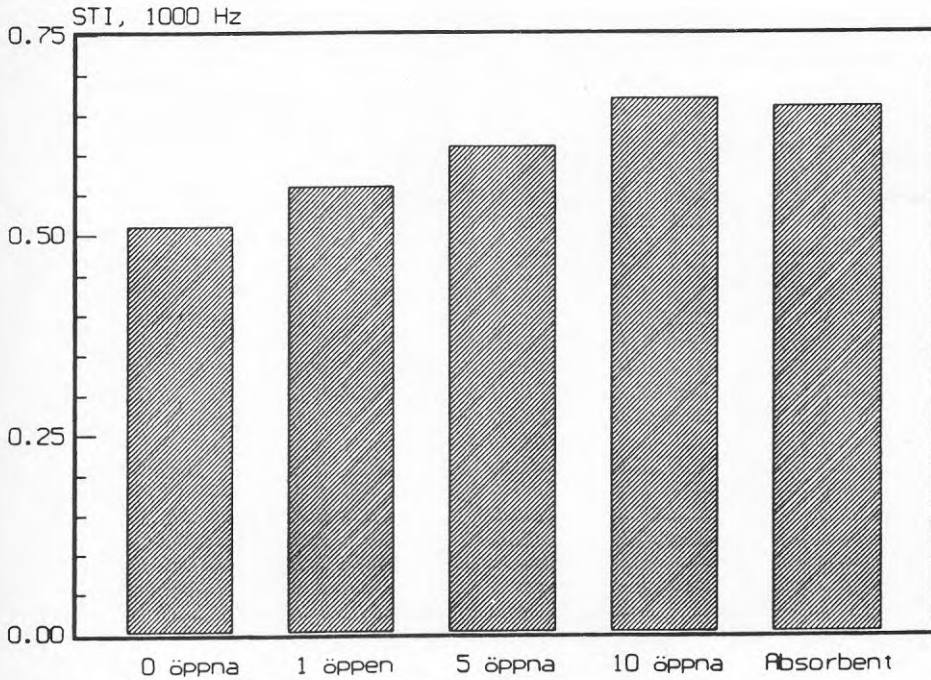
En ljudkälla placerades mitt i rummet. Mottagarsfärer (tänkta öron eller mikrofoner) placerades 3,75, 7,5, 15 och 30 m från ljudkällan. Beräkningarna gjordes för oktavbandet kring 1 000 Hz (710 – 1 400 Hz). Figur 9.10 visar beräknad efterklangstid 3,75 m från ljudkällan. Mindre bidrag till rummets absorption som t ex flaggor och växter har inte tagits med i datormodellen. Detta kan förklara varför beräknade tider blir något längre än i verkligheten.

Figur 9.11 visar beräknad EDT 3,75 m från ljudkällan. En jämförelse visar att absorptionen påverkar EDT i betydligt högre grad än den vanliga efterklangstiden.

I strålgångsberäkningen simuleras en impuls, d v s ett pistolskott eller liknande. I en stor volym blir tidsskillnaden mellan reflexerna stor och bestämningen av efterklangstiden därmed vanskelig. Detta förklarar varför efterklangstiden beräknats bli något längre med en öppen delyta än med alla stängda. Mätningarna däremot gjordes med en brussignal som först fått fylla lokalen innan den bröts. Denna metod jämnar ut diskreta reflexer och ger därmed ett säkrare mått på efterklangstiden i stora lokaler.

Beräknade värden på STI varierar mellan 0,51 med alla entréer stängda och 0,67 med alla delytor öppna, se figur 9.12. En sådan förändring bör upplevas som en avsevärd förbättring av akustiken. Erfarenhetsmässigt innebär STI 0,5 att man uppfattar tal med viss ansträngning, medan STI 0,7 motsvarar fullgod taluppfattbarhet. Beräkningarna tar inte hänsyn till den minskning i bakgrundsnivå som är en följd av den ökade absorptionen. Sannolikt är alltså skillnaderna i STI i verkligheten något större än beräknat.



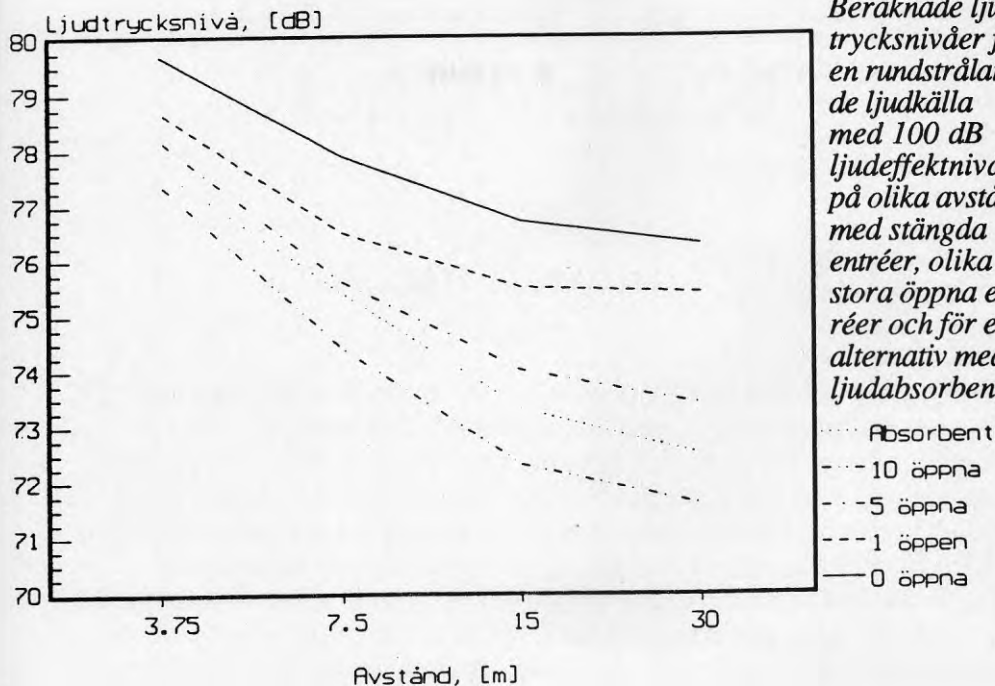


Figur 9.12. Beräknade värden på STI, Speech Transmission Index, på 3,8 m avstånd vid 1 000 Hz med stängda entréer, olika stora öppna entréer och för ett alternativ med ljudabsorbent.

Figur 9.13 visar de olika alternativens inverkan på ljudnivån i Byholmsgången. Av intresse är i första hand *skillnaden* mellan olika alternativ och inte absoluta ljudtrycksnivåer.

Beräkningarna av ljudnivå har gjorts med *en* ljudkälla, medan den verkliga ljudnivån (bakgrundsnivån) sätts samman av ett flertal källor. Som framgår av figur 9.12 är utbredningsdämpningen inte försumbar och ljudkällor i lyssnarens närhet kommer därför att dominera bakgrundsnivån. Dämpningen av den totala bakgrundsnivån torde alltså ligga närmast dämpningen för den närmaste ljudkällan.

Figur 9.13 visar att en långvägg täckt med absorbent är ett något mindre effektivt alternativ än öppna entréer, trots en större absorptionsarea. Detta är logiskt eftersom absorbenter (eller öppningar) nära ljudkällan dämpar bättre än absorbenter på avstånd.



## SAMMANFATTNING

Akustiken har studerats genom såväl fältmätningar som datorsimuleringar. En stor överglasning visade sig, som väntat, medföra endast något ökad bullernivå men betydligt längre efterklangstid. Ökningen av bullernivå bedöms inte vara speciellt väsentlig. Viktigare är i stället ändringen i efterklangstid. Dels har efterklangstiden kraftigt förlängts, dels har den fått en finstruktur med ett tydligt eko. Förändringarna är så stora att de bedöms påverka upplevelsen av gatans karaktär i negativ riktning.

Omgivande byggnaders öppna entréer kan fungera mer eller mindre som ljudabsorbenter, men entréernas förhållandevis begränsade area medför att inverkan på efterklangstiden är liten. När det gäller den viktiga taluppfattbarheten har dock entréerna större inverkan, vilket dels visar att efterklangstiden inte ensam är tillräcklig för att beskriva akustiken i stora överglasade utrymmen, och dels att hänsyn bör tas till öppna entréers inverkan på akustiken vid projektering av överglasningar. Detta kan medföra en besparing genom att ljudabsorbenter helt eller delvis kan ersättas med de entréer som är öppna.

# 10 Drift – underhåll – beständighet

## 10.1 Bakgrund och metodik

Drift, underhåll och beständighet hos en stor överglasad anläggning utgör ett omfattande problemkomplex. Driften innefattar bl a skötsel och tillsyn av omfattande system för värme, ventilation, kyla, el och vatten. Som framgår av kapitel 7 finns ett starkt samband mellan anläggningens verkliga energibalans och driften av värme- och ventilationssystem. Bland underhållsfrågor kan nämnas renhållning och snöröjning av öppna gågator, städning av inbyggda gågator och omgivande byggnader, rengöring av glasöverbyggnad, butiksfönster och fasader m m. Löpande byggnadsunderhåll innefattar t ex utbyte av sönderslagna glas och mekaniskt förslitna detaljer. Beständighetsfrågorna rör funktion och hållbarhet hos konstruktion och konstruktionsdelar, hur länge man kan bibehålla god vatten- och lufttäthet, hur ofta mer omfattande ommålnings- och reparationsåtgärder måste sättas in m m.

Drift, underhåll och beständighet avseende det överglasade Skärholmens Centrum har studerats under som mest åtta år. Metodiken innefattar egna observationer, uppgifter från förvaltare m fl, fält- och laboratoriemätningar och enkätundersökning.

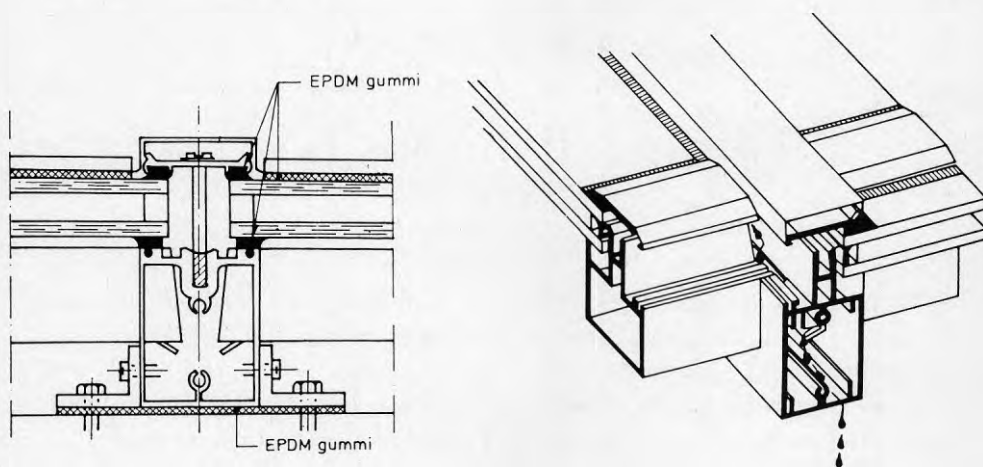
Några erfarenheter avseende vatten- och lufttäthet har sammanställts. För att bestämma åldringsegenskaper har prover tagits ut av tätningsskivor efter sex års användning, vilka sedan undersökts med olika metoder i laboratorium. Glasluckors temperaturrelaterade rörelser har studerats med fältmätningar.

En speciell studie har gjorts av hur överglasning av en tidigare öppen gågata påverkar behovet av städning i omgivande butiker och tvättning av butikernas skyltfönster. Denna studie gjordes genom en enkätundersökning med butiksföreståndarna i samarbete med Skärholmens Företagarförening.



## 10.2 Några erfarenheter av täthet

Rekommendationer m m som syftar till täta, säkra och beständiga glastaks-konstruktioner ges av Dreier et al. (1985), Børresen et al. (1985), Carlson et al. (1985), Science and Technology of Glazing Systems (1990), MTK Tak (1990), Höglund (1990) och Augustson et al. (1991). Oftast rekommenderas att konstruktionen innefattar en tvåstegstätning med utvändigt regnskydd, dränering och invändig lufttätning. Via dräneringssystemet avses vatten avledas som trängt igenom det utvändiga regnskyddet, d v s de yttre tätningslisterna, se figur 10.1.



*Figur 10.1. Profilkryss i Skärholmens Centrums glastak, där horisontella och vertikala spröjsar och profiler av aluminium möts. Det invändiga dräneringssystemet framgår, där vatten kan ledas från horisontella till vertikala profiler. Jämför även figur 10.2.*

Efter åtta år visade glastak och vertikala glaspartier i Skärholmens Centrum inga synliga skador, och konstruktionen är alltså tätt mot vattenläckage. Som framgår av det följande har dock vattenläckage visat sig vara ett vanligt problem för glastak.

Praktiska erfarenheter från ett stort antal överglasade objekt framgår av Dreier (1986), Carlson et al. (1988) och Augustson et al. (1991). I dessa tre undersökningar rapporteras vattenläckage genom glastak i 72 % av 43 objekt, 71 %

av 28 objekt respektive 73 % av 30 objekt. Resultaten är alltså samstämmiga; mer än 2 av 3 glastak har i praktiken drabbats av större eller mindre vattenläckage. Läckagen avser glastakens anslutningar mot andra byggnadsdelar, glasluckor och själva glastaken. Av observerade läckage i Augustson et al. (1991) bedöms 30 % som allvarliga. Läckagen har ganska många olika orsaker, som i många fall kan betecknas som "barnsjukdomar" för den relativt nya överglasningstekniken. Att vattenläckage har drabbat så många glastak kan ses som ett misslyckande, men det är intressant att de överglasade miljöerna trots detta i de allra flesta fall verkligen uppskattas av användarna.

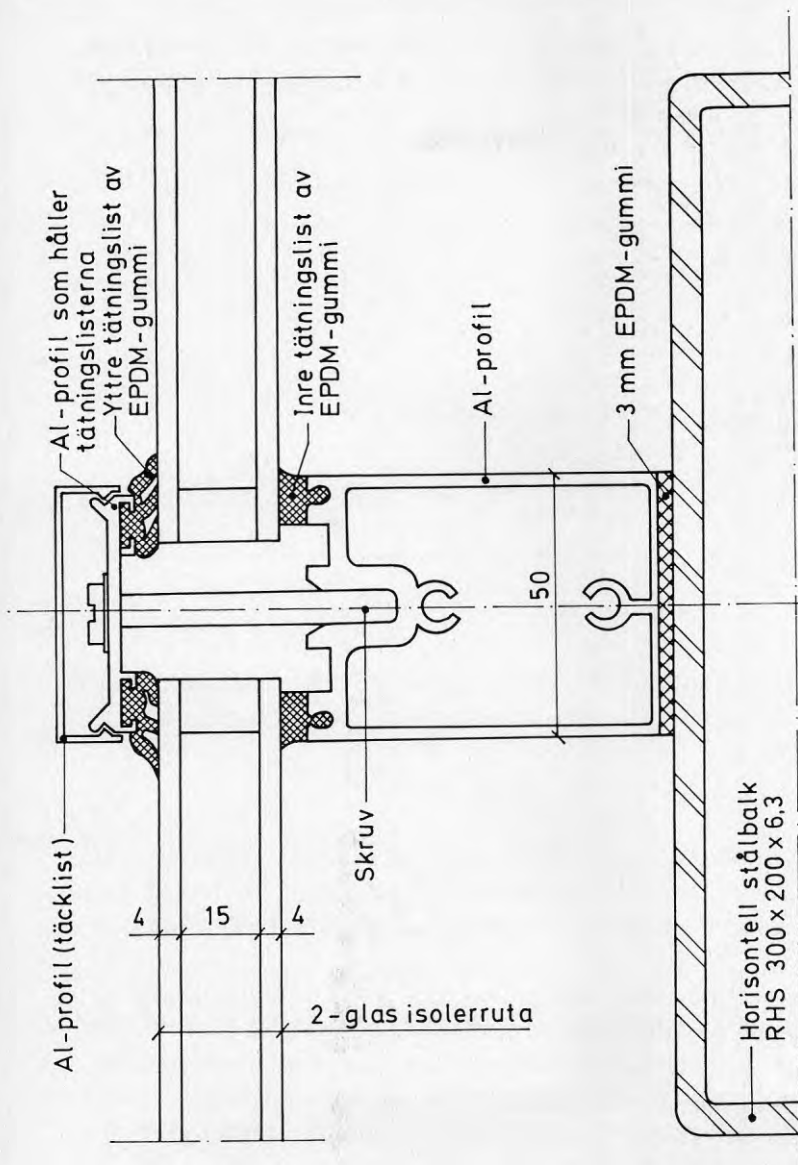
Lufttätthet för tre olika överglasade gårdar har sammanställts av Levin (1991), där mätningar resulterade i otäthetsfaktorer vid 50 Pa mellan 4 och 13 oms/h. Dessa höga värden inkluderar luftläckning mellan överglasning och omgivande byggnader. Resultaten indikerar dock att många överglasningar har brister när det gäller lufttäteten.

## 10.3 Tätninglisternas beständighet

När det gäller själva överglasningens beständighet är tätninglisterna av speciellt intresse. En tidigare studie, Höglund & Wångren (1979), visade att av fyra olika material till tätninglistor hade silikon- respektive EPDM-gummi bäst respektive näst bäst åldringsegenskaper. Av ekonomiska skäl (utbyte är dyrt) är det viktigt att tätninglisternas beständighet medger en lång användningstid utan problem med läckage e d. En studie av tätninglisternas åldringsegenskaper har därför genomförts inom detta forskningsprojekt i samarbete med teknD Folke Björk, Inst. för byggnadsteknik, KTH. Resultaten redovisas förutom i detta avsnitt även i Björk & Öman (1993). Syftet med denna studie var lite förenklat att besvara följande två frågor:

- I vilken grad har gummilisterna i överglasningen brutits ned under de sex år som gått sedan de monterades?
- Har i så fall denna nedbrytning någon betydelse för överglasningens funktion, d v s kan man befara läckage?

Gågatorna i Skärholmens Centrum försågs hösten 1984 med vertikala och lutande glaspartier från Victoria system A/S i Danmark. I konstruktionen ingår sekundärbärverk av aluminiumprofiler och 2-glas isolerrutor omgivna av tätninglistor av EPDM-gummi, se figur 10.2. Tätninglistorna är tillverkade vid gummifabriken Codan A/S i Danmark, se tabell 10.1.



Figur 10.2.  
Vertikalt tvärsnitt genom en horisontalspröjs m m i ett vertikalt glasparti. Studierna avser den yttre tätningslisten av EPDM-gummi, vilken delvis är direkt exponerad för solstrålning.

Prover av den yttre tätningslisten, se figur 10.2, togs ut den 24 okt 1990, d v s sex år efter monteringen, på tre olika ställen:

A 20° mot söder.

Från det 1,5 m breda glastaket över Lillholmsgången, vilket vetter mot söder med 20° vinkel mot horisontalplanet. Tätningslisterna satt monterade i en vertikalspröjs. Prover togs både av en list som vette mot söder och öster; A1, och mot söder och väster, A2.

*Tabell 10.1. Sammansättning av det gummi som använts till tätninglisterna. Uppgifterna har erhållits av tillverkaren, Codan gummifabrik A/S i Danmark.*

Beståndsdel	Viktsandel, %
EPDM polymer	27
Carbon black	33
Högvärdig mineralolja	25
Vulkaniseringssystem på basis av svavel, oorganiska och organiska acceleratorer	4
Organiska och oorganiska processhjälpmedel	11
Summa	100

**B** 90° mot söder.

Från ett vertikalt glasparti som vetter mot söder i det lilla glastornet. Tätninglisterna satt monterade 3 m över omgivande tak i överkanten av en horisontalspröjs, d v s listerna vette mot söder och upp mot himlen.

**C** 90° mot norr.

Från ett vertikalt glasparti som vetter mot norr i det lilla glastornet. Tätninglisterna satt monterade 3 m över omgivande tak i överkanten av en horisontalspröjs, d v s listerna vette mot norr och upp mot himlen.

De borttagna listerna ersattes med likadana nya lister. Överblivet material bestående av korta bitar av tätninglister återfanns i gruset på taket intill det lilla glastornet vid provställena B och C. Detta material är identiskt med det som använts och har åldrats samma tid, men utan att vara deformerat. Det kan därför användas som noll-prover vid undersökning av hur kraftigt gummit deformerats.

Gummimaterial består allmänt av långa molekylkedjor som genom kemiska processer bundits samman till ett kontinuerligt nätverk. Nätverkstätheten (tvärbindingstätheten), som anger hur många anslutningar mellan molekylkedjor som finns per volymenhet, har stor betydelse för materialets styvhet.

De två viktigaste miljöfaktorerna som påverkar materialets åldring i detta fall är sannolikt dels själva solstrålningen, och dels den förhöjda temperaturen i samband med solstrålning. Förekomsten av syre både i luften och i själva

materialet har stor betydelse i detta sammanhang. Dessa miljöpåverkningar kan leda till att nätverkstätheten i materialet påverkas, vilket i sin tur medför att tätningarnas funktion nedsätts

En minskad nätverkstäthet medför att de tätande flikarna med minskad kraft ligger an mot glaset. En ökad nätverkstäthet i en deformerad gummidetalj medför en permanent deformation, vilket faktiskt även det gör att de tätande flikarna med minskad kraft ligger an mot glaset. Eventuella förändringar i nätverkstätheten studerades med dels dragprovning, d v s en mekanisk metod, och dels svällningsmätningar, d v s en kemisk metod. Dessutom har gummilisternas permanenta deformation studerats.

Beträffande dragprovning gäller att ökad styvhet motsvarar högre nätverkstäthet enligt

$$E = N \cdot \text{konst} \quad (10.1)$$

där

E = Elasticitetsmodulen

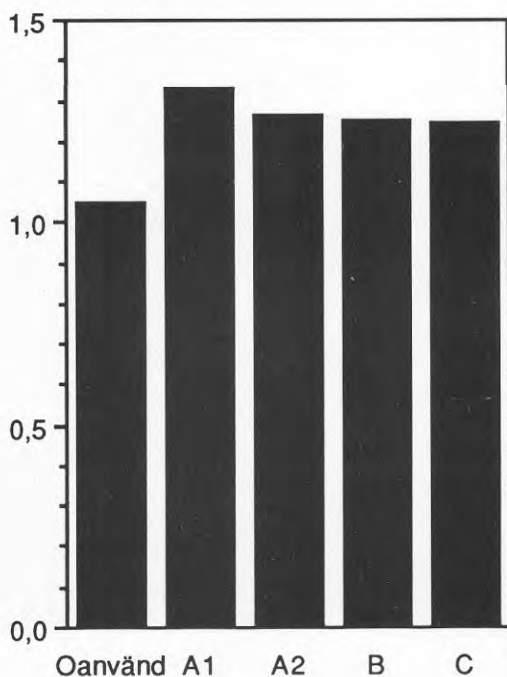
N = Nätverkstätheten

konst = En konstant, vars värde beror på bl a halten fyllmedel och temperaturen.

Med dragprovning testades listernas styvhet genom att 100 mm långa prover töjdes till dubbla längden i en provningsmaskin (Instron 1195). Töjningshastigheten var 100 mm per minut. Som resultat redovisas den kraft som registrerades 3 minuter efter det att provet töjts. Anledningen till att redovisa resultat sedan provet fått relaxera denna tid är att repeterbarheten i provningen därigenom förbättras. Redovisade värden är medelvärden av fem prover från varje provställe.

Resultaten av dragprovningen visas i figur 10.3. Den lägre dragkraften i oanvända (nya) lister är inte direkt jämförbar med övriga värden, eftersom nya lister (från 1990) inte har samma beståndsdelar i gummiblandningen som de använda listerna (från 1984). Det framgår att medelvärdena av de uppmätta dragkrafterna (motkrafterna) var praktiskt taget desamma för alla använda tätninglister, oavsett om de varit placerade i norrläge eller i söderläge. Spridningen mellan de fem olika proverna från varje provställe var relativt liten. Den största spridningen mellan lägsta och högsta värde,  $\pm 6\%$  från medelvärdet, noterades för listerna placerade mot norr (provställe C). Dessa resultat innebär att någon påverkan av solljus och värmenedbrytning inte kan säkerställas utifrån dragprovning.

Dragkraft, kN



Figur 10.3. Medelvärden från dragprovning av fem st 100 mm långa prover:

A1: Från glasning 20° mot söder (och öster)

A2: Från glasning 20° mot söder (och väster)

B: Från glasning 90° mot söder

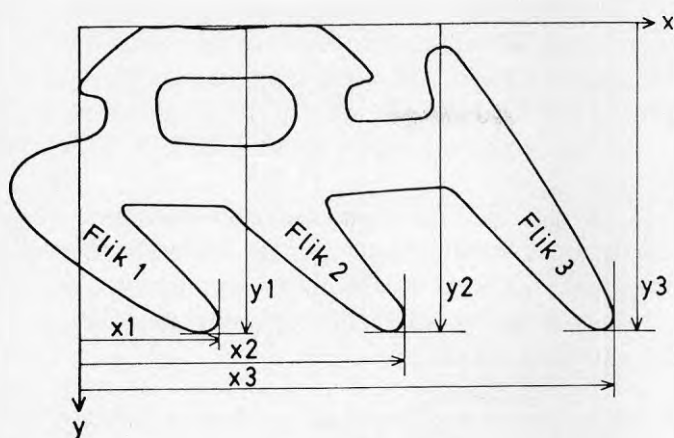
C: Från glasning 90° mot norr

Oanvänd avser nya och oanvända tätningslistor. Resultatet av dessa är inte direkt jämförbart med de använda tätningslistorna A–C, eftersom gummiblandningen inte är densamma.

Permanent deformation bestämdes genom mätningar på förstörade fotografier av tvärsnitt av tätningslistorna. I figur 10.4 visas vilka mått som bestämdes. Redovisade resultat avser medelvärden av fyra (2 mm långa) bitar från varje provställe.

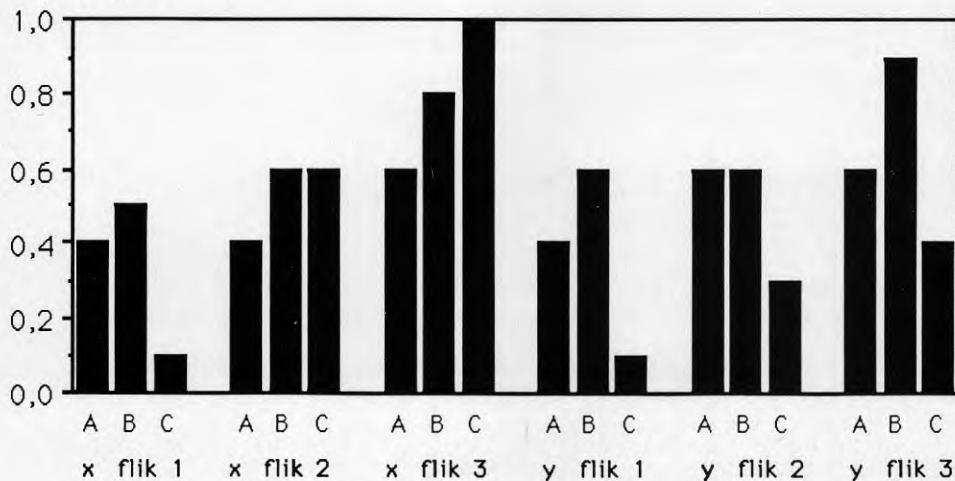
Resultaten från mätningarna av permanent deformation visas i figur 10.5 som medelvärden av 4 mätningar. Deformationen är angiven i förhållande till måtten hos överblivna tätningslistor som återfanns på taket, och som alltså producerades vid samma tillfälle som de testade listerna. Deformationerna i x-led har sannolikt inget direkt samband med tätningsförmågan. Viktigast för tätningsförmågan är i stället deformationerna i y-led, eftersom dessa hänger samman med flikarnas tätande tryck mot glaset.

De minsta deformationerna i y-led uppvisar proverna som varit monterade i norrläge (prov C). Proverna som varit monterade i söderläge (prov A och B) har större deformationer i y-led, i genomsnitt ca 30 % av den möjliga deformationen. Den deformation som är "möjlig" motsvarar när flik 1 och 2 är maximalt böjda på samma sätt som när listerna är monterade (sammanpressade). Denna deformation på ca 30 % har knappast någon betydelse för



Figur 10.4. Tvärsnitt genom den aktuella tätningslisten av svart EPDM-gummi. Måttet  $x_3$  är ca 15 mm och måtten  $y_1$ – $y_3$  är ca 8 mm.

Deformation, mm



Figur 10.5. Permanent deformation av använda tätningslister i förhållande till överblivna tätningslister, som alltså inte varit utsatta för sammanpressning. Medelvärden av 4 prover. Måtten  $x$  och  $y$  och flik 1–3 framgår av figur 10.4. Viktigast för tätningsförmågan är deformationerna i  $y$ -led.

- A: Från glasning  $20^\circ$  mot söder.  
 B: Från glasning  $90^\circ$  mot söder.  
 C: Från glasning  $90^\circ$  mot norr.

listernas tekniska funktion och medför i sig inte läckage, men indikerar en pågående nedbrytning i materialet. Skillnaden i permanent deformation mellan prover från norr och söder visar sannolikt temperaturens och solstrålningens inverkan. Mätningar av permanent deformation är i detta fall den metod som visat sig vara känsligast för studier av tätningslisters beständighet.

Svällningsmätningar utförs genom att materialet förvaras i en vätska som skulle löst materialet fullständigt om tvärbindingar saknats. Materialproverna vägs innan de läggs i lösningsmedlet och när de absorberat lösningsmedlet. Ju högre nätverkstätheten är desto mindre mängd lösningsmedel absorberas. Svällningen kvantifieras alltså med en viktökning.

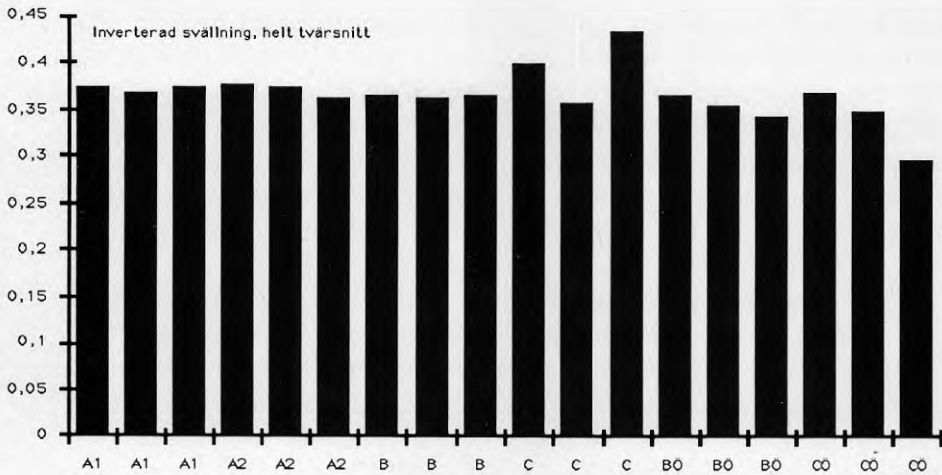
För bestämningen av svällning användes 10–30 mm långa bitar av tätningslisterna. Dessa gjordes olika långa så att de ej kunde sammanblandas. Proverna vägdes med en noggrannhet på 10 milligram. De fick sedan ligga i n-heptan för att lakas ur, varefter de togs upp, vägdes och därefter fick torka. De vägdes igen och fick sedan åter svälla i n-heptan. När proverna svällt färdigt vägdes de svällda, och vägdes sedan åter efter att ha torkat. De sista vägningarna ligger till grund för resultaten beträffande nätverkstäthet. Vid redovisningen av resultaten från svällningsmätningarna användes det Q-värde som bl a Flink (1989) samt Parks & Brown (1976) använt:

$$Q = \frac{\text{vikt som svälld} - \text{vikt efter torkning}}{\text{ursprunglig vikt} \cdot \text{viktsandel polymer}} \quad (10.2)$$

där vikt som svälld är provets vikt sedan det först en gång lakats i svällningsmedlet sedan fått torka och därefter åter fått svälla  
vikt efter torkning är provets vikt sedan allt svällningsmedel åter evaporerats  
ursprunglig vikt är provets vikt innan det utsatts för svällningsmedlet  
viktsandel polymer är den andel av materialets vikt som utgörs av ren polymer, d v s 0,27 i detta fall, se tabell 10.1.

Detta Q-värde är alltså kvoten mellan viktökningen p g a svällning och själva polymerernas vikt. Högre Q-värde motsvarar alltså större svällning, vilket i sin tur motsvarar lägre nätverkstäthet. I det följande anges det inverterade värdet på svällningen, d v s  $1/Q$ . Detta värde ökar med ökande nätverkstäthet och kan användas som ett relativt mått på nätverkstätheten i de fall som alla övriga parametrar (såsom gummits sammansättning och temperaturen) hålls konstanta.





Figur 10.6. Inverterat värde på svällning utifrån mätningar på tätninglisternas hela tvärsnitt. Den inverterade svällningen kan här användas som ett relativt mått på nätverkstätheten.

A1: Från glasning  $20^\circ$  mot söder (och öster).

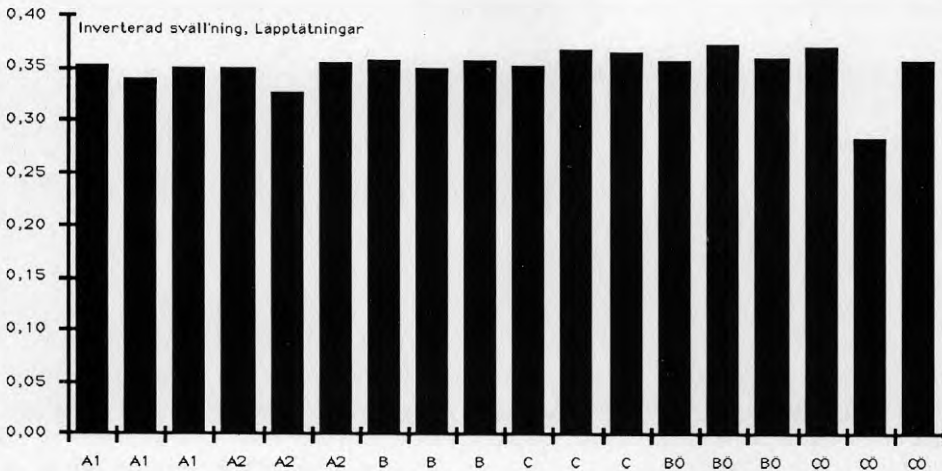
A2: Från glasning  $20^\circ$  mot söder (och väster).

B: Från glasning  $90^\circ$  mot söder.

C: Från glasning  $90^\circ$  mot norr.

B0: Överbliven (odeformerad) list funnen vid provställe B.

C0: Överbliven (odeformerad) list funnen vid provställe C.



Figur 10.7. Inverterat värde på svällning utifrån mätningar på den yttersta gummiläppen (flik 3 enligt figur 10.4). Den inverterade svällningen kan här användas som ett relativt mått på nätverkstätheten. A1 – C0 samma som i figur 10.6.

Resultaten av svällningsmätningarna visas i figurerna 10.6 och 10.7. Mätningarna utfördes dels på gummilisternas hela tvärsnitt, figur 10.6, dels på den yttersta gummiläppen (flik 3 enligt figur 10.4) som är helt exponerad för solstrålning, figur 10.7. Det inverterade värdet på svällningen uppvisade endast små variationer, vilka dessutom inte uppvisade något samband med hur proven varit placerade. Detta innebär att någon påverkan av solljus och värmenedbrytning inte kan säkerställas utifrån dessa mätningar.

De olika testerna visar sammanfattningsvis att 6 års exponering av tätningslister av EPDM-gummi i Skärholmens klimat inte har inneburit någon påverkan som har betydelse för tätningslisternas funktion. Detta goda resultat avser både tätningslister som vetter mot norr och söder, trots att temperaturerna ofta är betydligt högre och solexponeringen betydligt större i söderläge.

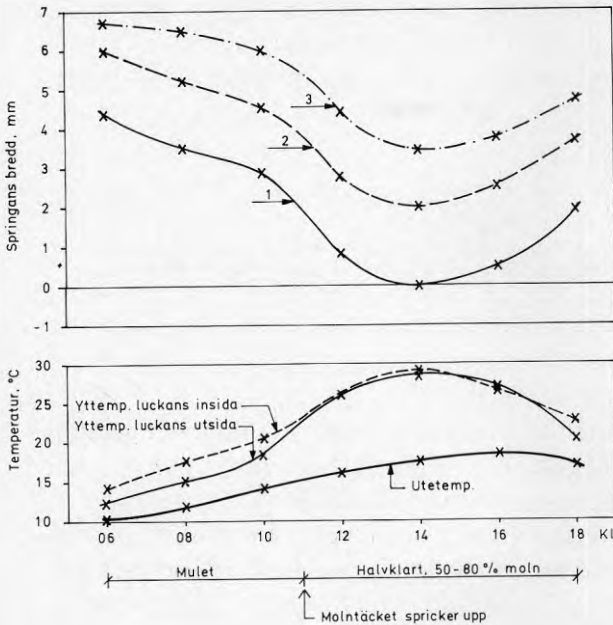
Tätningslisternas permanenta deformation påvisas dock vara större i söder- än i norrläge. Denna deformation kan förklaras av viskoelastiska effekter eftersom några förändringar av nätverkstätheten inte kunnat fastställas. Allmänt gäller att den viskoelastiska deformationen av gummimaterial avtar med tiden. Detta medför sannolikt att åldringsförloppet är mycket utdraget i detta fall, d v s att tätningslisternas beständighet är mycket god.

Andra faktorer än solljus och temperatur (i kombination med syre) torde inte ha någon större betydelse för nedbrytningsmekanismen i detta fall. Någon nedbrytning av betydelse för överglasningens funktion har således inte inträffat och några läckage till följd av åldring av tätningslister är inte att vänta inom överskådlig framtid.

## 10.4 Glasluckors temperaturrörelser

I Skärholmens Centrum konstaterades inom detta forskningsprojekt tidigt problem med de öppningsbara glasluckornas temperaturutvidgning. Soliga dagar kunde luckorna inte stängas utan blev hängande på ena kanten, se figur 13.1 i Höglund et al. (1987). Detta skulle i värsta fall kunna medföra att glasrutorna i luckan bryts sönder och faller ned.

Systematiska mätningar enligt figur 10.8 bekräftar att temperaturrörelserna verkligen är stora. Man kan även höra hur det knäpper i luckans aluminiumplåtar, t ex då solen går i moln och yttemperaturerna plötsligt sänks.



Figur 10.8. Exempel på temperaturrörelser hos de västra öppningsbara glasluckorna över Lillholmsgången. Luckorna är 15,3 m långa, 1,6 m breda, orienterade med längdaxeln i ostvästlig riktning med framkanten mot söder och utförda med aluminiumbåge. Vid mätningen bestämdes det fria avståndet, springbredden, mellan luckans båge och dess i taket fastsatta "orörliga" karm. Luckan står i ett fixerat halvöppet läge. Mätpunkt 1 var belägen vid luckans

framkant, mätpunkt 3 vid gångjärnssidan och punkt 2 mitt emellan dessa båda. Springbreddsbestämningen företogs längs luckans östra kant.

Den aktuella dagen, 15 augusti, var relativt sval med max temperatur 18 °C ute och mulet-halvklart väder. Vid varmare väderlek blev springans bredd klart negativ, d v s luckorna gick inte att stänga!

En jämförelse mellan resultat från beräkningar och mätningar har gjorts. Av figur 10.8 framgår att temperaturrörelsen nära luckans framkant (mätpunkt 1) medför att springan på östra sidan minskar med 4,4 mm från kl 06 till kl 14. På luckans västra sida minskar springan på motsvarande sätt med 4,0 mm. Totalt tycks alltså luckan ha utvidgat sig 8,4 mm. Beräkningsmässigt borde utvidgningen bara ha varit 5,6 mm med hänsyn till aluminiums längdutvidgningskoefficient och aktuella temperaturer. Skillnaden beror på att även de "fasta" anslutande glaspartierna erhållit en viss temperaturrörelse.

Vid projektering och utförande av öppningsbara glasluckor är det alltså inte tillräckligt att ta hänsyn enbart till själva luckans temperaturrörelse, utan hänsyn måste även tas till att omgivande "fasta" glaspartier i praktiken erhåller en viss temperaturrörelse. Detta kan göras genom att själva luckans temperaturrörelse uppskattas med en beräkning. Konstruktionen dimensioneras sedan för denna temperaturrörelse multiplicerad med en lämplig säkerhetsfaktor, där

hänsyn även till "fasta" glaspartiers temperaturrörelse tas genom denna säkerhetsfaktor. För de studerade luckorna i glastaket över Skärholmens Centrum tyder resultaten på att en säkerhetsfaktor 2 skulle vara tillräckligt i just detta fall.

## 10.5 Städning och tvättning av fönster

Allmänt gäller för de flesta lokaler att kostnaderna för städning och fönstertvätt är betydande. Att t ex en gågata som tidigare var utomhus byggs in med en överglasning innebär i detta sammanhang en förändring. Omgivande byggnader hade före överglasningen entréer och fönster som vette direkt mot uteklimatet, d v s smuts och sand kunde via entréerna direkt nå omgivande byggnader och fönstren påverkades av smuts direkt utifrån. Efter överglasningen vetter i stället omgivande byggnaders entréer och fönster mot ett överglasat utrymme, som mer eller mindre kan fungera som hallen i en lägenhet, d v s fungera som något av en buffert för den smuts som kommer in. Frågan är då om, och i så fall hur mycket, behovet av städning och tvättning av fönster i omgivande byggnader i praktiken kan tänkas påverkas av överglasningen.

I Skärholmens Centrum innebar överglasningen att ett fyrtiotal butiksentréer som tidigare var ytterentréer nu vetter mot överglasningen, som i sin tur nås via sex ytterentréer. Omgivande byggnader har totalt 47 000 m<sup>2</sup> golvarea ovan mark, varav huvuddelen är butiksytor. Överglasningen har ett slätt marmorgolv (4 000 m<sup>2</sup>) och i huvudsak fria golvytor, d v s det måste rimligen anses som mycket mer lättstädat än omgivande butiker. Erfarenheter från universitetscentret i Dragvoll i Trondheim visar också att kostnaden per m<sup>2</sup> för städning av de överglasade gågatorna är väsentligt lägre än för städning i konventionella byggnader, se Børresen et al. (1985). I Skärholmens Centrum har skyltfönster och glaspartier i dörrar som nu vetter mot överglasningen totalt arean 2 100 m<sup>2</sup>. Dessutom har omgivande byggnader 150 m<sup>2</sup> vanliga fönster mot överglasningen. Det är alltså betydande ytor såväl golv som fönster som när det gäller städning respektive tvättning kan tänkas påverkas av överglasningen.

En enkät utformades med rubriken "Enkät om behov av städning och tvättning av skyltfönster i butiker före och efter överglasningen av Skärholmens Centrum". Syftet var att försöka fastställa den skillnad som överglasningen

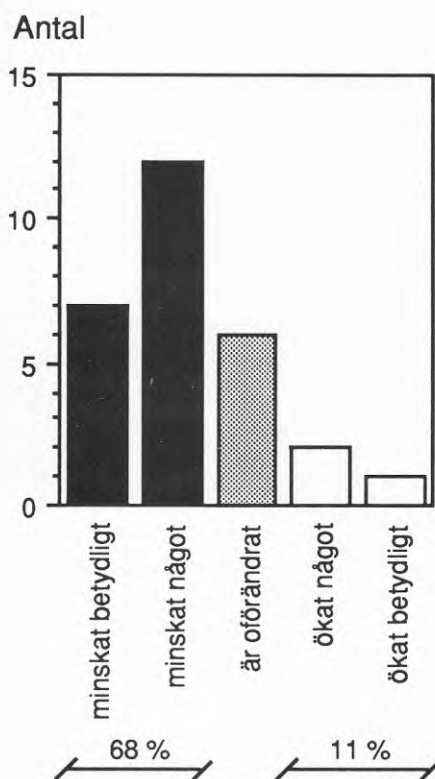
eventuellt medfört. Enkäten riktade sig till samtliga föreståndare (eller motsvarande) för en butik med entré mot överglasningen och innehöll 15 st frågor, där även möjlighet gavs att lämna kompletterande synpunkter. Enkäten delades ut personligen i maj 1989. Efter en eller flera påminnelser svarade 35 av de totalt 42 föreståndarna, vilket motsvarar 83 % svarsfrekvens. Som jämförelse kan nämnas att enkäten som även den riktade sig till föreståndarna i Modig (1987) fick svarsfrekvensen 74 %.

Av de 35 föreståndare som svarade var det dock 5 stycken som inte hade erfarenhet av förhållandena både före och efter överglasningen 1984, och därför i huvudsak inte besvarat frågorna eller svarat "vet ej" på de flesta frågor. Följande resultat baseras därför i de flesta fall på svaren från de 30 föreståndare som hade tillräcklig erfarenhet för att besvara enkäten någorlunda fullständigt.

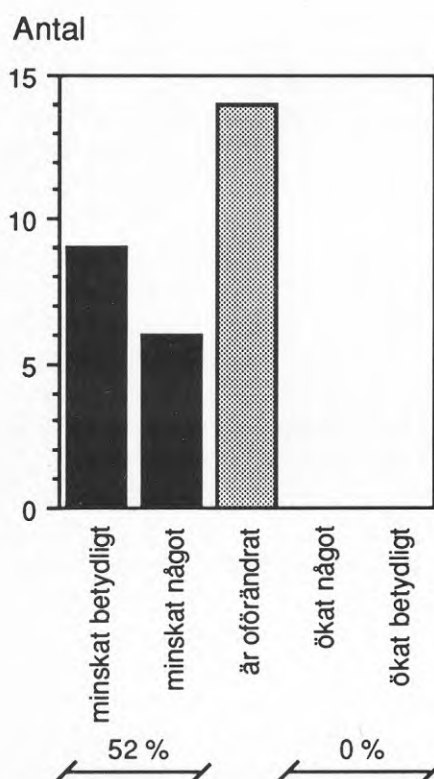
Av dessa 30 föreståndare hade 22 st egen erfarenhet av förhållandena i butiken både före och efter överglasningen 1984, medan 6 st kunde besvara enkäten med hjälp av personalen och/eller sin företrädare (och 2 st inte angav vilket). Av de 30 butikerna fanns 26 st på samma plats och med samma inriktning även före överglasningen, medan resterande 4 butiker fanns på en annan plats eller är helt nya. Någon form av ombyggnad i samband med eller efter överglasningen har gjorts i 23 butiker, där det vanligaste är ombyggd entré och näst vanligast ny golvbeläggning.

I figur 10.9 och 10.10 framgår hur svaren fördelade sig på frågorna om hur överglasningen påverkat behovet av städning i butiken och behovet av tvättning av skyltfönstren. Av de som besvarat frågan anser 68 % att städbehovet minskat och 52 % att behovet av fönstertvätt minskat. Resultatet kan alltså tyckas mest entydigt när det gäller överglasningens positiva inverkan på behovet av städning. De som anser att överglasningen inte inneburit någon förändring i dessa avseenden motsvarar 21 % när det gäller städning och 48 % när det gäller fönstertvätt.

Samtidigt anser dock tre föreståndare (11 %) att behovet av städning i butiken faktiskt har ökat efter det att överglasningen byggdes. Av svaren och kommentarerna i övrigt från dessa tre föreståndare framgår dock att det är ventilationen, och inte överglasningen, som man är kritisk mot. Problemet är av allt att döma att mer finfördelat damm följer med tilluften sedan ombyggnaden 1984, vilket har ökat behovet av dammtorkning. En av föreståndarna uppger också att personal har allergiska besvär. Sannolikt är att ombyggnaden 1984 medförde ökade uteluftsflöden till bl a dessa butiker, vilket då ökade tillförseln av finfördelat damm i ungefär motsvarande grad. Att uteluftsflödena till butikerna har ökat efter 1984 är också en sannolik förklaring till att en viss



Figur 10.9. Svar av butiksföreståndarna på frågan "Anser du att behovet av städning i butiken ökat eller minskat p g a överglasningen?" Av de 28 föreståndare som besvarat denna fråga anser alltså 2/3 att städbehovet minskat, medan tre föreståndare i stället anser att städbehovet faktiskt har ökat. Två av de 30 föreståndarna svarade "saknar uppfattning / vet ej".



Figur 10.10. Svar av butiksföreståndarna på frågan "Anser du att behovet av tvättning av skyltfönstren (som nu vetter mot överglasningen) ökat eller minskat p g a överglasningen?" Av de 29 föreståndare som besvarat denna fråga anser alltså hälften att behovet av fönstertvätt minskat, medan ingen anser att behovet ökat. En av de 30 föreståndarna svarade "saknar uppfattning / vet ej".

teoretisk potential till energibesparing inte har utnyttjats, se kapitel 7. Problemet med att finfördelat damm följer med tilluften skulle delvis kunna lösas med effektivare filter.

På en fråga om städningen av butiken har ändrat karaktär som ett resultat av överglasningen, t ex genom att mindre mängd sand och grus dras in, svarar

2/3 av föreståndarna ja. De flesta tycks alltså vara överens om att överglasningen har förenklat städningen, genom att mindre mängd sand och grus dras in. Motsvarande erfarenheter har även gjorts beträffande universitetscentret i Dragvoll i Trondheim, där även Cold et al. (1985) framhåller att detta kan motsvara en betydande besparing. Här följer några exempel på kommentarer från föreståndarna i Skärholmens Centrum som beskriver förändringen:

"Efter överglasning dras mindre snöslask och sand in i lokalen".

"Mindre smuts, sand och väta".

"Mindre sand och grus och torrare vintertid".

"Något lindrigare".

"Barnvagnar och kundvagnar drar inte in lika mycket smuts".

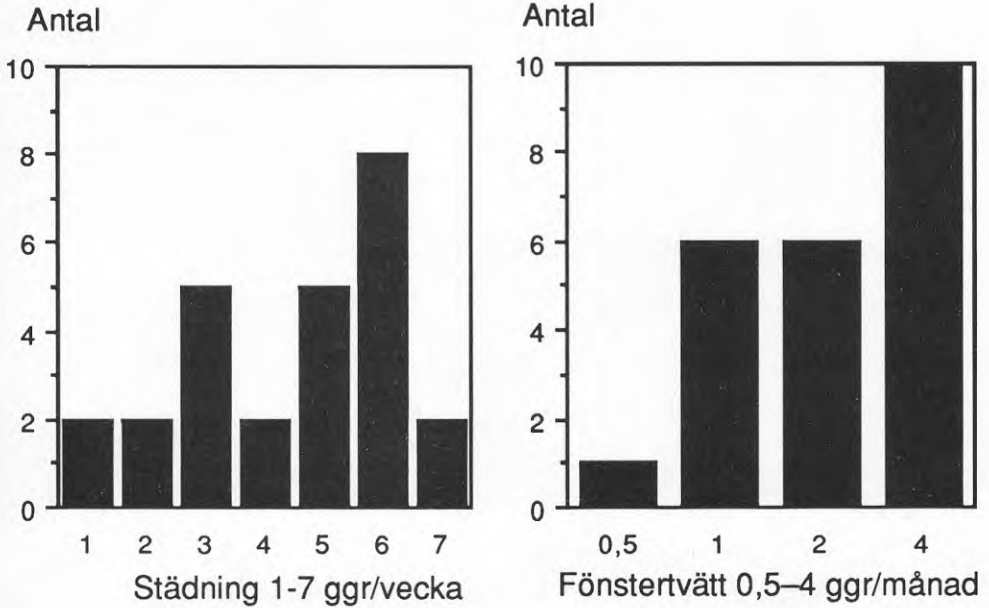
"Överglasningen har framförallt förenklat städningen beroende på att inte lika mycket smuts dras in i lokalen. Däremot har luften blivit torrare vilket för sin del kräver mer dammtorkning etc. av glasmontrar, skåp och hyllor".

Den sista föreståndarens kommentar om torrare luft och behov av mer dammtorkning stöder dock delvis de tre föreståndare ovan som anser att behovet av städning i butiken faktiskt har ökat efter 1984 p g a ökad dammbildning. Genom de sociologiska undersökningarna framkom att mer än 2/3 av såväl personal som föreståndare ansåg att luften ibland varit alltför torr i butikerna, se avsnitt 12.2. Ökat uteluftsflöde i vissa butiker kan här tänkas förklara att luften blivit både dammigare och torrare. Det är dock bara 4 st (13 %) av föreståndarna som uppger något problem med ökad dammbildning.

Förutom överglasningen (och ventilationen) anser 27 % av föreståndarna att andra faktorer (t ex ändrad kundtillströmning) har påverkat behovet av städning. Som en extra kommentar uppger hälften av dessa (d v s 13 % av samtliga) att kundtillströmningen har ökat. Hälften av föreståndarna anser inte att någon annan faktor har inverkat på behovet av städning.

Att *städmotoderna* (sopning, dammsugning, våttorkning e d) har varit desamma före och efter överglasningen anser 53 % av föreståndarna, medan 37 % uppger att städmetoderna förändrats. Den vanligaste orsaken till förändrade städmetoder är att mindre sand o d dras in, vilket medfört lindrigare städning med t ex minskat behov av våttorkning.

I figur 10.11 framgår *hur ofta* butikerna städas och skyltfönstren tvättas. I genomsnitt städas butikerna 4,5 ggr i veckan och skyltfönstren tvättas 2,5 ggr i månaden.



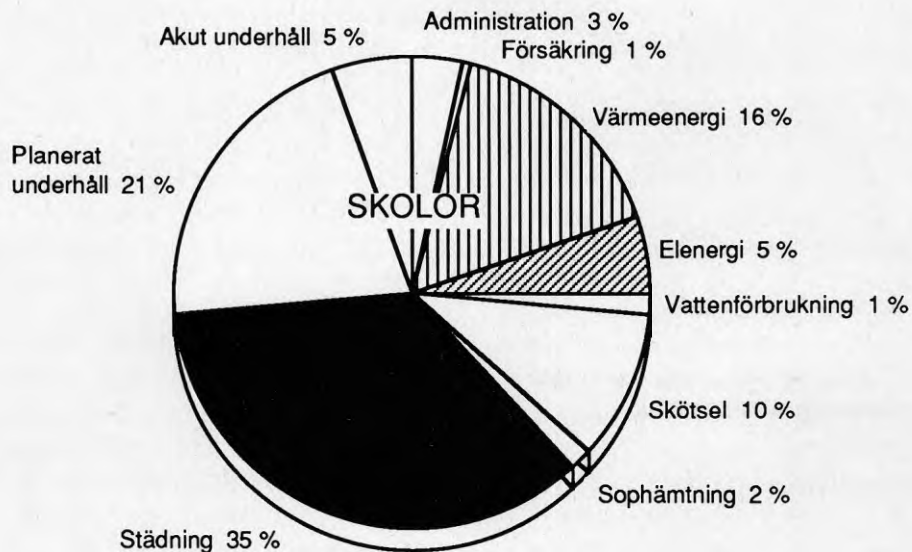
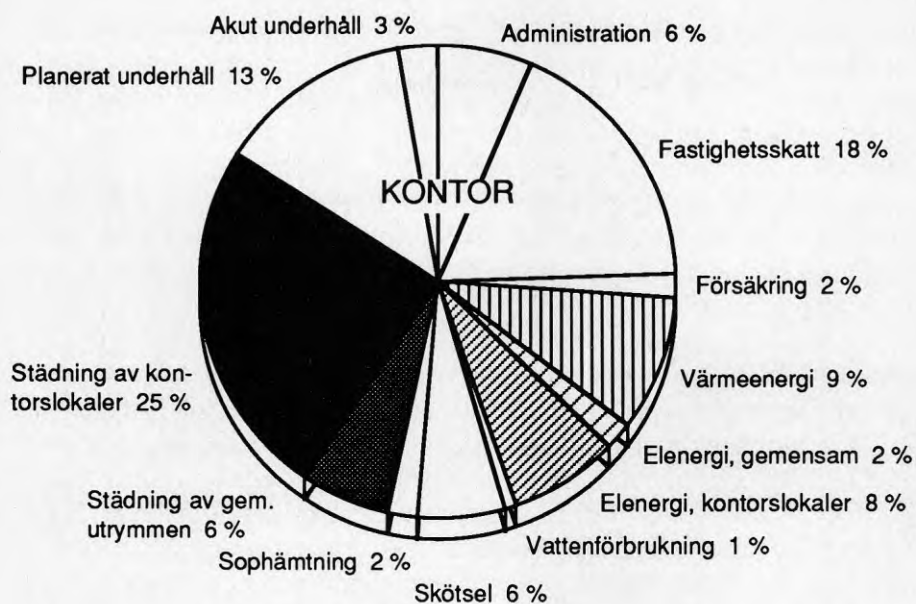
*Figur 10.11. Föreståndarna uppger att butikerna städas från en gång i veckan till varje dag, och att skyltfönstren tvättas från varannan månad till varje vecka. Att dessa aktiviteter utförs så här ofta antyder att kostnaden är betydande. De flesta städar och tvättar skyltfönster lika ofta före och efter överglasningen, trots att 2/3 anser att städbehovet minskat och hälften att behovet av fönstertvätt minskat, se figur 10.9 och 10.10. "Även om man städar lika ofta är det inte lika jobbigt", som en föreståndare uttrycker det.*

De flesta av de som uppgett hur ofta de städar, 78 %, städar lika ofta före och efter överglasningen, medan 15 % (4 st) faktiskt städar oftare och endast 7 % (2 st) städar mer sällan efter överglasningen. De fyra som städar oftare anger ökad dammbildning (p g a ventilationen) eller ökad kundtillströmning efter överglasningen som orsak.

Nästan alla av de som uppgett hur ofta de tvättar skyltfönstren, 91 %, tvättar lika ofta före och efter överglasningen, medan 9 % (2 st) tvättar skyltfönstren varannan i stället för varje vecka efter överglasningen.

En uppfattning om genomsnittliga kostnader för förvaltning av olika typer av byggnader kan erhållas från den årligen utkommande publikationen Förvaltningsfakta (1990). Kostnader för administration, skatt, försäkring, drift och underhåll finns medtagna, dock ej kapitalkostnader. I figur 10.12 framgår kostnadsfördelningen för kontor och skolor.





Figur 10.12. Fördelning av genomsnittliga årskostnader per  $m^2$  för kontor och skolor, där i princip alla kostnader utom kapitalkostnader ingår. För både kontor och skolor är alltså kostnaden för städning normalt större än den totala energikostnaden. Från Förvaltningsfakta (1990).

Städning i figur 10.12 inkluderar även fönstertvätt. Motsvarande värden för affärslokaler saknas, men kostnadsfördelningen torde inte vara alltför olika den för kontor och skolor. Totala årskostnaden anges till 316 respektive 291 kr/m<sup>2</sup> golvarea (bruttoarea) för kontor respektive skolor 1990. Av denna årskostnad för kontor svarar städningen för 31 %, medan total energiförbrukning svarar för 19 %. Av årskostnaden för skolor svarar städningen för 35 % och den totala energiförbrukningen för 21 %. Jämförelsen mellan kostnaderna för städning och energi är intressant, bl a eftersom energifrågor ingår i detta forskningsprojekt (kapitel 7).

Frågor ställdes även där man ombads precisera kostnaderna i kr/månad för städning och fönstertvätt före och efter överglasningen. De flesta föreståndare, 2/3, har dock lämnat dessa frågor helt obesvarade, ibland med motiveringen att städning ingår i personalens ordinarie arbetsuppgifter, vilket naturligtvis gör det omöjligt att precisera kostnaden. De som besvarat dessa frågor har i många fall svarat ofullständigt genom att kostnaden endast anges före eller efter överglasningen och/eller att man inte angivit vilken golvyta eller yta på skyltfönster som kostnaderna hänförs till. Städkostnaderna (exkl. fönstertvätt) uppgavs för 1988 till 16 – 207 kr/m<sup>2</sup> golvarea och år (medelvärde 100 kr/m<sup>2</sup>) av de åtta föreståndare som besvarat denna fråga, d v s uppgivna kostnader varierar mycket kraftigt. De ofullständiga svaren möjliggör ingen jämförelse av kostnaderna före och efter överglasningen.

Årskostnaden för städning (inkl. fönstertvätt) 1990 var enligt Förvaltningsfakta (1990) för kontor respektive skolor 97 respektive 103 kr/m<sup>2</sup> bruttoarea, vilket är mycket lika den genomsnittliga städkostnaden ovan (exkl. fönstertvätt) för butikerna i Skärholmens Centrum 1988, 100 kr/m<sup>2</sup> (i huvudsak butiksarea). Spridningen mellan uppgivna städkostnader är dock mycket stor mellan de relativt få föreståndare som besvarat denna fråga, och denna likhet kan därför delvis vara en tillfällighet.

Sammanfattningsvis har överglasningen alltså visat sig i praktiken medföra ett ofta förbisett plusvärde, genom att behovet av städning i omgivande lokaler och fönstertvätt minskar. I Skärholmens Centrum utförs städning och fönstertvätt trots detta i de flesta fall lika ofta före och efter överglasningen. En skillnad är dock att mindre mängd sand o d dras in i butikerna efter överglasningen, vilket medför att städningen blir lättsammare och dessutom rimligtvis att slitaget på golven minskar. Denna undersökning gav dock inte svar på vilken ekonomisk besparing som detta motsvarar. Eftersom kostnaderna för städning (och fönstertvätt) i de flesta fall är höga, exempelvis högre än kostnaderna för uppvärmning och el, blir även en relativt liten besparing ganska betydande. Vid projektering av stora överglasningar finns därför skäl att försöka bedöma dess inverkan på behovet av städning och fönstertvätt.

## 10.6 Övriga erfarenheter

Efter åtta år visade glastak och vertikala glaspartier i Skärholmens Centrum inga synliga skador, och ingen punkterad isolerruta har observerats. Taket av plastpanel visade små skador på två ställen, där cm-stora hål uppstått genom yttersta plasten, varvid små mängder regnvatten kunnat rinna ned längs det mellersta plastskiktet. Dessa skador i den opaliserande plastpanelen syns inte nerifrån.

Nedfallande glas har inte drabbat överglasningen i Skärholmens Centrum. Allvarliga tillbud med nedfallande glas har dock inträffat i några andra fall, se Carlson et al. (1988) och Augustson et al. (1991). Ett bra sätt att förhindra nedfallande glas är att använda laminerat glas innerst, där trasigt glas oftast hålls samman av det plastskikt som ingår. I GTK Forskrifter (1985), MTK Tak (1990) och Riktlinjer Glastak (1990) rekommenderas i första hand härdat glas ytterst och laminerat glas innerst för 2-glas glastak.

För många byggnadsmaterial kan rörelser p g a varierande temperatur och fukt medföra problem. I avsnitt 10.4 framgår att glasluckornas temperatur-rörelser medfört problem med att stänga luckorna vid hög temperatur. Ett annat problem som observerats är att de beklädnadsskivor (Mineritskivor) som sitter strax under de smala glastaken över Lillholms- och Byholmsgången är spruckna på ett flertal ställen vid infästningen med skruvar. Dessa skivor framgår som "brandhärdig skivbeklädnad" i figur 3.13, och att de har spruckit framgår av figur 13.3 i Höglund et al. (1987). En besiktning efter åtta år visar att sprickorna förefaller att successivt bli något större med tiden. Risk finns för nedfall av cm-stora bitar, dock knappast av hela skivor.

Öppning och stängning av ytterentréer och glasluckor har styrts helt manuellt av de väktare, som arbetar i Skärholmens Centrum. Glasluckorna öppnas med hjälp av elmotorer och kuggstänger. Luckornas tyngd (och de relativt svaga elmotorernas utväxling) medför att öppningen går långsamt. Att t ex helt öppna de 15 m långa luckorna över Lillholms- och Byholmsgången tar 5–6 minuter (20 cm per minut). Strömbrytarna till elmotorerna sitter 3 m över golv och måste hållas intryckta hela tiden som öppning eller stängning pågår. Det är därför tidsödande för väktarna att ändra luckornas öppningsgrad.

Sommartid står glasluckorna oftast i halvöppet läge oberoende av väderlek. Detta innebär att möjligheten till temperaturreglering genom naturlig ventilation inte utnyttjas fullt ut. Luckorna har ibland varit öppna även kalla höstdagar. De stora luckorna över Lillholmsgången stod t o m på glänt

större delen av vintern 1985/86. Att luckorna inte är helt stängda går inte att se nerifrån gågatorna.

Det har också hänt att det regnat in ordentligt innan man hunnit stänga öppnade takluckor. I övrigt är erfarenheterna när det gäller fuktproblemen goda. Överglasningen som sådan är sålunda tät mot nederbörd, inga kondensproblem uppträder, luftprover visar på låga halter av mögelsporer.

Regnvatten och smältvatten har kunnat avbördas i erforderlig omfattning utan att orsaka översvämningar eller andra läckageproblem. Systemet med brunnar, rännor och rör måste givetvis vara föremål för kontinuerlig skötsel och tillsyn.

De sex ytterentréerna skall egentligen stå helt öppna varma sommardagar. Här utgör dock det intilliggande parkeringshuset en begränsning. På grund av risken för att bilavgaser sugas in till överglasningen är det sällan som de två ytterentréerna (skjutdörrarna) mot parkeringshuset står helt öppna.

De stora karuselldörrarna har vid några tillfällen fungerat dåligt vid riktigt kraftig vind. Av säkerhetsskäl kan de stora dörrbladen vika undan om t ex en människa står i vägen. Vid tillräckligt kraftig vind viker tyvärr dörrbladen också undan, vilket innebär en risk för att man får en oväntad "knuff" från ett dörrblad. Vid ett par tillfällen har därför väktarna stängt karuselldörrarna i Storholmsgatans norra och södra ände, eftersom de är mest utsatta för kraftiga vindar. Vid dessa tillfällen kan kunderna använda de slagdörrar som finns bredvid karuselldörrarna.

Snö och is har inte medfört några större problem för överglasningen i Skärholmens Centrum. På taket av plastpanel har det visat sig att snö kan ligga kvar tidvis, men detta har inte upplevts som ett störande inslag. Glastaket över Storholmsgatans centrala del har trots tidvis rikligt snöande nästan alltid varit till större delen snöfritt. Förklaringen till detta ligger i en kombination av brant lutning ( $46^\circ$ ), sarger och förhållandevis stor värmetransport genom tvåglaskonstruktionen ( $U$ -värde ca  $3 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Det är i detta sammanhang viktigt med en tillräckligt hög sarg nedanför glastaket som ger utrymme för den snö som glider ner. I Nielsen (1991) rekommenderas utifrån observationer i Oslo och Trondheim att sargens höjd bör vara större än  $1/15$  av glastakets bredd i horisontalprojektion. För t ex glastaket över Storholmsgatans centrala del medför denna rekommendation sarghöjden  $> 6,6 / 15 = 0,44 \text{ m}$ , vilket kan jämföras med sargens verkliga höjd ca  $0,5 \text{ m}$ . Med hänsyn till snö rekommenderas i Nielsen (1991) dessutom att glastakets lutning bör vara större än  $25^\circ$ . Erfarenheterna från Skärholmens Centrum bekräftar att det

under vissa förutsättningar är motiverat att räkna med reducerad snölast för glastak, se även Dreier et al. (1985) och Riktlinjer Glastak (1990).

När golvvärmslingorna varit i drift har snö och is hållits undan genom att värmslingorna har dragits ut några meter utanför ytterentréerna, se figur 3.3 i Höglund et al. (1987). Golvvärmen har härigenom bidragit till torrare förhållanden vid ytterentréerna och att mindre fukt och smuts dragits in. Från och med uppvärmningssäsongen 1988/89 har dock golvvärmen varit praktiskt taget avstängd, se kapitel 7. Det vore i detta sammanhang en stor fördel om golvvärmen hade varit sektionerad, så att golvvärmen vid behov kunde vara i drift endast vid ytterentréerna.

Ett viktigt inslag i miljöupplevelsen av t ex en överglasad gågata är givetvis att själva glasningen är i möjligaste mån ren och fri från allehanda skräp, sot, löv och annan smuts. Som framgår av figur 13.5 i Höglund et al. (1987) kan fågelsmuts i hög grad störa en fin utsikt. Efter åtta år har det blivit ordentligt smutsigt (dammigt) ovanpå balkar m m, vilket dock inte syns nerifrån. De två glastornen samt glasningen över Storholmsgatans mittparti kompletterades hösten 1986 med anordningar som möjliggör t ex byte av trasigt glas och utvändigt fönsterputsning. Erfarenheter från Skärholmens Centrum visar dock allmänt att nedsmutsning av glasningen inte är något större problem – fönsterputsning bara en gång per år synes vara tillräckligt. Detta kan jämföras med erfarenheter av Carlson (1992), där det anges att glastak kan behöva tvättas utvändigt allt ifrån tre till fyra gånger per år till kanske vart femte år, och mindre ofta invändigt. Det kan även konstateras att det annars alltför vanliga klottret i offentlig miljö inte förekommer i Skärholmens Centrum – ett gott betyg åt dess skötselansvariga.

Som framgår av kapitel 11 kan överglasningen av Skärholmens Centrum betraktas som en kommersiell framgång. Som påvisats i avsnitt 10.5 kan överglasningen av en tidigare öppen gågata också medföra en ekonomisk vinst genom att behovet av städning och fönstertvätt i omgivande lokaler minskar. Att överglasning också kan medföra en ekonomisk vinst genom minskad energiförbrukning påvisas i kapitel 7. När det gäller en helhetsbedömning av inverkan på ekonomin visar resultat enligt Thyholt (1991) att det vid nybyggnad finns goda förutsättningar för att en överglasad gågata ger bättre totalekonomi än en öppen gågata, se även Hestnes (1989).

# 11 Sociologiska undersökningar

## 11.1 Bakgrund och metodik

När det gäller Skärholmens Centrum var syftet med de sociologiska undersökningarna att kartlägga *användarnas uppfattning* om överglasningen. I detta innefattas såväl allmänna omdömen om den överglasning som gjorts som en rad frågor om hur man tycker anläggningen fungerar klimatmässigt, akustiska förhållanden, utformning, utrymme m m. Dessutom ingår vissa frågor om hur man utnyttjar centrumanläggningen och på vilket sätt ens vanor i dessa avseenden förändrats i och med överglasningen av de tidigare öppna gågatorna.

Arbetet med denna studie har genomförts av fil dr Arne Modig i nära samverkan med Institutionen för byggnadsteknik, KTH. I detta kapitel ingår i huvudsak resultat från Modig (1987) och kapitlet om sociologi i Höglund et al. (1987).

Tre olika empiriska undersökningar gjordes med de tre kategorierna besökare, personal och föreståndare i Skärholmens Centrum enligt följande:

**Besökare** avser de vuxna personer som på vardagar under dagtid vistas på de överglasade gågatorna. Denna undersökning gjordes med personliga intervjuer med totalt 524 besökare, vilket motsvarar svarsfrekvensen 71 % av de som kontaktades för intervju. Vid intervjuerna framkom att 85 % av besökarna var kunder, d v s hade gjort eller tänkte göra ett eller flera inköp i butikerna.

**Personal** avser samtliga som arbetar i kommersiella företag i hela Skärholmens Centrum, d v s även i de delar av centrum som inte direkt berörs av överglasningen. Denna undersökning gjordes med en enkät som skickades ut till ett slumpmässigt urval av all personal utifrån ett adressregister från Skärholmens företagarförening. Efter två påminnelser hade ifyllda enkäter erhållits från 263 personer, vilket motsvarar svarsfrekvensen 64 %. De flesta resultat

baseras dock på svaren från de 237 personer som hade erfarenhet av arbete i Skärholmens Centrum efter överglasningen, de 222 personer som hade erfarenhet av arbete i Skärholmens Centrum både före och efter överglasningen eller de 183 personer som hade erfarenhet av arbete i lokaler med direkt anslutning till de överglasade gågatorna.

**Föreståndare** avser föreståndare, butikschef, butiksägare etc. i de butiker, banker etc. som har kundentré mot någon av de överglasade gågatorna. Denna undersökning gjordes med en enkät som skickades ut till samtliga berörda föreståndare. Efter påminnelser hade svar erhållits från 29 föreståndare, vilket motsvarar svarsfrekvensen 74 %.

I de tre undersökningarna ställdes delvis samma frågor och delvis frågor avsedda endast för respektive kategori. Vid intervjuerna med besökarna strävades efter ett så slumpmässigt urval av intervjupersoner som möjligt. Eftersom de intervjuades uppfattning om bl a det termiska klimatet kan tänkas variera med årstiden för intervjun, så fördelades intervjuerna till tre olika tider på året; oktober–november, februari och juni. Som resultat från intervjuerna har använts viktade medelvärden av svaren från nio olika perioder; måndag–torsdag, fredag och lördag för var och en av de tre tiderna på året. Viktningen har gjorts utifrån en uppskattning av antalet besökare och antalet intervjuer under respektive period.

Till skillnad från intervjuerna med besökarna, som alltså gjordes vid tre olika tider på året, skickades enkäterna ut till personal och föreståndare vid ett enda tillfälle. Intervjuerna gjordes 11–19 månader efter det att överglasningen var klar november 1984. Enkäterna skickades ut i maj 1986, d v s 18 månader efter det att överglasningen var klar. Mer information om bakgrund och metodik för de sociologiska undersökningarna framgår av Modig (1987), där även formuläret för intervjuer med besökarna och enkäten riktad till personalen finns med som bilaga.

Resultaten från Skärholmens Centrum jämförs delvis med resultat från universitetscentret i Dragvoll, Trondheim, se Cold, Fathi & Asmervik (1985). Universitetscentret i Dragvoll, som togs i bruk 1978, är en del av Universitetet i Trondheim och ligger ca 5 km sydost om centrala Trondheim. Vid tiden för utvärderingen, 1983/84, hade anläggningen ca 180 anställda och drygt 700 studenter. Liksom i Skärholmens Centrum är det sex huskroppar som förbundits med överglasade gågator. Universitetscentret innehåller undervisningslokaler, tjänsterum för lärare, bokhandel, servering m m. Husen är tre våningar höga och ligger samlade kring en central överglasad gågata, vilken används nästan enbart av studenter och de anställda (främst lärare och forskare). Anläggningens bruttoarea är 24 900 m<sup>2</sup>, varav ca 1 600 m<sup>2</sup> är

gågatornas golvarea. Gångatorna är 8,4 m breda och har tak av enkelglas. Väggarna mot de överglasade gångatorna har värmeisolering av mineralull som även fungerar som ljudabsorbenter, eftersom fasaden är klädd med perforerade aluminiumplåtar. De överglasade gångatorna saknar egen mekanisk ventilation och värms vintertid av frånluft från omgivande byggnader och även passivt av dessa byggnaders värmeförluster.

Den sociologiska utvärderingen av universitetscentret i Dragvoll har flera likheter med motsvarande utvärdering av Skärholmens Centrum, varför jämförelse av resultaten är mycket intressant. Universitetscentret i Dragvoll utvärderades med hjälp av enkäter som besvarades av 129 studenter och 124 anställda. Svarefrekvensen var 72 respektive 71 %, d v s ungefär densamma som i Skärholmens Centrum. En skillnad är att utvärderingen av Dragvoll gjordes när anläggningen hade använts 5 år, medan det överglasade Skärholmens Centrum bara hade använts 1–1,5 år vid utvärderingen.

I följande avsnitt 11.2 framgår resultaten från Skärholmens Centrum, vilka alltså delvis jämförs med resultat från universitetscentret i Dragvoll. Detta avser i båda fallen byggnader som kan kallas offentliga, med en i första hand *allmän* miljö. I avsnitt 11.3 framgår kompletterande resultat avseende stora överglasningar i samband med flerbostadshus, d v s en i första hand *privat* miljö.

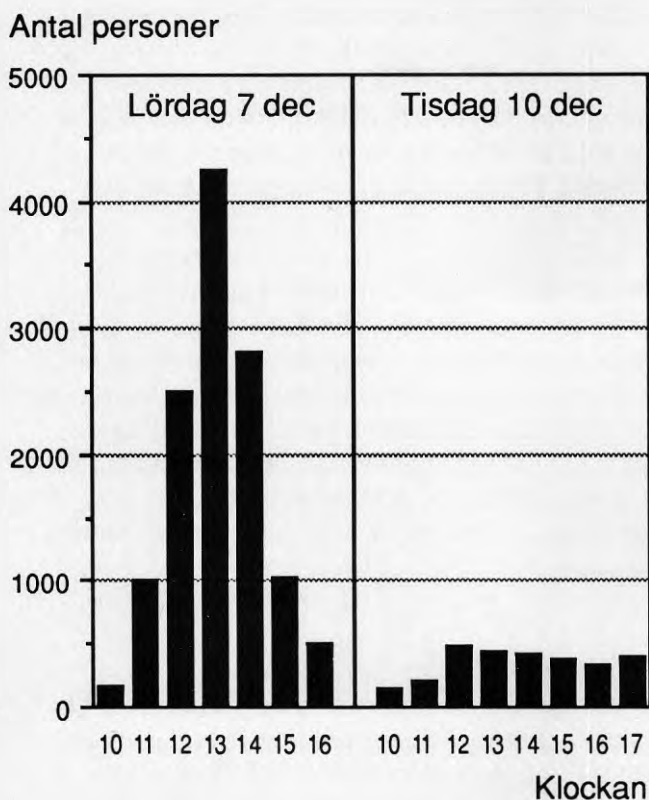
## 11.2 Resultat avseende offentliga byggnader

### 11.2.1 Allmänt

#### ANTAL BESÖKARE, ÄRENDE ETC.

I december 1985 genomfördes en beräkning av hur många personer som vid olika tidpunkter befinner sig på de överglasade gångatorna i Skärholmens Centrum (Storholmsgatan, Lillholmsgången samt Byholmsgången). Beräkningarna avser två dagar, lördag den 7 december och tisdag den 10 december. Tisdagen är en tämligen ordinär vardag. Lördagen påverkades delvis av den annalkande julruschen. Se figur 11.1. Som framgår besöks anläggningen vid köprusch av över 4 000 personer, d v s mer än en person per m<sup>2</sup> golvarea.





*Figur 11.1. Antal personer som vid olika tidpunkter befinner sig på de överglasade gångarna två dagar 1985.*

*Rimligtvis har antalet besökare under lördagen påverkats betydligt mer av julhandeln. Sannolikt är alltså skillnaden mellan lördagar och vardagar mindre under övriga tider på året.*

Som väntat finns en viss dominans av kvinnor (54 %) bland besökarna i Skärholmens Centrum. I jämförelse med befolkningen i omkringliggande områden är yngre personer, speciellt i åldrarna 18–24 år, överrepresenterade bland besökarna. Ungefär 16 % av besökarna ger p g a utseende eller språk ett intryck av att vara invandrare. Nästan hälften av de vuxna besökarna går i centrum utan direkt sällskap. Ytterligare en tredjedel har sällskap av minst en annan vuxen. Bara 6 % befinner sig i en familjesituation, d v s har med sig både barn och vuxen.

Centrumanläggningen i Skärholmen är dimensionerad för att betjäna ett betydligt större område än den egna stadsdelen. Detta visar sig också i att bara 10 % av besökarna bor i Skärholmen. Ytterligare 26 % bor i de intilliggande stadsdelarna Vårby, Vårberg, Sätra, Bredäng och Segeltorp. De allra flesta besökarna (71 %) är förvärvsarbetande. Bland övriga märks en grupp företrädesvis äldre pensionärer (13 %) och en grupp yngre studerande (9 %). Bara ett mycket litet fåtal är "hemmafruar".

Skärholmens Centrum är i första hand en kommersiell anläggning. 85 % av besökarna gör ett eller flera inköp vid det aktuella besöket. Tre av fyra besökare utträttar andra typer av ärenden som att besöka bank eller post, utnyttja någon hantverkare, besöka försäkringskassa etc. Hela 40 % av besökarna uppger att de använder åtminstone en del av sitt besök i centrum för att gå på kafé eller restaurang. Det är bara 3 % som säger sig vistas i centrum utan särskilt ärende.

Den överglasning som gjorts i Skärholmen täcker inte hela centrumanläggningen. Vissa affärsgator har lämnats utanför. Bland affärsinnehavarna i centrum har en diskussion förts om vilka konsekvenser detta får för kundtillströmningen i olika delar av centrum. För att belysa detta fick besökarna (som vid intervjun befann sig i den överglasade delen) en fråga om var man hade varit respektive vart man tänkte gå vid det aktuella besöket. 43 % hade redan varit i de icke överglasade delarna av centrum och ytterligare 22 % avsåg att ta sig dit. Detta innebär att en tredjedel av besökarna nöjer sig med att stanna i de överglasade delarna av centrum.

## INVERKAN PÅ OMSÄTTNINGEN

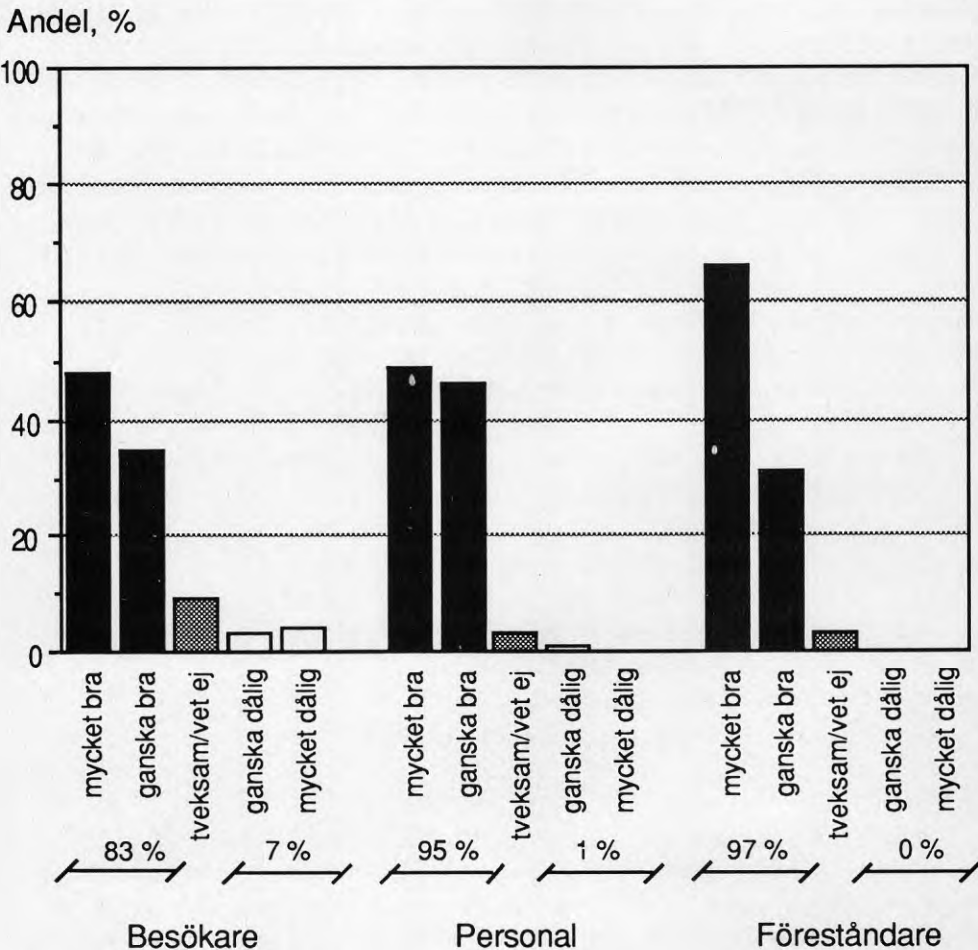
Det är bara 9 % av besökarna som inte varit i centrum före överglasningen. Samtidigt säger nästan en tredjedel att de brukar komma till Skärholmen oftare efter överglasningen. Skärholmens Centrum har således fått fler kunder vilket både beror på att man fått helt nya kunder och att gamla kunder kommer hit oftare efter överglasningen. Sannolikt förlägger man också fler typer av ärenden till Skärholmens Centrum.

Man ska här komma ihåg att Skärholmens Centrum före överglasningen var inne i en period av minskande kundtillströmning. Överglasningen innebär således att man inte bara brutit en nedåtgående tendens utan också vänt den till en ökning.

Av naturliga skäl är det känsligt att presentera siffror på omsättningsutvecklingen, men alla resultat visar på en klar omsättningsökning i centrum efter överglasningen. Föreståndarna är därför också nöjda. Bland dem som har butiker inne i överglasningen uppger 32 % att de fått en *stor* ökning av tillströmningen av kunder. 54 % nöjer sig med att tala om en *viss* ökning.

## ALLMÄNT OMDÖME

Det visar sig, som väntat, att de allra flesta av såväl besökare, personal som föreståndare tycker bra om eller t o m är mycket förtjusta i överglasningen och det sätt på vilket den genomförts, se figur 11.2. Uppenbarligen är de föreståndare som har sin verksamhet under överglasningen mycket nöjda. En klar majoritet av såväl kunder som annan personal är också nöjda, även om de anställda i allmänhet är något mer nöjda än de mer tillfälligt besökande kunderna.



Figur 11.2. Svar på frågan: "Tycker du att den överglasning som gjorts är bra eller dålig?" Ett negativt svar på denna allmänna fråga gavs alltså bara av 7 % av besökarna, 1 % av personalen och ingen av föreståndarna.

Ungefär samma fråga som i figur 11.2 ställdes även vid utvärderingen av de överglasade gågatorna i universitetscentret i Dragvoll, se Cold et al. (1985). Resultatet blev att såväl studenter som anställda (även de som på sin arbetsplats har fönster mot en överglasad gågata) var lika positiva som den mest positiva kategorin i Skärholmen, d v s föreståndarna. Anmärkningsvärt är också att ingen av de 253 som besvarade frågan gav ett negativt svar. Det torde vara ovanligt med ett så helt entydigt positivt omdöme från så många människor.

Den sociologiska utvärderingen av universitetscentret i Dragvoll gjordes fem år efter nybyggnad. Denna utvärdering förgicks dock av en mindre intervjuundersökning som gjordes två år efter nybyggnad. Enligt Cold et al. (1985) tycks inställningen till den överglasade gågatan faktiskt ha förändrat sig i positiv riktning med tiden. Detta är tvärtom mot vad man kanske kunde ha förväntat sig, eftersom en mer positiv inställning i samband med "nyhetens behag" vore ganska naturlig. Kanske antyder också detta att den positiva inställningen till överglasade miljöer inte i första hand beror på att dessa miljöer är "inne" och "högsta mode", utan på att de överglasade miljöerna faktiskt svarar mot lite djupare mänskliga önskemål om vad som är en bra miljö.

När man frågade besökarna i Skärholmens Centrum *vad* de tyckte var bra med överglasningen fick man följande svar (där summan överstiger 100 % eftersom vissa kryssat för mer än ett alternativ):

- den ger skydd mot dåligt väder som regn, kyla, blåst och snö; den ger ett bra inomhusklimat 66 %
- det är en vacker och estetiskt tilltalande anläggning 23 %
- överglasningen har skapat en intimare, trivsammare miljö, där det är roligt att strosa omkring 22 %
- överglasningen har gjort att centrum har blivit renare och mer välstädat 6 %
- centrum har blivit allmänt bättre med högre status 4 %

Uppenbarligen är det främst i termer av klimatförhållanden som man mest uppskattar anläggningen. *Just känslan av att slippa vara utsatt för det nordiska klimatets både säsongsvisa och mer tillfälliga växlingar är helt klart det man mest uppskattar med överglasningen.*

Dessutom är det många som tycker att det har blivit en *vacker anläggning* som upplevs som ljus och rymlig. Det nyinlagda marmorgolvet bidrar på ett helt avgörande sätt till detta. Många är också mycket nöjda med den miljö som skapats: man tycker det känns mysigt att strosa omkring i centrum nu, man uppskattar att människor samlas och att det är liv och rörelse. Här finns ett drag av sydländskt gatuliv, vilket många är förtjusta i. Till detta bidrar också i väsentlig grad de serveringar som finns på eller i direkt anslutning till de överglasade gågatorna.

Betydelsefullt är också att man i flera fall öppnat butikens fasad. Man får därigenom ett uppskattat samband mellan gata och affärsutrymme. Konditoriet i entrén till Domus varuhus är ett lyckat exempel på detta. En annan fördel med dessa öppningar är att de samtidigt förbättrar akustiken på de överglasade gågatorna, se kapitel 9.

Besökarnas övervägande positiva intryck av Skärholmens Centrum bekräftas även av en senare marknadsundersökning som gjordes 4,5 år efter överglasningen, Roman & Lindh (1989). Denna marknadsundersökning (genom totalt 400 intervjuer) avsåg dock inte specifikt just överglasningen.

## 11.2.2 Besvärreaktioner

Ett viktigt syfte med de sociologiska undersökningarna var att ge underlag för förbättring och utveckling av överglasningen. Mot denna bakgrund och mot bakgrund av de genomförda tekniska undersökningarna ställdes i intervjuer och enkäter ingående frågor om eventuella besvärreaktioner på olika områden. Undersökningarna gjordes vid olika tider på året under 1985–86, se avsnitt 11.1, vilket innebär att golvvärmeslingorna normalt var i drift vintertid.

### TERMISK KOMFORT OCH LUFTKVALITET

En viktig sådan fråga rör om man som besökare i en överglasad anläggning av Skärholmens typ upplever att man saknar att komma ut i ett utomhusklimat när man går mellan affärerna. På en direkt fråga menar 31 % av de intervjuade besökarna att det åtminstone någon gång hänt att de saknat utomhusklimatet. Siffran kan tyckas hög, men ska nog inte tolkas som att så många faktiskt föredrar att komma utomhus eller ens oftast har saknat detta. Snarast är det ett uttryck för att man någon gång funderat i dessa banor.

Denna avsaknad av "utomhuskänsla" när man vistas på en överglasad gata kan naturligtvis bero på många olika saker. Så menar t ex lite drygt hälften av besökarna att de åtminstone vid något tillfälle tyckt att det varit för varmt. En målsättning med överglasningen har varit att året runt hålla sådan temperatur att man kan gå omkring utan ytterkläder. När man tycker att det är för varmt kan det således bero på att man som besökare är klädd för utomhuspromenad i vinterklimat. Nästan varannan besökare har åtminstone vid något tillfälle tyckt att det varit ett problem att man varit för varmt klädd.

En annan typ av situation där det också kan bli för varmt är när det är extra mycket folk i anläggningen som vissa lördagar eller vid speciella arrangemang. Nästan varannan besökare menar att det åtminstone någon gång varit för mycket folk inne i de överglasade delarna av centrum och att det därför känts för trångt.

Tyvärr ställdes ingen motsvarande fråga om man hade upplevt det som för kallt. Utifrån "övriga synpunkter" framkom dock resultat ur vilka Modig (1987) drar slutsatsen att nästan ingen besökare tyckte att det hade varit för kallt i anläggningen.

Ett annat problem när det gäller "utomhuskänslan" är luften i anläggningen. Också här finns uppenbarligen vissa problem: nästan en tredjedel av alla besökare menar att de vid ett eller flera tillfällen tyckt att luften känts instängd eller att det på annat sätt känts obehagligt i anläggningen. Också bland de anställda tycker man att det kan vara vissa problem med klimatet på de överglasade gågatorna. 35 % menar att det hänt att man saknat att komma utomhus när man rör sig där. De som arbetar i centrum tycks dessutom oftare (47 %) än besökarna anse att luften ibland känns instängd.

Hur tycker man då att klimatet är i de butiksutrymmen m m som ansluter mot de överglasade gågatorna? Bland de anställda som arbetar där tycker hela två tredjedelar att luften i butiken mer eller mindre ofta känns instängd. Dessa problem tycks något vanligare i de lokaler som inte byggts om så att fasaden är öppen mot gatan eller där man inte så ofta har dörren öppen. På samma sätt tycker många av de anställda att luften i butiker m m är alltför torr. I den grupp (36 %) som menar sig ofta ha sådana problem anser en majoritet (70 %) att problemen beror på överglasningen.

Samtidigt tycker man bland personalen att det är vissa problem med drag i de butiker som ansluter mot överglasningen. 26 % av dem som arbetar där känner av detta mer eller mindre ofta. Ungefär en tredjedel av dessa har åsikten att problemen beror på överglasningen.

## AKUSTIK

Skärholmens Centrum byggdes ursprungligen med huskroppar längs öppna gågator. Överglasningen innebär att dessa öppna gaturum har omvandlats till slutna rum. Denna nya miljö får med nödvändighet speciella akustiska egenskaper.

Av samtliga besökare uppger en tredjedel att de åtminstone vid något tillfälle upplevt ljudnivån i de överglasade delarna som störande. När man frågar om vad det är som fått dem att känna sig störda ger de lite olika typer av svar. Vissa talar om ljudets karaktär och menar att det ekar för mycket. Andra ger mer diffusa hänvisningar till att det är ett ständigt sorl eller att det är bullrigare. Några har svårt att formulera vad det är och talar om "annorlunda ljud". Ett fåtal hänvisar till att man störts i samband med "jippon", musik och uppträdanden. För de flesta besökare är dessa störningar inte särskilt allvarliga. Så många som 10 % uppfattar dem dock som ett stort problem. De anställda tycks något mindre ofta störda av ljudnivån.

För att ytterligare belysa hur olika kategorier av användare uppfattar de akustiska förhållandena i Skärholmens Centrum ställdes en fråga där man ombads jämföra med Gallerian i Stockholms innerstad, se tabell 11.1. Också detta visar att kunder och andra besökare i många fall tycker att ljudnivån är relativt

*Tabell 11.1. Svar på frågan: "Om Du jämför med Gallerian i Stockholms innerstad tycker Du då att ljudnivån är högre eller lägre i Skärholmen?" Både besökare och personal har (vid intervjun respektive på enkäten) fått information om att denna är en av flera frågor som avser den överglasade delen av Skärholmens Centrum.*

Omdöme	Besökare %	Personal %
Högre ljudnivå i Skärholmen	50	8
Samma	14	10
Lägre ljudnivå i Skärholmen	6	17
Tveksam/vet ej	31	64
Antal personer	524	237

hög i Skärholmens Centrum. Uppenbarligen uppfattar inte de anställda ljudnivån i anläggningen på samma sätt som störande. Förklaringen till detta är att kunderna, betydligt oftare än personalen, rör sig på de överglasade gågatorna och att det är just där problem finns. I butikerna finns inte dessa problem.

I takt med att allt fler fasader öppnas mot de överglasade gågatorna kommer de akustiska problemen att minska något, se kapitel 9.

## SOLLJUS

En viktig egenskap hos en anläggning som den i Skärholmen är användningen av glas för att skapa ett inomhusrum där man har direkt synkontakt med omgivningen. Det genomskinliga glaset släpper in ljus och skapar en känsla av rymd. Ett speciellt problem i detta sammanhang är att det ljus som släpps in kan vara obehagligt. Människor kan t ex bländas av alltför starkt solljus. Nu har dock överglasningen i Skärholmen konstruerats så att detta bör vara ett mindre problem än i många andra anläggningar. Det visar sig också att bara 8 % av besökarna, d v s ganska få, någon gång bländats av solen.

Man har ibland befarat att en överglasning ska förändra ljusförhållandena i de butikslokaler som ansluter till överglasningen så att det t ex blir problem med färgåtergivning. Bara en liten del av personalen (8 %) menar sig ibland ha upplevt sådana problem.

## SAMBAND MELLAN BESVÄRSREAKTIONER OCH ALLMÄNT OMDÖME

I intervjuerna med besökarna ställdes frågor om följande sju besvärreaktioner (i bilaga till Modig (1987) framgår hur frågorna ställdes):

- Trängsel
- För varmt
- För varm klädsel
- Instängd luft
- Saknat utomhusklimat
- Hög ljudnivå
- Bländad av solen.



Trots att endast 7 % av besökarna var allmänt negativa till överglasningen (och 9 % tveksamma, se figur 11.2), så uppgav hela 85 % åtminstone någon besvärreaktion, och 46 % uppgav att man upplevde minst tre av de sju besvärreaktionerna. Att man upplever vissa problem hindrar alltså inte att man i de flesta fall är allmänt positiv till överglasningen.

En analys visar dock att svaren på besvärreaktionerna har stor betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen. Av de sju besvärreaktionerna visade det sig att känslan av att sakna utomhusklimatet hade störst betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen, medan känslan av att luften känns instängd hade näst störst betydelse.

När det gäller det allmänna omdömet från olika grupper visade det sig att män var något mer positiva än kvinnor till överglasningen. Det visade sig också att den äldsta gruppen besökare (65 år och äldre) var mest positiv till överglasningen, medan den yngsta gruppen (18–24 år) var minst positiv. Dessa skillnader mellan olika grupper var dock relativt små. Det allmänna omdömet om överglasningen påverkades mer av förekomsten av besvärreaktioner än av grupptillhörigheten.

I enkäten till personalen ställdes frågor om fyra olika besvärreaktioner; för varmt, instängd luft, saknat utomhusklimat och hög ljudnivå. Trots att endast 1 % av personalen var allmänt negativa till överglasningen (och 3 % tveksamma, se figur 11.2), så uppgav hela 70 % åtminstone någon besvärreaktion, d v s liksom för besökarna så hindrar inte vissa upplevda problem att man i de flesta fall är allmänt positiv till överglasningen. Liksom för besökarna hade dock svaren på besvärreaktionerna stor betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen. Känslan av att sakna utomhusklimatet hade störst betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen, medan känslan av att luften känns instängd hade näst störst betydelse. När det gäller betydelsen av olika besvärreaktioner har alltså personal och besökare gjort ungefär samma bedömning.

### 11.2.3 Semantisk miljöbeskrivning

För att kunna beskriva hur användarna *upplever* den överglasade miljön har en sk semantisk miljöbeskrivning använts. I detta fall har 11 stycken sjugradiga semantiska skalor använts, där var och en av dessa skalor innehåller ett motsatspar av adjektiv, t ex ovanlig – vanlig, ljus – mörk etc. Skalorna går

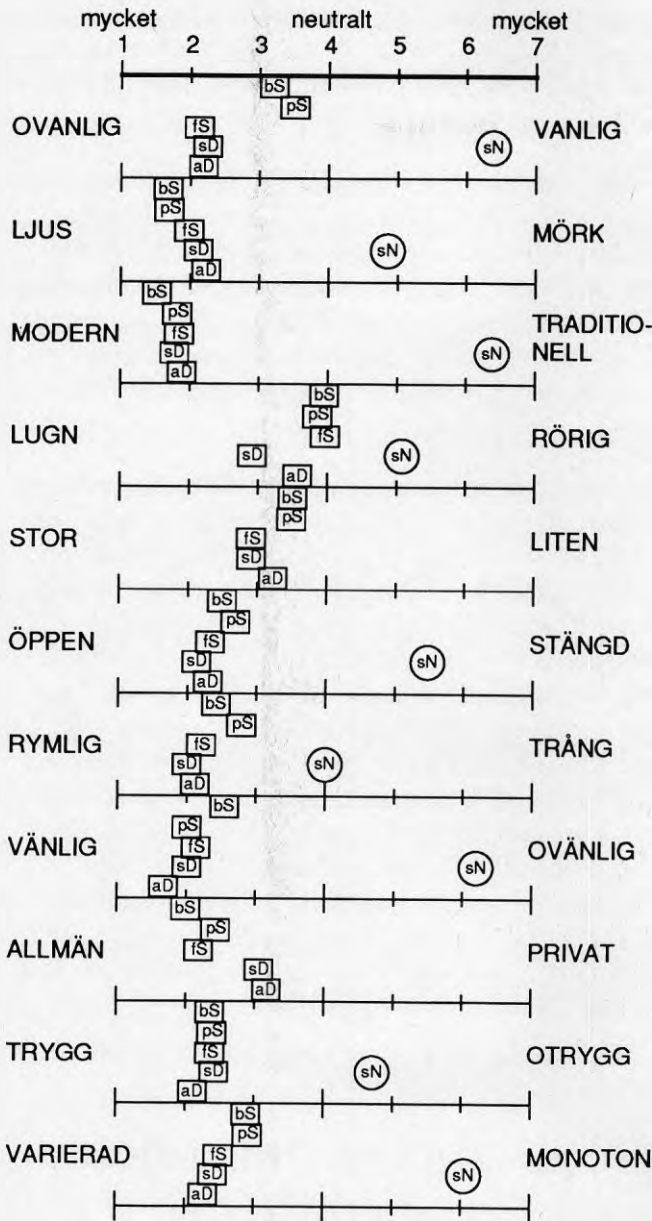
t ex från ”mycket ovanlig” via ”neutral” till ”mycket vanlig”. Vid intervjuer respektive genom enkäter har besökarna respektive personalen och föreståndarna på dessa sju gradiga skalor angett hur de upplever miljön på de överglasade gågatorna. Resultaten från Skärholmens Centrum jämförs med motsvarande resultat från dels överglasade gågator i universitetscentret i Dragvoll, Trondheim, och dels en konventionell korridor i NTH, Trondheim, se figur 11.3.

I flera fall motsvarar motsatsparen av adjektiv ganska entydigt något positivt respektive negativt, t ex vänlig – ovänlig och trygg – otrygg. I flera andra fall är adjektiven inte alls entydigt positiva eller negativa, t ex ovanlig – vanlig och modern – traditionell. Om allmän eller privat upplevs som det mer positiva måste rimligen bero på vilken typ av miljö frågan gäller. De adjektiv som dock närmast torde motsvara en positiv upplevelse av miljön har i figur 11.3 ställts på vänster sida. Det framgår därför tydligt att det överglasade Skärholmens Centrum med samtliga 11 adjektivpar upplevs som mellan neutralt och mycket positivt av såväl besökare som personal och föreståndare.

Av figur 11.3 framgår att besökare, personal och föreståndare har mycket likartad uppfattning om de överglasade gågatorna i Skärholmen. Man upplever överglasningen som mycket ljus och mycket modern, samtidigt som den betraktas som relativt öppen och rymlig och dessutom vänlig och trygg. Miljön upplevs som mer allmän än privat och mer varierad än monoton. Varken besökare eller personal uppfattar överglasningen i Skärholmen som speciellt ovanlig, medan föreståndarna upplever miljön som mer ovanlig. Hur lång tid efter invigningen som frågorna ställdes (i detta fall 11–19 månader) kan tänkas ha betydelse för t ex hur ovanlig eller vanlig miljön upplevs.

De flesta upplever de överglasade gågatorna som mer rymliga än som stora. Sannolikt uppskattar man i detta sammanhang den varierade utformning och geometri som gågatorna har, vilket faktiskt delvis döljer anläggningens verkliga storlek och dessutom bidrar till intrycket av variation snarare än monoton. Man kunde här befara att den huvudsakligen positiva upplevelsen av variation kombinerades med den huvudsakligen negativa upplevelsen av att det samtidigt är rörigt. Trots den varierade utformningen och periodvis intensivt folkliv upplever dock de flesta människor miljön som någonting mittemellan rörigt och lugn, d v s som neutral i detta avseende.

De överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum och i universitetscentret i Dragvoll är relativt olika såväl när det gäller utformning som funktion. Det är därför mycket intressant att studenter och anställda upplever miljön i Dragvoll så likartat som besökare, personal och föreståndare upplever miljön i Skärholmen. De överglasade gågatorna i Dragvoll upplevs dock som något mer



Figur 11.3. Semantisk miljöbeskrivning av de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum och i universitetetscentret i Dragvoll, Trondheim. Median av svaren från besökare, personal och föreståndare respektive studenter och anställda. De adjektiv som närmast torde motsvara en positiv upplevelse av miljön står till vänster. Som jämförelse visas resultat avseende en helt vanlig (konventionell) korridor som hör till NTH, Trondheim.

En skillnad när det gäller de semantiska skalorna är att man i Dragvoll och NTH hade orden "extremt" i skalornas ändar medan man i Skärholmen hade orden "mycket", en skillnad som dock inte torde ha inverkat alltför mycket på resultatet. Resultat från Modig (1987) och Cold et al. (1985).

#### ÖVERGLASADE GÅGATOR

- bS besökare, Skärholmen
- pS personal, Skärholmen
- fS föreståndare, Skärholmen
- sD studenter, Dragvoll
- aD anställda, Dragvoll

#### VANLIG KORRIDOR

- sN studenter, NTH

ovanliga, privata och lugna. Dessa skillnader i uppfattning är ganska naturliga om man jämför den lugna och ganska avskilda universitetsmiljön i Dragvoll med den mycket offentliga kommersiella miljön i Skärholmen, där folklivet periodvis är intensivt.

Människors upplevelser av den överglasade miljön i Skärholmens Centrum registrerades när anläggningen var 1–1,5 år gammal. Det är mycket intressant att den överglasade miljön i Dragvoll upplevdes så likartat och positivt trots att den anläggningen var betydligt äldre, 5 år, vid utvärderingen. Det likartade omdömet om de två överglasade miljöerna är också intressant mot bakgrund av att det i ena fallet handlar om en universitetsmiljö och i det andra fallet om ett köpcentrum, och dessutom att det i ena fallet är nybyggnad och i andra fallet ombyggnad.

I Cold et al. (1985) har även 35 studenter fått ge en semantisk beskrivning av hur de upplever huvudkorridoren mellan centralbyggnaderna på Norges Tekniska Högskola, NTH. Som framgår av figur 11.3 upplevs denna konventionella korridor helt annorlunda, i samtliga fall i negativ riktning, i jämförelse med de överglasade gågatorna. Korridoren upplevs som mycket vanlig, traditionell, ovänlig och monoton, ganska stängd, något mörk, rörig och otrygg och varken rymlig eller trång. (Resultaten för upplevelsen av stor – liten och allmän – privat finns ej med i Cold et al. (1985).) Jämförelsen mellan överglasade gågator och en konventionell korridor är mycket intressant, eftersom dessa delvis fyller samma funktion som kommunikationsytor. Skillnaden är mycket entydig. I de fall man kan skilja på direkt positiva och negativa omdömen är det i samtliga fall så att de överglasade gågatorna får positiva omdömen och den vanliga korridoren negativa omdömen. Denna skillnad bekräftas även av svaren av såväl studenter som anställda på universitetscentret i Dragvoll, där alla 253 som har svarat värderade den överglasade gågatan positivt i jämförelse med en mer traditionell huvudkorridor.

## 11.3 Kompletterande erfarenheter avseende flerbostadshus

I jämförelse med föregående avsnitt 11.2 medför stora överglasningar i samband med bostäder väsentligt annorlunda förutsättningar, eftersom det handlar om privat miljö. En jämförelse med erfarenheter även från bostäder är därför intressant. I detta avsnitt refereras de sociologiska utvärderingarna av tre olika flerbostadshus med överglasade gårdar.

Flerbostadshuset och de överglasade gårdarna i kvarteren Höstvetet och Bodbetjänten i södra Stockholm har utvärderats sociologiskt i Norrby–Herdenfeldt (1989) och Engvall (1989).

Kv Höstvetet innehåller 71 lägenheter kring dels en öppen och dels en överglasad gård, som har ett glastak i form av ett sadeltak. Den överglasade gården har en utelik miljö och värms enbart passivt av värmeförluster från omgivande byggnader och av solinstrålning.

Kv Bodbetjänten innehåller 41 lägenheter, varav de flesta ligger kring en överglasad gård, vars tak endast har omgivande vertikala glasytor (ordet inglasad är kanske egentligen lämpligare än överglasad i detta fall). Bostadshuset är i detta fall sammanbyggt med ett kontorshus. Den överglasade gården har en inneklimat miljö och värms av frånluft från omgivande byggnader och kontor.

Båda husen (kvarteren) byggdes 1985–86, och lägenheterna nås med loftgångar. I båda husen är relativt få, ca 1/4, barnhushåll. En betydande skillnad är dock att det i kv Höstvetet endast finns ett fåtal pensionärshushåll, medan så mycket som hälften utgör pensionärshushåll i kv Bodbetjänten.

I Norrby–Herdenfeldt (1989) har de boende delats in i två grupper; de vars lägenhet vetter mot de överglasade gårdarna och de vars lägenhet vetter mot det fria. Av de som bor vid de överglasade gårdarna svarar ca 90 % i kv Höstvetet att de på det hela taget är nöjda med den överglasade gården, medan nästan ingen är allmänt missnöjd. I kv Bodbetjänten är det allmänna omdömet inte lika positivt; ca 65 % nöjda och ca 20 % missnöjda. När det gäller att ange fördelarna med de överglasade gårdarna så är det (liksom t ex i Skärholmens Centrum) skyddet mot uteklimatet som framhålls som största enskilda fördel.

Det allmänna omdömet om den överglasade gården hade för kv Höstvetet starka samband med bedömningen av gårdens utformning, ljudförhållanden samt klimatet, och för kv Bodbetjänten på motsvarande sätt starka samband med möjligheterna till avkoppling, växtligheten samt gårdens skötsel. En jämförelse med de överglasade gårdarna i Skärholmens Centrum är svår att göra i detta avseende, eftersom frågorna ställdes olika. Av sju olika besvärreaktioner i Skärholmens Centrum (avsnitt 11.2.3) visade det sig att känslan av att sakna utomhusklimatet hade störst betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen, medan känslan av att luften känns instängd hade näst störst betydelse.

I Modig (1987) och i avsnitt 12.1 påpekas att människors förväntningar kan påverka hur det termiska klimatet upplevs. Som framhålls i Norrby–Herdenfeldt (1989) kan människors förväntningar på motsvarande sätt påverka hur man upplever skötseln av en överglasad gård. Detta förklarar sannolikt till stor del att man är mer kritisk till skötseln av kv Bodbetjäntens överglasade gård, eftersom denna mer liknar ett innerum och därmed skapar förväntningar på att städas och skötas noggrannare.

När det gäller akustiken så upplevdes de lägenheter som vetter mot överglasningen i kv Bodbetjänten oftare som tystare än de lägenheter som vetter mot det fria. I detta fall är inverkan av ljud från såväl tunnelbana som en trafikled betydande, och resultatet tyder på att överglasningens ljudisolerande förmåga mot utifrån kommande ljud har betydelse.

På frågan "Tycker Du i allmänhet att temperaturen i Din lägenhet varit lagom, för varm eller för kall under vintern?" framkom en viss skillnad mellan svaren från de vars lägenhet vetter mot de överglasade gårdarna och de vars lägenhet vetter mot det fria. I kv Höstvetet svarade ca 45 % respektive över 65 % av de boende vid den överglasade gården respektive de boende med lägenhet mot det fria "För kall". För kv Bodbetjänten var motsvarande siffror drygt 35 % respektive ca 50 %. En gynnsam effekt av överglasningen när det gäller inverkan på temperaturen (egentligen det termiska klimatet) i lägenheterna vintertid blir dock i dessa fall ganska marginell, eftersom det samtidigt var fler av de boende mot överglasningen som tyckte att det var för varmt i lägenheten vintertid. Någon motsvarande fråga avseende förhållandena på sommaren framgår tyvärr inte i Norrby–Herdenfeldt (1989).

Engvall (1989) har låtit de boende i kv Höstvetet och kv Bodbetjänten rangordna 15 olika "baskrav för en god bostad" enligt en femgradig skala, där 5 poäng motsvarar högsta prioritet. Utifrån svaren har de 15 kraven delats in i tre olika prioriteringsnivåer:

1. Krav som avser husets och den egna lägenhetens kvalitéer och hyresgästens egen integritet.
2. Krav som avser gemensamma angelägenheter som service, god närmiljö, tvättstuga och information.
3. Krav som avser grannkontakter och den överglasade gårdens utformning och funktion.

Av de boendes genomsnittliga värdering av de 15 kraven fick kravet "Huset och lägenheten har goda sanitära förhållanden när det gäller lukt, buller, husdjur, ohyra etc." högst poäng, 4,7 av 5 möjliga. De krav som direkt avser den överglasade gården fick följande genomsnittliga rangordning och poäng:

12. (3,9 p.) "Innegården har en trivsamt och väl fungerande miljö."
13. (3,5 p.) "Temperatur och ventilation i innegården är bra, kan anpassas och varieras efter behov."
15. (3,2 p.) "Innegården fungerar som lekplats för husets barn."

Tre av de fyra kraven med lägst rangordning är alltså de som direkt avser den överglasade gården ("innegården"). Det är alltså helt klart att kraven på den överglasade gården prioriterades lågt av de boende i dessa fall.

I Engvall (1989) ingår även en speciell enkätundersökning med en teknik som kallas Problem Detection Study, PDS. Denna teknik innebär i detta fall att de boende medverkar i urval och formulering av problem avseende bostaden, den överglasade gården m m. Utifrån intervjuer med de boende sammanställdes totalt 203 st påståenden, som de boende senare fick värdera med 1-4 poäng enligt ett av följande alternativ:

- 4 p. Jag instämmer helt.
- 3 p. Jag instämmer delvis.
- 2 p. Jag instämmer inte alls.
- 1 p. Jag har ingen uppfattning.

Det Engvall (1989) sedan redovisar är rangordningen för de 203 olika "problempåståendena" utifrån de totala poängsummorna. För problemen med högst rangordning gäller att nästan samtliga instämmer helt eller delvis, d v s resultatet är ganska entydigt och därmed lätt att tolka. För problem med lägre rangordning blir dock resultatet svårtolkat, eftersom poängsumman bara delvis säger vilka av de fyra alternativen som de boende har angett. Om t ex ett visst antal av de boende anger "Jag instämmer inte alls" eller hälften av detta antal anger "Jag instämmer delvis" respektive "Jag har ingen uppfattning" så blir ju poängsumman densamma, trots att dessa två fall egentligen motsvarar två olika resultat. Dessa fyra svarsalternativ motsvarar egentligen inte en fyrgradig utan en tvågradig skala, varför det vore logiskt att bara räkna poäng för svaren "Jag instämmer helt" (t ex 2 p.) och "Jag instämmer delvis" (t ex 1 p.). Svaren "Jag instämmer inte alls" och "Jag har ingen uppfattning" kunde t ex redovisas separat i procent.

Enligt Engvall (1989) motsvarar de 80 högst rankande problemen (av 203 st) "problem av större vikt". I det följande visas ett urval av problem med anknytning till den överglasade gården bland de 80 högst rankade, där rangordningen av de boende i kv Höstvetet och kv Bodbetjänten visas separat:

Rangordning		Problem (påstående)
Höst- vetet	Bod- betjänten	
2	1	Jag går hellre ut i det fria än är på innegården under sommaren.
23	15	Det är ofta för kallt på innegården under vintern.
169	68	Det drar för mycket på innegården för att man skall kunna sitta där.
21	32	Jag saknar mer vintergröna växter på innegården.
22	23	Jag saknar fler växtgrupper och grupper med blommor på innegården.
71	6	Det är alltför trist att se alla döda och vissna växter här på innegården.
70	53	Jag känner mig lurad av ordet vinterträdgård för innegården fungerar ju inte som en sådan.
100	42	Det kommer alltför lite sol in i lägenheten.
72	101	Lägenheten är alltför mörk in mot gården.
57	79	De växter jag placerar i köksfönstret har ofta svårt att klara sig.
126	19	Innegården fungerar alltför mycket som en lekplats för barn.
19	76	Jag tycker att det inkräktar på vårt boende när traktens barn använder vår innegård som lekstuga.
59	88	Det är ofta störande att barnen cyklar på innegården.
110	62	Jag saknar en naturlig träffpunkt typ café på innegården.
69	39	Innegården inbjuder inte till att sitta på eller som samlingspunkt.
111	36	Det ser ofta stökigt och skräpigt ut på innegården.

Nästan samtliga boende vistas hellre utomhus än på de överglasade gårdarna sommartid, vilket delvis kan bero på att det blir alltför varmt och på brister i miljön på de överglasade gårdarna. Det är också ganska naturligt att de flesta längtar efter att helst vistas utomhus under den korta sommaren, när man



större delen av året mest vistas inomhus. De flesta tycker att det är alltför kallt i de överglasade gårdarna på vintern, och det är fler som tycker att det är för kallt i kv Bodbetjänten än i kv Höstvetet, trots att det faktiskt är betydligt varmare i kv Bodbetjänten. Detta torde delvis kunna förklaras av en förväntan på att det skulle vara betydligt varmare i kv Bodbetjäntens gård, eftersom denna har mer karaktär av innemiljö, jämför även avsnitt 12.1. Klagomål på drag avser nästan enbart kv Bodbetjäntens gård, vilket i huvudsak beror på betydande lufthastighet från tilluftsdon.

De flesta instämmer i att det finns problem med växterna på gårdarna. Fler vintergröna växter och bättre skötsel skulle minska problemen. Såväl överglasning som loftgångar bidrar till att köken, som vetter mot de överglasade gårdarna, är förhållandevis mörka. Det är därför så många som hälften av de boende med kök som vetter mot de överglasade gårdarna som anser att de behöver ha köksbelysning tänd mitt på dagen när det är ljus ute, vilket bara 1/5 respektive 1/10 anser av de boende med kök som vetter mot det fria i kv Höstvetet respektive kv Bodbetjänten, se Norrby-Herdenfeldt (1989). Att det är mörkt i köken visar sig också genom att växter i köksfönstren ofta har svårt att klara sig. Det är dock relativt få som anser att de överglasade gårdarna i sig är mörka.

Ganska många instämmer i klagomål på de överglasade gårdarnas miljö, framförallt i kv Bodbetjänten, t ex att "Innegården inbjuder inte till att sitta på eller som samlingspunkt." Samtidigt är det dock relativt få som saknar mer umgänge på gården. Det är ganska många som tycker att barnens aktiviteter på gårdarna är störande. Relativt få instämmer i de problem med gårdarnas akustik och de problem med gårdarnas luftkvalitet (matos och tobaksrök) som nämns.

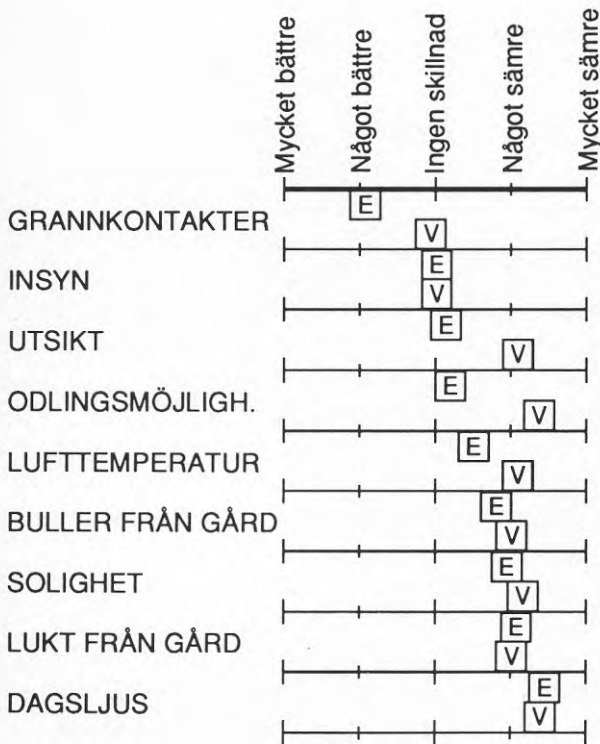
Det kan tilläggas att klagomål när det gäller uppvärmnings- och ventilations-system och det termiska klimatet i lägenheterna är vanliga, där man t ex saknar möjligheten att reglera värmen i lägenheten. Många tycker också att insynen i lägenheten från loftgångarna är besvärande.

Affärs- och bostadskvarteret Wasa City i Gävle har utvärderats sociologiskt i Westerberg (1991). Wasa City byggdes 1965 och byggdes om 1987, varvid den tidigare öppna gården i mitten överglasades. De flesta av de som besvarade en enkät och intervjuades bodde i huset även före överglasningen 1987. I bottenvåningen finns affärer och i våningarna ovanför finns kontor och ett 50-tal lägenheter. På bottenvåningen ligger en "affärsgård" som delvis är öppen uppåt mot "bostadsgården" på andra våningen. Längs bostadsgårdens långsidor ligger entréer och privata uteplatser som hör till etagelägenheter i två plan, som alltså har vissa likheter med radhuslägenheter. Övriga "vanliga"

lägenheter saknar entré mot bostadsgården och därmed direkt anknytning till denna. Enligt Westerberg (1991) håller den överglasade gården "en behaglig sommartemperatur mellan 16 och 25 grader året om."

För att ta reda på det allmänna omdömet ställdes frågan "Vilket är helhetsintrycket av glasgården?", varvid ca 70 % respektive ca 30 % av de boende i etagelägenheter respektive vanliga lägenheter svarade "Övervägande bra", medan ca 30 % respektive ca 50 % svarade "Övervägande dåligt". De som själva bor med direkt anknytning med den överglasade gården är alltså mer positiva, och tendensen är därmed densamma som för kvarteren Höstvetet och Bodbetjänten, se Norrby-Herdenfeldt (1989).

Att flertalet intervjupersoner (30 av 38 st) har erfarenhet av förhållandena såväl före som efter överglasningen möjliggör en direkt jämförelse. I figur 11.4 framgår hur de boende upplever att några olika egenskaper har förändrats i och med överglasningen.



Figur 11.4. Medelvärden av svaren på frågan "Vilka förändringar tycker ni att glasgården medfört?". Frågan ställdes till de som bott i samma hus även innan gården överglasades i dels etagelägenheter (16 st), och dels vanliga lägenheter (13 st).

Svaren tyder på att de flesta boende ser övervägande negativa förändringar av denna överglasning av Wasa City i Gävle. Från Westerberg (1991).

- [E] Etage (med entré och uteplats mot den överglasade gården)  
 [V] Vanliga lägenheter (utan entré och uteplats mot den överglasade gården)

De flesta av de boende i etagelägenheterna tycker att grannkontakterna har förbättrats, medan det i de flesta fall handlar om att överglasningen medfört en försämring, och i några fall knappast har inneburit någon förändring.

Det i huvudsak negativa resultat som figur 11.4 tyder på bör dock tolkas något försiktigt, eftersom det samtidigt faktiskt är något fler av dessa boende med erfarenhet av huset även med öppen gård som ger överglasningen ett övervägande positivt än ett övervägande negativt allmänt omdöme. Bland de som bor i vanliga lägenheter, d v s utan direkt kontakt med den överglasade gården, är dock de flesta negativa även när det gäller det allmänna omdömet. Det hör även till saken att ungefär hälften av de boende var negativa till överglasningen redan innan denna förverkligades, och dessa har sedan i stort sett behållit denna negativa syn. De som flyttat in i huset efter överglasningen 1987 är mer positiva; 5 av 6 som besvarat denna fråga ger överglasningen ett övervägande positivt allmänt omdöme.

Som framgår av figur 11.4 är man mest negativ till att dagsljuset i lägenheterna har försämrats, vilket bekräftas av att såväl mätningar som beräkningar enligt Westerberg (1991) visar att dagsljuset reducerats till ungefär hälften i de rum som vetter mot överglasningen. I denna typ av byggnad kan det vara fyra olika faktorer som tillsammans medför dåliga dagsljusförhållanden i rum mot överglasningen:

- Glastak reducerar i praktiken dagsljuset betydligt i jämförelse med en öppen gård.
- Loftgångar skärmar av mycket dagsljus.
- Loftgångar medför att många besväras av insyn, vilket många skyddar sig mot med gardiner eller persienner, vilket naturligtvis reducerar dagsljuset ytterligare i rummen innanför.
- Om det är så att man p g a överglasningen av ekonomiska skäl placerar huskropparna närmare än man skulle gjort med en öppen gård, så medför det kortare avståndet mellan huskropparna ytterligare reduktion av dagsljuset.

Med tanke på dagsljuset i rummen innanför har alltså överglasning i kombination med loftgångar dåliga förutsättningar att bli riktigt lyckat. Som påpekas i Westerberg (1991) har man bättre förutsättningar med loftgångar i kombination med lägenheter i två plan.

## SAMMANFATTNING

En överväldigande majoritet är *nöjda eller mycket nöjda med överglasningen* som den genomförts i Skärholmens Centrum. Som väntat uppskattas skyddet mot dåligt väder, men många talar också om att anläggningen är estetiskt tilltalande, eller att man tycker om det ökade inslaget av liv och rörelse. Av en s k semantisk miljöbeskrivning med olika adjektivpar framgår att den överglasade miljön upplevs som mellan neutralt och mycket positivt av såväl besökare som personal och föreståndare.

Samtidigt är det tydligt att en sådan här inbyggnad kan åtminstone tidvis ge vissa problem som måste bemästras: en tredjedel tycker att man åtminstone ibland saknar utomhusklimatet, ungefär hälften har känt av att det någon gång är för varmt, upp emot en tredjedel har åtminstone vid något tillfälle tyckt att ljudnivån under överglasningen varit störande. Samtidigt har man löst andra typiska problem vid överglasningen: mindre än en av tio har bländats eller på annat sätt haft obehag av alltför starkt solljus.

Sammantaget visar den sociologiska utvärderingen av såväl Skärholmens Centrum som universitetscentret i Dragvoll, se Cold et al. (1985), att stora överglasningar i offentlig miljö har mycket goda förutsättningar för att i praktiken verkligen uppskattas av olika kategorier av användare. De relativt få negativa anmärkningar som framkommit genom dessa undersökningar, t ex beträffande inneklimatet, avser problem som det är relativt enkelt att åtgärda.

När det gäller erfarenheter från överglasade gårdar i samband med flerbostadshus är erfarenheterna inte alls lika positiva, se Norrby–Herdenfeldt (1989), Engvall (1989) och Westerberg (1991). Resultaten tyder på att stora överglasningar i samband med bostäder har sämre förutsättningar för att verkligen uppskattas av användarna, i jämförelse med stora överglasningar i offentlig miljö.

# 12 Jämförelse mellan resultat från tekniska och sociologiska undersökningar

I detta forskningsprojekt ingår en jämförelse av resultat från tekniska / fysikaliska undersökningar (hårddata) och sociologiska / beteendevetenskapliga undersökningar (mjukdata). Slutsatser beträffande termisk komfort m m kan därför i flera fall dras utifrån resultat från såväl de tekniska som de sociologiska undersökningarna, vilka i princip är sinsemellan oberoende. Syftet är att slutsatserna härigenom skall bli så säkra och generella som möjligt.

## 12.1 Termisk komfort

Som framgår av de sociologiska undersökningarna, se kapitel 11, anser de allra flesta av de tillfrågade allmänt att överglasningen i Skärholmens Centrum är bra. Det man framhåller främst är att överglasningen skyddar mot väder och vind, vilket kan tolkas som att de flesta människor fäster stort avseende vid överglasningens positiva inverkan på den termiska komforten. Den vindstudie som tidigare gjorts, Alvedahl et al. (1982), visade också att de tidigare öppna gågatorna i Skärholmens Centrum ofta hade otrevliga vindförhållanden, vilket delvis förklarar att många människor framhåller just klimatskyddet. När det gäller termisk komfort hänvisas till kapitel 4 för förklaring av använda storheter m m.

Som framgår av kapitel 4 är det många faktorer som påverkar den termiska komforten. Den stora inverkan som klädsel och aktivitet har framgår av avsnitt 4.3.2. Konsekvenserna av olika individuella önskemål, olika klädsel och olika aktivitet (på t ex ett kontor kanske så olika som 1,0 – 2,0 met, se Alfano et al. (1988)) blir dels att klagomål på det termiska klimatet i praktiken

är vanliga även när det termiska klimatet är bra, och dels att rekommendationen i ISO 7730,  $PPD < 10 \%$ , är svår att leva upp till. För enskilda klädesplagg anger Alfano et al. (1988) att standardavvikelsen för värmemotståndet är ca 30 % av medelvärdet. För en typisk vinterklädsel inomhus kan därför avvikelsen vara ca 0,3 clo från det förväntade, vilket bidrar till en viss osäkerhet vid bedömning av termisk komfort.

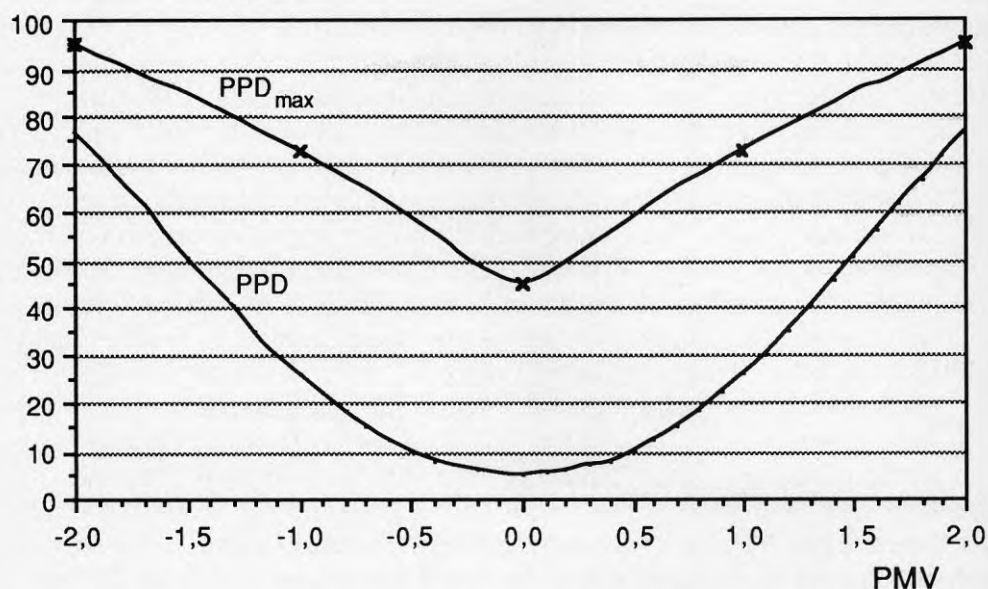
Med storheten PPD räknas de som otillfredsställda (missnöjda) som anger  $PMV \pm 2$  eller  $\pm 3$ , d v s de som upplever klimatet som varmt, svalt, hett eller kallt, se avsnitt 4.1.1. Denna definition av PPD motiveras i Fanger (1970) med att  $PMV \pm 1$  (något varmt eller något svalt) knappast motsvarar "verklig diskomfort". I figur 12.1 visas sambandet mellan PMV och PPD. Dessutom finns en kurva för  $PPD_{max}$  enligt Alfano et al. (1988), där även de som anger  $PMV \pm 1$  räknas som otillfredsställda. Med  $PPD_{max}$  stiger andelen otillfredsställda vid optimalt termiskt klimat ( $PMV = 0$ ) från 5 % till 45 %. Det är alltså mycket viktigt att man har klart för sig *vilka* man räknar som "otillfredsställda".

Sammanfattningsvis innebär alltså följande faktorer att man allmänt kan förvänta sig relativt många klagomål även när det termiska klimatet egentligen är bra, d v s nära det optimala:

- Olika individuella önskemål.
- Olika klädsel och aktivitet.

När man jämför resultat utifrån mätningar av termisk komfort och resultat utifrån intervjuer och/eller enkäter tillkommer dessutom att:

- Det kan vara olika *vilka* man räknar som otillfredsställda (missnöjda), se t ex figur 12.1.
- Resultaten avseende termisk komfort i kapitel 4 och de använda storheterna PMV, PPD och komforttemperatur grundar sig främst på laboratorieförsök, se Fanger (1970) och ISO 7730. Dessa laboratorieförsök utgår från svar från försökspersoner i klimatkammare med stationära m fl idealiska förhållanden, se Alfano et al. (1988), varför andelen missnöjda eventuellt kan förväntas bli större i praktiken.
- Det är i detta sammanhang inte självklart att människors upplevelse av det termiska klimatet är oberoende av vilken miljö man vistas i, t ex en främmande laboratiemiljö eller en känd kontorsmiljö. Resultat enligt Brager (1992) och Croome et al. (1992) antyder att komforttemperaturer i kontor kan vara något lägre än de som erhållits vid laboratorieförsök.

PPD och  $PPD_{max}$ , %

Figur 12.1. Förväntad procent otillfredsställda, PPD, som funktion av förväntat medelutlåtande, PMV. Med  $PPD_{max}$  räknas, till skillnad från PPD, även de personer som otillfredsställda som anger  $PMV \pm 1$  (något varmt eller något svalt). Med detta strängare kriterium,  $PPD_{max}$ , kan maximalt bara ca hälften av en (stor) grupp människor vara tillfredsställda med det termiska klimatet.

Kurvan för PPD från Fanger (1970). Kurvan för  $PPD_{max}$  är grovt uppskattad från värden vid  $PMV = 0, \pm 1$  och  $\pm 2$  från Alfano et al. (1988) och ISO 7730. Se även avsnitt 4.1.1.

Resultaten från Skärholmens Centrum visar att många tycker om att de överglasade gågatorna har ett klimat som närmast medger ett sydländskt gatuliv. De tekniska undersökningar av temperaturförhållanden m m som gjorts, bekräftar också att inomhusklimatet till stora delar kan liknas vid ett medelhavsklimat. Lite drygt hälften av besökare och personal tycker att det åtminstone vid något tillfälle varit för varmt, medan nästan lika många besökare tycker att de åtminstone någon gång burit för varma kläder. Dessa resultat kan inte sägas motsvara någon allvarlig kritik om man jämför med argumenten ovan (olika önskemål, klädsel, aktivitet m m). I Skärholmens Centrum förekommer t ex småspringande med vinterkläder, varvid komforttemperaturen blir mycket låg. Mot den bakgrunden är det naturligt att många tycker att det

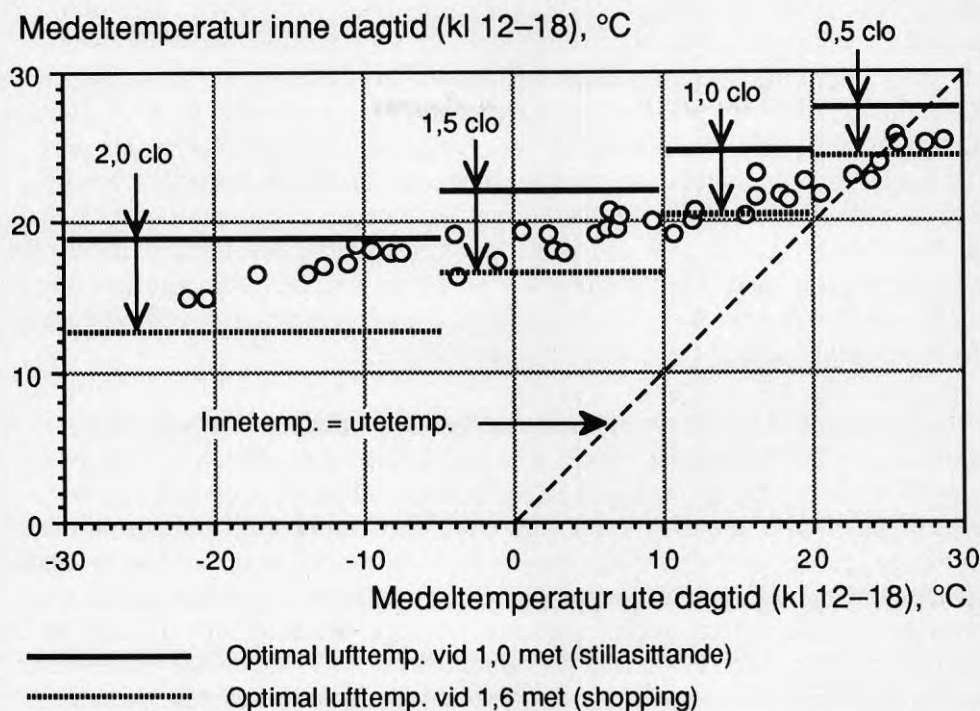
*någon gång* varit för varmt. Det är också bara drygt 10 % av besökare och personal som tycker att det *ofta* varit för varmt, medan ca 7 % av besökarna upplevde det som ett stort problem att det varit för varmt.

Utifrån "övriga synpunkter" framkom resultat ur vilka Modig (1987) drar slutsatsen att nästan ingen besökare tyckte att det hade varit för kallt i anläggningen. Som framgår av komfortbestämningarna i kapitel 4 är dock klimatet relativt ofta i kallaste laget för helt stillasittande aktivitet (med förutsatt klädsel). Det är dock ytterst få besökare som sitter stilla någon längre tid, varför stillasittande (som påpekas i kapitel 4) får ses som ett undre gränsvärde. För besökare, som normalt är klädda för uteklimat, blir det därför sällan för kallt i de överglasade gågatorna dagtid. Sedan golvvärmen stängts av från vintern 1988/89 har lufttemperaturen dagtid sjunkit 2–3 °C under vintern, se figur 5.13, vilket enligt förvaltaren inte har medfört några klagomål.

En mycket intressant jämförelse kan göras mellan det termiska klimat som bestämts med fältmätningar och människors attityder till detta termiska klimat. Av kapitel 4 och 5 framgår mycket tydligt att det termiska klimatet och temperaturen inne under överglasningen följer utetemperaturen. I figur 12.2 visas hur innetemperaturen varierar med utetemperaturen 40 olika dagar under olika årstider, från riktigt kalla till riktigt varma dagar. Den optimala lufttemperaturen har i figur 12.2 uppskattats till i genomsnitt 1 °C högre än komforttemperaturen vid respektive klädsel och aktivitet. Denna skillnad på 1 °C motiveras dels av att de uppmätta lufttemperaturerna 3 m över golv i genomsnitt är högre än i vistelsezonen, och dels av att lufttemperaturen behöver vara något högre än komforttemperaturen för att kompensera för den kylande inverkan av lufthastighet och omgivande kalla ytor. I avsnitt 4.6.1 framgår resultat som visar att den genomsnittliga skillnaden mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur är relativt liten, dvs osäkerheten när det gäller värdena på den här använda optimala lufttemperaturen är måttlig.

Av figur 12.2 framgår att det kallare inneklimatet vintertid mycket väl kan kompenseras med varmare klädsel, vilket förklarar att nästan inga av besökarna anser att lufttemperaturen varit för låg. Att det termiska klimatet under överglasningen följer utetemperaturen är gynnsamt, eftersom även människors klädsel bestäms av utetemperaturen. Under hela året gäller att den ekvivalenta temperaturen ofta ligger någonstans mellan komforttemperaturerna för "stillasittande" respektive "shopping", se avsnitt 4.6.1. Detta kan ses som att klimatet ofta är en kompromiss mellan idealiskt klimat vid de två aktiviteterna med den förutsatta klädsele. Detta bekräftas även av figur 12.2, där lufttemperaturen ofta är någonstans mellan den optimala för "stillasittande" respektive "shopping".





Figur 12.2. Lufttemperatur dagtid inne under överglasningen i Skärholmens Centrum som funktion av utetemperaturen. Medelvärden från mätpunkterna 1–4 enligt avsnitt 5.1, samtliga 3 m över golv. Som jämförelse visas med horisontella linjer de ungefärliga optimala lufttemperaturer som motsvarar respektive klädsel och aktivitet. Klädseln har antagits variera med utetemperaturen ungefär motsvarande verklig observerad klädsel. Som framgår har uppmätt medeltemperatur och optimal lufttemperatur ett likartat samband med utetemperaturen, vilket är mycket gynnsamt.

Modig (1987) menar att även människors *förväntningar* har betydelse för termisk komfort i praktiken. Upplevelsen av det termiska klimatet kan då t ex bli olika om man uppfattar det som att man är inomhus eller snarare utomhus i en överglasad miljö. Om man vintertid uppfattar miljön som utomhus behåller man ytterkläderna på och tycker då sannolikt att det är för varmt, och om man uppfattar miljön som inomhus tar man av ytterkläderna och tycker kanske då att det är för kallt.

Förväntningar kan även ha betydelse för hur man upplever det termiska klimatet innanför ytterentréer, vilket då medför att man är mer tolerant mot ett kallt klimat eftersom det motsvarar förväntningar (grundad på erfarenhet) av

att det brukar vara betydligt kallare nära ytterentréer. Att det är kallare intill en ytterdörr kan uppfattas som naturligt, och det ger också en "mjukare övergång" mellan inne- och uteklimat. I Skärholmens Centrum har heller inga speciella klagomål registrerats, trots att bestämmingar entydigt visar att klimatet vintertid innanför ytterentréerna är betydligt kallare än i överglasningens centrala delar, se kapitel 4 och 5. Ytterligare en förklaring är att ytorna nära ytterentréer mest används som "kommunikationsytor", som man snabbt passerar. Av avsnitt 5.2.4 framgår också att det vintertid intill ytterentréer ofta ligger betydligt kallare luft närmast golvet. Detta har inte heller medfört några klagomål från besökarna, bl a eftersom man med vinterklädsel och vinterstövlar är ganska okänslig för denna kallluft intill golvet.

Bland personalen i butikerna tycker ungefär en fjärdedel att det mer eller mindre ofta är problem med drag i de butiker som ansluter mot överglasningen, och ungefär en tredjedel av dessa anser att problemen beror på överglasningen. När människor klagat på "drag" kan det bero på en viss lufthastighet, låg lufttemperatur, kalla omgivande ytor eller en kombination av dessa faktorer. När det gäller lufthastighet visar de tekniska undersökningarna att det i flera butiksentréer förekommer relativt höga lufthastigheter. I de flesta butiker strömmar dock luften ut genom entréerna (till gågatorna), varför lufthastigheten snabbt avtar med avståndet innanför entréerna. Problemen med drag torde oftare bero på att tilluftsdonen ger betydande lufthastighet lokalt, vilket både kan kännas och observeras (på fladdrande reklamskyltar) i flera butiker. I flera fall kan låga luft- och yttemperaturer vara huvudorsaken till klagomål på drag. Som framgår av avsnitt 5.2.5 är skillnaden stor mellan temperaturen i olika butiker, där man i de kallare butikerna mycket väl kan uppleva att "det drar".

## 12.2 Övriga resultat

### LUFTKVALITET

Nästan en tredjedel av besökarna och nästan hälften av personalen tycker att luften under överglasningen åtminstone någon gång känns instängd. Detta kan delvis förklaras av att den mekaniska ventilationen av överglasningen (se kapitel 6) är dimensionerad för en "normal" personbelastning, totalt 1 300 personer varvid man förutsätter att rökning förekommer. Vid vissa tillfällen, t ex lördagar med upp mot drygt 4 000 besökare (se figur 11.1), är därför ventilationen underdimensionerad, vilket medför att luften då kan kännas

instängd. Att dimensionera ventilationen för t ex den korta lördagsrusningen, skulle kräva betydligt kraftigare (eller fler) ventilationsaggregat.

Två tredjedelar av personalen tycker att luften i butikerna mer eller mindre ofta känns instängd. Detta kan delvis bero på att den mekaniska ventilationen av butikerna är inställd på för hög återluftsgrad. Dessa problem tycks något mindre i de butiker som har öppna entréer mot gågatorna, vilket i vissa fall kan förklaras av att luftströmning genom butiksentréer kan medföra en något större total luftomsättning i dessa butiker. Huvuddelen av luftströmningen genom öppna butiksentréer sker dock från butikerna till överglasningen, se avsnitt 6.2.2. Detta innebär att överglasningen i stor utsträckning ventileras med överluft från butikerna, d v s luftkvaliteten i de överglasade gågatorna blir i ganska hög grad beroende av luftkvaliteten i butikerna.

Croome et al. (1988) har undersökt luftkvaliteten i 23 st kontor i England. Följande fem faktorer bestämdes: lufttemperatur, lufthastighet, relativ luftfuktighet, uteluftsflöde per person och byggnadsvolym per person. Samtidigt fick de totalt 228 st anställda ange på en enkät bl a hur de upplevde luftens friskhet på följande 7-punkts skala:

- + 3 mycket frisk
- + 2 frisk
- + 1 något frisk
- 0 varken / eller
- 1 något unken
- 2 unken
- 3 mycket unken.

Resultaten behandlades statistiskt, och medelvärdet från den 7-punkts skalan benämndes MFV – Mean Freshness Vote (medelutlåtande om luftens friskhet). Slutsatsen blev att lufttemperaturen och uteluftsflödet hade störst inverkan på MFV. Följande förenklade ekvation ställdes upp:

$$\text{MFV} = 7,24 - 0,417 t_a + 2 \lg q \quad (12.1)$$

där  $t_a$  = lufttemperatur (°C)  
 $q$  = uteluftsflöde (l/s person).

En sänkning av lufttemperaturen med 2,4 °C *eller* ökat uteluftsflöde per person med en faktor 3 hade alltså samma inverkan på MFV (ökning med en enhet). Dessa värden kan *givetvis* ifrågasättas, men det intressanta faktum kvarstår att det termiska klimatet (här lufttemperaturen) kan ha stor betydelse för människors *upplevelse* av luftens friskhet. Det kan alltså vid praktiska undersök-

ningar med människor vara svårt att dra en skarp gräns mellan termiskt klimat och luftkvalitet, vilket onekligen är en komplikation. I t ex Skärholmens Centrum kan det alltså tänkas att en del av klagomålen på dålig luftkvalitet i första hand orsakas av att man tycker det är för varmt. Detta kan också delvis förklara att luften i de varmare butikerna i högre grad har upplevts som instängd än i den kallare överglasningen, trots att det i hög grad handlar om samma luft.

## LUFTFUKTIGHET

Allmänt gäller att klagomål på torr luft inomhus vintertid är vanliga. Människans förmåga att avgöra vilken luftfuktighet som råder är dock mycket begränsad, varför klagomål på torr luft inte behöver motsvaras av att luftfuktigheten verkligen är låg, utan i vissa fall kan klagomålen i stället i första hand orsakas av att luftkvaliteten är dålig i något avseende. I Skärholmens Centrum ansåg 71 % av personalen och 76 % av föreståndarna att det varit ett problem att luften ibland eller ofta varit alltför torr i butikslokalerna (frågan ställdes inte avseende överglasningen, där luftfuktigheten dock är ungefär densamma som i butikerna). Samtidigt ansåg 62 % av personalen och 57 % av föreståndarna att det varit ett problem att luften i butikslokalerna ibland eller ofta känts instängd, dvs både bedömningarna att luften varit för torr och att luftkvaliteten varit dålig är vanliga.

Att luften verkligen är torr bekräftas i detta fall av mätningarna, som visar att relativa luftfuktigheten under överglasningen kalla vinterdagar understiger 20 %, se avsnitt 8.2. Här finns det lite förenklat en motsättning mellan å ena sidan människors önskemål om fuktigare luft, och å andra sidan energiförbrukning för luftbefuktning och risk för kondens och mögel m m. Korsgaard (1988) rekommenderar t ex att luftfuktigheten inomhus bör understiga 7 g/kg torr luft, vilket motsvarar 8,3 g/m<sup>3</sup> eller 48 % relativ luftfuktighet vid 20 °C, i syfte att förebygga de problem för många allergiker som orsakas av husdammskvalster.

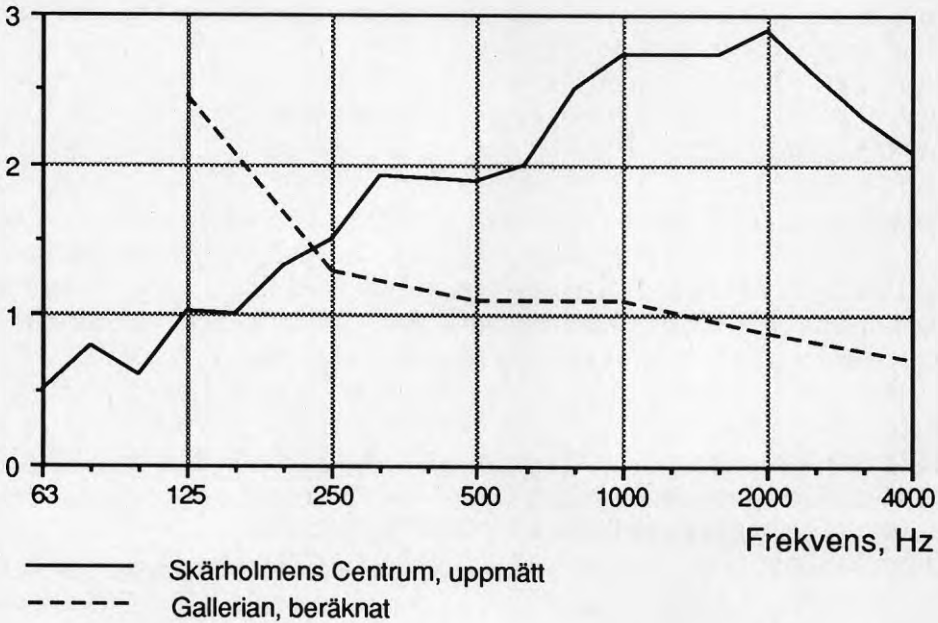
## AKUSTIK

Relativt många av de intervjuade besökarna har uppgivit att de var störda av ljudet. Några har här angivit att det har blivit bullrigare, men påfallande många har hänvisat till andra faktorer: "det ekar för mycket", "ständigt sorl", "annorlunda ljud" etc. Detta kan ses som en indikation på att förlängningen av efterklangstiden upplevs som viktigare än ökningen i bullernivå. Detta är också vad som kan förväntas från de tekniska mätningarna. Förlängningen i

efterklangstid är tekniskt sett mycket stor, från 1,2 till 2,5 sekunder (medelvärde över 500 – 2 000 Hz för den norra delen av Storholmsgatan), medan ökningen i bullernivå är liten, ungefär 1 dB för den genomsnittliga nivån (ekvivalentnivå).

Icke oväntat tyckte flertalet besökare att ljudnivån är högre i Skärholmens Centrum än i Gallerian i Stockholms City. Efterklangstiden är också väsentligt kortare i Gallerian än i Skärholmen i det viktiga frekvensområdet mellan 500 och 2 000 Hz trots att rumsvolymen är väsentligt större i Gallerian än i den aktuella delen av Storholmsgatan, ca 36 000 m<sup>3</sup> respektive 3 400 m<sup>3</sup>, se figur 12.3.

Efterklangstid, s



Figur 12.3. Efterklangstider för Skärholmens Centrum respektive Gallerian i Stockholms city. Värdena från Skärholmen avser Storholmsgatans norra del, medan efterklangstiden är ännu längre i t ex Byholmsgången, se figur 9.8. De viktigaste delarna av kurvorna är området mellan 500 och 2 000 Hz. Skillnaden i efterklangstid kan förklara varför många besökare upplever ljudnivån som högre i Skärholmens Centrum än i Gallerian, se tabell 11.1.

Det kan tilläggas att den korta efterklangstiden i Gallerian huvudsakligen beror på att hela taket är försett med en mycket effektiv ljudabsorbent, en lösning som naturligtvis inte är möjlig vid en glasöverbyggnad av den typ som utförts i Skärholmen. I Skärholmens Centrum förbättras i stället akustiken genom att butikerna öppnas mot överglasningen, vilket främst visar sig genom att taluppfattbarheten förbättras, se kapitel 9. Många sådana ombyggnader har successivt genomförts av butikernas entréer, vilket alltså förbättrar akustiken.

## BLÄNDNING AV SOLLJUS

Mindre än var tionde besökare har någon gång bländats av solen (trots att gatubeläggningen är mycket ljus). De fysikaliska/tekniska undersökningarna bekräftar också att man knappast har något problem med för kraftig solinstrålning i Skärholmen. Detta beror på en kombination av glasningens orientering, opaliserande (icke-bländande) plastpanel men framför allt solavskärmning (skuggning) från anslutande byggnader.

## SAMMANFATTNING

Sammanfattningsvis är det i stort sett god överensstämmelse mellan resultaten från de två helt skilda undersökningarna, d v s de fysikaliska / tekniska och de sociologiska / beteendevetenskapliga. Resultaten från de två skilda undersökningarna stödjer därigenom varandra, vilket gör att flera av slutsatserna från detta forskningsprojekt blir mer säkra och generella.

# 13 Sammanfattning och slutsatser

Numera är det mycket vanligt med stora överglasningar i samband med köpcentrum, hotell, kontor m m, samtidigt som systematiserade erfarenheter av överglasningars funktion ännu är förhållandevis begränsade både i vårt land och internationellt. Målet med detta forskningsprojekt och denna avhandling är att tillföra utökade kunskaper och erfarenheter om stora överglasningar. Sammanfattning och slutsatser redovisas i det följande kapitel för kapitel. Inledning och bakgrund, forskningsprojektets mål, avgränsning, organisation och metodik och beskrivning av den studerade överglasningen i Skärholmens Centrum framgår av **kapitel 1–3**.

Avhandlingen omfattar ett stort antal problemområden, vilka studerats under som mest åtta år. De överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum utgör huvudsakligt referensobjekt. Tyngdpunkten ligger på tekniska och fysikaliska förhållanden, vilket dock kompletteras av sociologiska undersökningar. Metodiken innefattar fältmätningar och teoretiska beräkningar, med intervjuer och enkäter som komplement. Skärholmens Centrum är såväl bygg- som installationstekniskt relativt enkelt och konventionellt, d v s de resultat som redovisas har uppnåtts utan att det handlar om något avancerat experimentbygge med ett komplicerat uppvärmnings- och ventilationssystem. De överglasade gågatorna har mekanisk till- och frånluftsventilation, och för aktiv uppvärmning finns golvvärmslingor.

**Kapitel 4** avser termisk komfort. Förutom resultat baserade på fältmätningar ingår en relativt omfattande beskrivning av använda storheter, rekommendationer och hur termisk komfort påverkas av olika faktorer. Sammanfattningsvis har de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum ett termiskt klimat som med hänsyn till olika klädsel och fysisk aktivitet ofta är en bra kompromiss mellan olika människors önskemål.

Utifrån fältmätningar påvisas att med en lämplig utformning kan en stor överglasning sommartid med enkla medel (utan t ex luftkonditionering eller speciell solavskärmning) erbjuda ett i huvudsak gynnsamt termiskt klimat. Obehagligt varmt klimat sommartid kan relativt enkelt undvikas, och solinstrålning behöver i praktiken inte medföra några större problem. Överglasningens geometri och skuggning från omgivande byggnader har stor betydelse i detta sammanhang.

De överglasade gågatornas förhållandevis svala inomhusklimat är i de flesta fall bättre anpassat till "shopping" än till "stillasittande" aktivitet. Jämförelser med rekommendationen  $PPD < 10 \%$ , vilken finns i bilaga A till ISO 7730, visar att denna rekommendation inte uppfylls i flertalet fall med stillasittande aktivitet ( $PPD =$  förväntad procent otillfredsställda, se avsnitt 4.1.1). Man kan dock här ifrågasätta tillämpligheten av rekommendationen  $PPD < 10 \%$  för aktuell typ av överglasning, där ju klimatet avviker från ett "vanligt inomhusklimat" på framförallt två sätt. Dels är klimatet i de flesta fall kallare och dels är dygnsvariationen större. Att klimatet är kallare kan i stort sett kompenseras med ökad klädsel, men med konstant klädsel under dygnet medför dygnsvariationen att  $PPD < 10 \%$  ofta är svårt att uppnå. En rekommendation med större tolerans, t ex  $PPD < 20 \%$ , skulle förslagsvis kunna tillämpas för aktuell typ av överglasning.

Erfarenheter från Skärholmens Centrum visar att kallras i praktiken inte behöver medföra några större problem för en överglasning, trots avsaknad av kallrasskydd. Vintertid är det dock svårt att undvika att man i närheten av ytterentréer har ett betydligt kallare klimat än i överglasningens mer centrala delar. Vintertid kan dessutom en mycket kraftig temperaturgradient erhållas innanför ytterentréer, vilket dock inte behöver medföra problem om människor har ytterkläder och om golvytorna närmast innanför ytterentréerna endast används som kommunikationsytor.

Endast små genomsnittliga skillnader mellan lufttemperatur och ekvivalent temperatur kan påvisas, trots att såväl kalla glasytor som luftrörelser bidrar till lägre ekvivalent temperatur. Detta förklaras delvis av att geometrin för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum är sådan att vinkelkoefficienten för glasytorna på många platser är relativt liten. Omgivande byggnaders fasadytor och i första hand då skyltfönstren bidrar också i de flesta fall till högre medelstrålningstemperatur.

Indirekt, passiv uppvärmning av en överglasning med överluft som dagtid strömmar ut genom öppna entréer från omgivande butiker kombineras i Skärholmens Centrum med ett i huvudsak bra termiskt klimat, vilket framgår av omfattande bestämmningar av både termisk komfort och temperaturförhållanden samt dessutom av kompletterande sociologiska undersökningar. Ett litet problem är dock att inneklimatet är relativt kallt när butikerna öppnar på morgonen. Ett annat litet problem är att klimatet i själva entréerna både sommar och vinter kan upplevas som kallt och obehagligt p g a hög lufthastighet.

Förutsatt klädsel har stor betydelse för komforttemperatur och därmed för  $PPD$ . Den klädsel som förutsatts vid mätningarna är uppskattade medelvärden av observerad klädsel (i huvudsak utkläder), vilket medför en kompensation



för olika klimat (årstider) som påvisas ha mycket stor betydelse. Om de människor som vistas i en överglasning har i huvudsak utekläder, motsvarar vanligt inomhusklimat vintertid inte termisk komfort. Med kraftig klädsel vintertid är nämligen komforttemperaturen relativt låg, ca 12 – 18 °C. Det finns goda förutsättningar att klara denna temperaturnivå i en lämpligt utformad överglasning med passiv uppvärmning tack vare värmeförluster från omgivande byggnader (med ca 20 – 22 °C lufttemperatur).

En kompletterande studie har gjorts av termisk komfort för överglasade gågator i ett köpcentrum i Tokyo (detta köpcentrum beskrivs kortfattat i avsnitt 4.5). Även på sydligare breddgrader med ett betydligt varmare klimat än det skandinaviska (i Tokyo) påvisas att en mycket enkel överglasning sommartid faktiskt kan ge ett svalare och därmed bättre termiskt klimat inne i jämförelse med uteklimatet.

Det är många faktorer som påverkar temperaturförhållandena för en stor överglasad anläggning, och temperaturvariationerna är komplicerade och svåröversäglbara både i tid och rum. I **kapitel 5** redovisas temperaturförhållandena för de överglasade gågatorna i Skärholmens Centrum på ett flertal sätt, i huvudsak baserat på kontinuerliga mätningar under mer än fem år.

Det påvisas att utetemperaturen 25 °C motsvarar en ungefärlig brytpunkt; över denna utetemperatur är lufttemperaturen i genomsnitt lägre inne än ute. Under de allra varmaste dagarna är det sålunda lägre temperatur inne än ute som genomsnitt kl 12–18. En viktig orsak till detta gynnsamma resultat är solavskärmning från omgivande byggnader, men även passiv kylning från de luftkonditionerade omgivande byggnaderna bidrar av allt att döma till de måttliga innetemperaturerna. Den allmänna och viktiga slutsatsen av detta är att stora överglasningar i vårt klimat mycket väl kan utföras så att problem med övertemperaturer undviks, utan att överglasningen är försedd med luftkonditionering eller ens gardiner e d.

Solinstrålningen har i detta fall anmärkningsvärt liten inverkan på medeltemperaturen i de överglasade gågatorna dagtid. Skillnaden är i genomsnitt endast av storleksordningen 1 °C mellan klara och mulna dagar. Faktum är att skillnaden under uppvärmningssäsongen mellan vardagar och söndagar är mer entydig än mellan klara och mulna dagar. Den mest betydande skillnaden mellan vardagar och söndagar i detta sammanhang är att överluftsflödet till överglasningen är mindre på söndagarna, eftersom flertalet butiker är stängda. Detta bekräftar överluftsflödets stora betydelse som framkommit vid datorberäkningarna, se kapitel 7.

Upp till ett tiotal meter innanför ytterentréerna är lufttemperaturen oftast betydligt lägre vintertid än i överglasningens centrala delar. Temperaturen

under överglasningen följer en kraftig dygnssvängning. Ett typiskt vinterdygn är temperaturen nästan konstant (låg) ungefär kl 24–08 och nästan konstant (relativt hög) ungefär kl 12–18. Den viktigaste orsaken till dygnssvängningen är överluftsflyde genom öppna butiksentréer.

Nattsänkning av temperaturen under överglasningen orsakas i detta fall inte av någon medveten styrning. Den nattsänkning av temperaturen som blivit följden har dock visat sig ge betydande energibesparing i jämförelse med om temperaturen skulle hållas mer konstant. Här är det överglasningens stora transmissionsförluster som medför kort tidskonstant, vilket till skillnad mot en "konventionell" byggnad möjliggör denna betydande nattsänkning.

Med golvvärmen avstängd erhålls vintertid en mycket kraftig temperatursänkning på natten. Låg innetemperatur nattetid är i detta fall inget komfortproblem, eftersom ingen vistas under överglasningen nattetid. Under morgontimmarna vistas däremot människor under överglasningen ett par timmar medan innetemperaturen ännu är förhållandevis låg. Om detta bedöms vara ett problem finns möjligheten att låta golvvärmeslingorna vara i drift endast ett par timmar tidigt på morgonen för att tillfälligt höja innetemperaturen.

En jämförelse har gjorts av innetemperaturen under uppvärmningssäsongen med respektive utan golvvärmen i drift, varvid skillnaden är mycket tydlig såväl dagtid som nattetid. Dagtid är innetemperaturen 2–3 °C lägre med golvvärmen avstängd. Nattetid ökar skillnaden snabbt med sjunkande utetemperatur och är ca 5 °C vid –10 °C ute.

Sambandet mellan inne- och utetemperatur påvisas ge mycket intressant information om temperaturförhållandena för en överglasning, och sambandet visar i princip i vilken "grad" överglasningen är uppvärmd. Ett sätt att enkelt kvantifiera graden av uppvärmning är förslagsvis att definiera:

$$UG = 100 \cdot (1 - k) \quad (\%)$$

där

UG = uppvärmningsgrad (%)

k = riktningskoefficienten för den räta linje som utgör bäst approximation av innetemperatur som funktion av utetemperatur.

Denna uppvärmningsgrad möjliggör en enkel jämförelse av temperaturförhållandena (graden av uppvärmning i förhållande till uteklimatet) mellan olika överglasningar och/eller byggnader överhuvudtaget. Som komplement till uppvärmningsgraden kan det vara lämpligt att ange innetemperaturen vid t ex 0 °C ute, varigenom sambandet mellan inne- och utetemperatur är entydigt

beskrivet utgående från att sambandet approximerats med en rät linje. Uppvärmningsgraden för de överglasade gågatorna med golvvärmen i drift är under uppvärmningssäsongen ca 85 % såväl dag som natt (och innetemperatur ca 19 respektive ca 15 °C vid 0 °C ute). Utan golvvärme är uppvärmningsgraden dagtid alltså över 80 %, men sjunker på natten till under 60 % (innetemperatur ca 17 respektive ca 13 °C vid 0 °C ute).

Temperaturprofilen 0–3 m över golv varierar kraftigt både mellan olika platser och olika tillfällen. Karuselldörrarnas rotation för in oftast kall uteluft som då strömmar längs golvet. Ett genomgående resultat är därför att temperaturförhållandena nära golv har ett tydligt samband med avståndet innanför de ytterentréer som utgörs av karuselldörrar, och detta samband blir mer markant ju lägre utetemperaturen är. Vid den sociologiska undersökningen framkom dock inte några speciella klagomål på kallluft nära golv innanför ytterentréer. Detta kan förklaras av att kunderna har ytterkläder och att golvytorna närmast innanför ytterentréerna endast används som kommunikationsytor. I överglasningens mer centrala delar varierar temperaturen vintertid betydligt mindre med höjden över golvet.

Kompletterande bestämmningar har även gjorts av temperaturförhållandena i omgivande byggnader och underliggande lastgator, i första hand som underlag för beräkningarna av energibalans. Vintertid är medeltemperaturen ca 21 °C i omgivande butiker. Temperaturerna i butikerna är i de allra flesta fall högre än i gågatorna, d v s värmetransporten sker normalt från butiker till överglasning.

I **kapitel 6** om ventilation och luft rörelser har bl a sammanställts projekterade luftflöden och dessutom golvareal och volym för såväl överglasning som omgivande byggnader. Som framgår av kapitel 3 har överglasade gågator och omgivande butiker separata ventilationssystem med mekanisk till- och frånluft, och vid projekteringen har inget överluftsflöde förutsatts genom t ex entréer.

Bestämmningar i Skärholmens Centrum visar dock att *överluftsflödet* är mycket stort mellan omgivande byggnader och överglasning genom öppna butiksentréer. Som ett grovt medelvärde utifrån mätningar har erhållits 17 m<sup>3</sup>/s eller 61 000 m<sup>3</sup>/h överluftsflöde dagtid från omgivande byggnader till överglasning. Detta överluftsflöde är tre gånger så stort som projekterat mekaniskt tilluftsflöde för överglasningen, och motsvarar 2 oms/h. Detta (vid projekteringen inte avsedda) överluftsflöde påvisas ha stor betydelse både för energibalansen och för det termiska klimatet i de överglasade gågatorna. Den viktigaste orsaken till detta överluftsflöde är att de mekaniska till- och frånluftflödena är olika i butikerna.

Vid naturlig ventilation sommartid, d v s med öppna ytterentréer och glasluckor, kommer tillförd luft till överglasningen faktiskt i första hand som överluft via öppna butiksentréer, och alltså inte via ytterentréer. Genom öppna ytterentréer förefaller luften ungefär lika ofta strömma in som ut. Det genomsnittligt större tillufts- än frånluftsflödet i omgivande butiker har en dominerande inverkan.

I vistelsezonen är lufthastigheten låg på de flesta ställen under överglasningen. Det är främst i närheten av entréer (såväl till butiker som mot uteklimatet) som lufthastigheten är betydande, och ett litet problem i detta sammanhang är att klimatet i själva entréerna både sommar och vinter kan upplevas som kallt och obehagligt p g a hög lufthastighet. Innanför karusell-dörrarna mot uteklimatet råder vintertid en typisk kalluftsström intill golvet upp till några tiotal meter innanför dörrarna.

Alldeles under själva glasningen (5–21 m över golv) råder normalt övertryck, vilket vintertid medför att varmluft läcker ut. I golvnivå varierar det mellan svagt över- och undertryck, vilket bl a har stor betydelse för klimatet innanför skjuddörrarna.

**Kapitel 7** (och bilaga 1 och 2) om energibalans motsvarar avhandlingens mest omfattande studier. Energibalansen för en stor överglasad anläggning är komplicerad, och det kan vara svårt att i förväg uppskatta hur överglasningen kommer att inverka. För det överglasade Skärholmens Centrum har resultat tagits fram baserade på ett omfattande material både när det gäller uppmätt energiförbrukning och beräknad energibalans. Resultaten utifrån mätningar och beräkningar kompletterar varandra, och ger sammantaget ett bra underlag för slutsatser avseende såväl energianvändning som temperaturförhållanden. Både mätningar och beräkningar avser förhållandena både med och utan aktiv uppvärmning av överglasningen med golvvärme.

Normalårskorrigerad uppmätt energiförbrukning för uppvärmning har bestämts månadsvis för en tioårsperiod, varav tre år före och sju år efter överglasningen av Skärholmens Centrum. Normalårskorrigeringen har gjorts utifrån genomsnittligt samband mellan uppmätt energiförbrukning per månad och aktuell månadsmedeltemperatur, vilket påvisades ge bättre resultat i detta fall än graddagskorrigering. En viktig slutsats i detta sammanhang är att man måste vara mycket försiktig med att korrigera med graddagar för de månader (vår och höst) då antalet graddagar är litet, eftersom korrektionsfaktorn då lätt blir orimlig.

Utifrån byggnads- och installationstekniska förutsättningar för det överglasade centret har en förenklad datormodell tagits fram för beräkningar med dator-

programmet BRIS. Anläggningens storlek och komplexitet medförde att detta arbete blev mycket omfattande, vilket bl a framgår av att indata omfattar 1 600 siffervärden och att programmet räknar med 288 variabler. En ny klimatfil för Stockholm har tagits fram, där temperaturens variation timme för timme är desamma som ett verkligt år, men där månadsmedeltemperaturerna samtidigt motsvarar ett normalår. Med denna klimatfil erhålls resultat som det är mycket rimligt att jämföra med normalårskorrigerad avläst energiförbrukning.

Mätresultaten visar att den genomsnittliga normalårskorrigerade energiförbrukningen för uppvärmning av hela anläggningen (överglasning + omgivande byggnader) har minskat med 2 respektive 7 % med respektive utan aktiv uppvärmning av överglasningen med golvvärme. Motsvarande värden enligt datorberäkningarna är 10 respektive 14 %. Om man i stället betraktar den specifika förbrukningen per m<sup>2</sup> golvarea (som ju ökat efter överglasningen) ökar energibesparingen med respektive utan golvvärme till 7 respektive 12 % enligt mätningarna och 15 respektive 19 % enligt datorberäkningarna. Likartade resultat har även erhållits med betydligt enklare datorberäkningar med programmet AUTSOL och med stationära beräkningar.

Den genomsnittliga uppmätta energibesparingen på 7 % utan golvvärme motsvarar nästan 500 MWh/år eller ca 200 000 kr/år om energipriset antas 40 öre/kWh.

Resultaten avseende den uppmätta energiförbrukningen måste i detta sammanhang tolkas med viss försiktighet, eftersom dessa resultat påverkas mycket kraftigt av styrningen av uppvärmnings- och ventilationssystemen. Även resultaten utifrån datorberäkningarna bör tolkas med viss försiktighet, bl a med hänsyn till vissa förenklingar och något osäkra indata. Resultaten utifrån både mätningar och datorberäkningar visar dock på ett likartat resultat, där energibehovet för uppvärmning alltså har minskat tack vare överglasningen, trots att den användbara golvarean har ökat med 4 000 m<sup>2</sup>.

Den större energibesparing som erhållits enligt datorberäkningarna visar sannolikt att en potential för energibesparing inte har utnyttjats fullt ut. Som exempel kan nämnas att ökat uteluftsflöde i omgivande byggnader (i stället för minskad värmeförlust) i praktiken kanske i hög grad kompenserar för de minskade värmeförluster från omgivande byggnader som överglasningen medför. I detta sammanhang är det intressant att notera att den normalårskorrigerade energiförbrukningen för uppvärmning av det överglasade Skärholmens Centrum successivt har minskat 1989–91, vilket motsvarar att uppmätt förbrukning kommit allt närmare det teoretiska datorberäknade värdet.

Den elförbrukning som tillkommit p g a överglasningen är måttlig i detta fall, och uppskattas till 1–2 % av uppvärmningsenergin för hela anläggningen. Överglasningens inverkan på omgivande byggnaders kylbehov bedöms vara marginell.

Med datorberäkningarna bestäms energibalansens sammansättning både med överglasningens golvvärme i drift och avstängd, där de dominerande bidragen av transmission och överluft från omgivande byggnader påvisas. Överglasningens uppmätta temperaturförhållanden beskrivs relativt väl och ges en teoretisk förklaring genom datorberäkningarna. För överglasningens temperatursvängning vintertid påvisas (av både dator- och handberäkningar) den dominerande inverkan av överluft från omgivande byggnader, trots att överluftslödet utifrån mätningar har förutsatts motsvara bara 17 % av omgivande byggnaders totala uteluftsflöde.

Som ett resultat av detta forskningsprojekt har förvaltaren av Skärholmens Centrum fr o m vintern 88/89 medvetet ersatt praktiskt taget all uppvärmning av gågatorna med överluft från butikerna i stället för aktiv uppvärmning med golvvärmeslingor. Luften som strömmar ut från butikerna motsvarar i huvudsak gratis spillvärme, som före överglasningen försvann till ingen nytta. Den besparing som enligt datorberäkningarna har erhållits genom att stänga av golvvärmen motsvarar nästan 300 MWh/år eller över 100 000 kr/år om energipriset antas 40 öre/kWh. Potentialen för besparing var alltså betydande.

Den indirekta uppvärmningen med överluft kombineras i Skärholmens Centrum med ett i huvudsak bra termiskt klimat. Den viktiga slutsatsen av dessa resultat är att det vid projektering av stora överglasningar finns stora möjligheter att förbättra ekonomin dels genom att under vissa förutsättningar förenkla eller helt utesluta uppvärmningsinstallationer, och dels genom uppvärmning med i huvudsak gratis spillvärme. Denna gratis spillvärme i form av uppvärmd frånluft från omgivande byggnader finns tillgänglig i alla anläggningar, där frånluftens värmeinhåll inte nyttiggörs på annat sätt (med t ex värmeväxlare eller frånluftsvärmepump).

Sammanfattningsvis visar såväl experimentella som teoretiska resultat att en stor överglasning i skandinaviskt klimat kan medföra en viss energibesparing; för Skärholmens Centrum påvisas en besparing av storleksordningen 10 %. Denna energibesparing kan kombineras med ett i huvudsak bra termiskt klimat, vilket framgår av bestämmningar av både termisk komfort och temperaturförhållanden samt dessutom av kompletterande sociologiska undersökningar. Avslutningsvis påpekas att såväl energiförbrukning som termiskt klimat i mycket hög grad beror på den tekniska förvaltningen.

**Kapitel 8** behandlar fuktförhållanden och mykologi. Bestämningar av fuktförhållandena för överglasningen i Skärholmens Centrum under olika årstider visar att fuktillskottet är lågt, oftast 0–1 g/m<sup>3</sup>. Typiska värden på den relativa luftfuktigheten är 20–40 % vintertid och 30–60 % sommartid. Dessa låga värden förklaras av luftens temperaturhöjning i förhållande till uteluften och dessutom av att fuktavgivningen är liten i förhållande till ventilationen. Den torra luften innebär att problem med kondens är praktiskt taget uteslutet i detta fall. Det kan tilläggas att sammanställningar från ett stort antal överglasningar visar att kondens är ett relativt ovanligt problem, se Dreier (1986), Carlson et al. (1988) och Augustson et al. (1991).

Överglasningen saknar i detta fall dammar, fontäner etc, det vill säga fria vattenytor. Man har också förhållandevis få växter under överglasningen. Det är vidare av mycket stor betydelse att den överluft som tillförs från omgivande byggnader är relativt torr, eftersom denna överluft dagtid dominerar för överglasningens luftomsättning.

Beträffande mykologi kan sammanfattningsvis konstateras att överglasningen av Skärholmens Centrum inte medfört några hälsorisker som kan hänföras till antalet mikrosvampsporer i inomhusluften. Överglasningen har inte medfört någon förhöjd mykologisk aktivitet till följd av ändrade klimatförhållanden i jämförelse med det som tidigare var uteklimat. Dessa gynnsamma resultat beträffande mykologi är logiska när den relativa luftfuktigheten är så låg som i detta fall.

**Kapitel 9** behandlar akustik, som har studerats genom såväl fältmätningar som datorsimuleringar. En stor överglasning visade sig, som väntat, medföra endast något ökad bullernivå men betydligt längre efterklangstid. Ökningen av bullernivå bedöms inte vara speciellt väsentlig. Viktigare är i stället ändringen i efterklangstid. Dels har efterklangstiden kraftigt förlängts, dels har den fått en finstruktur med ett tydligt eko. Förändringarna är så stora att de bedöms påverka upplevelsen av gatans karaktär i negativ riktning.

Omgivande byggnaders öppna entréer kan fungera mer eller mindre som ljudabsorbenter, men entréernas förhållandevis begränsade area medför att inverkan på efterklangstiden är liten. När det gäller den viktiga taluppfattbarheten har dock entréerna större inverkan, vilket dels visar att efterklangstiden inte ensam är tillräcklig för att beskriva akustiken i stora överglasade utrymmen, och dels att hänsyn bör tas till öppna entréers inverkan på akustiken vid projektering av överglasningar. Detta kan medföra en besparing genom att ljudabsorbenter helt eller delvis kan ersättas med de entréer som är öppna.

Några resultat avseende drift, underhåll och beständighet redovisas i **kapitel 10**. Efter åtta år visar glastak och vertikala glaspartier i Skärholmens Centrum inga synliga skador, och konstruktionen är alltså tät mot vattenläckage. Erfarenheter från andra objekt visar dock att vattenläckage har varit ett vanligt problem för glastak, vilket i många fall kan förklaras av "barnsjukdomar" för den relativt nya överglasningstekniken.

Undersökningar med olika metoder i laboratorium visar sammanfattningsvis att 6 års användning av tätningslister av EPDM-gummi i överglasningen i Skärholmens Centrum inte har inneburit någon påverkan som har betydelse för tätningslisternas funktion. Detta goda resultat avser både tätningslister som vetter mot norr och söder, trots att temperaturerna ofta är betydligt högre och solexponeringen betydligt större i söderläge. Tätningslisternas permanenta deformation påvisas dock vara större i söder- än i norrläge, men detta motsvarar sannolikt ett mycket utdraget åldringsförlopp. Någon nedbrytning av betydelse för överglasningens funktion har således inte inträffat och några läckage till följd av åldring av tätningslister är inte att vänta inom överskådlig framtid.

Vissa problem med de öppningsbara glasluckornas temperaturutvidgning har konstaterats. Vid projektering och utförande av öppningsbara glasluckor påvisas att det inte är tillräckligt att ta hänsyn enbart till själva luckans temperaturrörelse, utan hänsyn måste även tas till att omgivande "fasta" glaspartier i praktiken erhåller en viss temperaturrörelse. Detta kan göras genom att själva luckans temperaturrörelse uppskattas med en beräkning, och konstruktionen dimensioneras sedan för denna temperaturrörelse multiplicerad med en lämplig säkerhetsfaktor.

Överglasningen av gågatorna i Skärholmens Centrum har visat sig i praktiken medföra ett ofta förbiset plusvärde, nämligen att behovet av städning och fönstertvätt minskar för omgivande lokaler. Trots detta utförs städning och fönstertvätt i de flesta fall lika ofta före och efter överglasningen. En skillnad är dock att mindre mängd sand o d dras in i omgivande butiker efter överglasningen, vilket medför att städningen blir lättsammare och dessutom rimligtvis att slitaget på golven minskar. Eftersom kostnaderna för städning (och fönstertvätt) i de flesta fall är höga, exempelvis högre än kostnaderna för uppvärmning och el, blir även en procentuellt liten besparing ganska betydande. Vid projektering av stora överglasningar finns därför skäl att försöka bedöma dess inverkan på behovet av städning och fönstertvätt.

Efter åtta år kan ingen punkterad isolerruta observeras. Taket av plastpanel visar dock små skador på två ställen, där cm-stora hål uppstått genom yttersta



plasten, varvid små mängder regnvatten kunnat rinna ned längs det mellersta plastskiktet (skador i plastpanelen syns knappast, eftersom denna är opaliserande).

Erfarenheter från Skärholmens Centrum visar allmänt att nedsmutsning av glasningen inte är något större problem – rengöring bara en gång per år synes vara tillräckligt. Snö och is har heller inte medfört några större problem för överglasningen i Skärholmens Centrum. Det stora sneda glastaket har trots tidvis rikligt snöande nästan alltid varit till större delen snöfritt, och erfarenheterna bekräftar att det under vissa förutsättningar är motiverat att räkna med reducerad snölast för glastak.

De sociologiska undersökningarna redovisas i **kapitel 11**, där det framgår att en överväldigande majoritet är *nöjda eller mycket nöjda med överglasningen* som den genomförts i Skärholmens Centrum. Som väntat uppskattas skyddet mot dåligt väder, men många talar också om att anläggningen är estetiskt tilltalande, eller att man tycker om det ökade inslaget av liv och rörelse.

För att kunna beskriva hur användarna *upplever* den överglasade miljön har en sk semantisk miljöbeskrivning använts. I detta fall har 11 stycken sjuåriga semantiska skalor använts, där var och en av dessa skalor innehåller ett motsatspar av adjektiv, t ex ovanlig – vanlig, ljus – mörk etc. Det överglasade Skärholmens Centrum upplevs med samtliga 11 adjektivpar som mellan neutralt och mycket positivt av såväl besökare som personal och föreståndare.

Samtidigt är det tydligt att en sådan här inbyggnad kan åtminstone tidvis ge vissa problem som måste bemästras: en tredjedel tycker att man åtminstone ibland saknar utomhusklimatet, ungefär hälften har känt av att det någon gång är för varmt, upp emot en tredjedel har åtminstone vid något tillfälle tyckt att ljudnivån under överglasningen varit störande. Samtidigt har man löst andra typiska problem vid överglasningen: mindre än en av tio har bländats eller på annat sätt haft obehag av alltför starkt solljus.

Av sju olika besvärreaktioner visade det sig att känslan av att sakna utomhusklimatet hade störst betydelse för det allmänna omdömet om överglasningen, medan känslan av att luften känns instängd hade näst störst betydelse. Om en överglasning allmänt värderas som bra eller inte kan alltså i hög grad bero på luftkvaliteten.

Överglasningen har givit Skärholmens Centrum ett tillskott av nya besökare. Många besöker dessutom centrum oftare efter överglasningen och tycker att det har blivit vackert. Det har skett en betydande omsättningsökning.

Överglasningen i Skärholmens Centrum gäller ett köpcentrum, d v s en anläggning som användes på dagtid av ett stort antal personer, vars vistelse där kan vara kortvarig. En liknande anläggning som försetts med överglasning och som också utvärderats beteendevetenskapligt är universitetscentret i Dragvoll i Trondheim, se Cold et al. (1985). Slutsatserna därifrån har formulerats sålunda:

”Det synes som gata fungerer meget tilfredsstillende til ulik bruk, som sosialt møtested, i forhold til dimensjoner, materialbruk og lyd of lysforhold. Også de med lokaler ut mot gata gir uttrykk for positiv holding til gata. Arkitektens intensjoner synes å være oppfylt. På ingen punkter er det kommet fram klare negative reaksjoner gjennom spørreundersøkelsen. Gata får med andre ord den beste brukeranbefaling.”

Anmärkningsvärt är att *ingen* av de 253 som besvarade en enkät om universitetscentret i Dragvoll gav ett allmänt negativt omdöme om den överglasade miljön. När det gäller hur användarna *upplever* den överglasade miljön visar en s k semantisk miljöbeskrivning att studenter och anställda genomgående upplever miljön i Dragvoll mycket likartat, och därmed positivt, i jämförelse med besökare, personal och föreståndare i Skärholmens Centrum. Denna likartade upplevelse är mycket intressant mot bakgrund av de överglasade miljöernas olika utformning och geometri, olika funktion, att det avser omrespektive nybyggnad och dessutom att utvärderingen gjordes efter olika lång tid (1–1,5 resp. 5 år efter färdigställande). Vid en jämförelse med en konventionell huvudkorridor blev omdömena i samtliga fall mer positiva för en överglasad gågata.

När det gäller erfarenheter från överglasade gårdar i samband med flerbostadshus är erfarenheterna inte alls lika positiva, se avsnitt 11.3. Resultaten tyder på att stora överglasningar i samband med bostäder har sämre förutsättningar för att verkligen uppskattas av användarna, i jämförelse med stora överglasningar i offentlig miljö.

Sammantaget visar den sociologiska utvärderingen av såväl Skärholmens Centrum som universitetscentret i Dragvoll att stora överglasningar i offentlig miljö har mycket goda förutsättningar för att i praktiken verkligen uppskattas av olika kategorier av användare. De relativt få negativa anmärkningar som framkommit genom dessa undersökningar, t ex beträffande inneklimatet, avser problem som det är relativt enkelt att åtgärda.

I **kapitel 12** redovisas jämförelser mellan resultat från tekniska och sociologiska undersökningar. Resultaten från Skärholmens Centrum visar att många tycker om att de överglasade gågatorna har ett klimat som närmast medger ett

sydländskt gatuliv. De tekniska undersökningar som gjorts, bekräftar också att inomhusklimatet till stora delar kan liknas vid ett medelhavsklimat.

Lite drygt hälften av besökare och personal tycker att det åtminstone vid något tillfälle varit för varmt, medan nästan lika många besökare tycker att de åtminstone någon gång burit för varma kläder. Dessa resultat kan inte sägas motsvara någon allvarlig kritik om man jämför med argumenten i avsnitt 12.1 (olika önskemål, klädsel, aktivitet m m). I Skärholmens Centrum förekommer t ex småspringande med vinterkläder, varvid komforttemperaturen blir mycket låg. Mot den bakgrunden är det naturligt att många tycker att det *någon gång* varit för varmt. Det är också bara drygt 10 % av besökare och personal som tycker att det *ofta* varit för varmt, medan ca 7 % av besökarna upplevde det som ett stort problem att det varit för varmt. Det kan här tilläggas att de sociologiska undersökningarna avser förhållandena med golvvärmen i drift vintertid, medan golvvärmen numera är avstängd och inneklimatet därför något svalare.

Det påvisas att det kallare inneklimatet under överglasningen vintertid mycket väl kan kompenseras med varmare klädsel, vilket förklarar att nästan inga av besökarna anser att lufttemperaturen varit för låg. Att det termiska klimatet under överglasningen följer utetemperaturen är gynnsamt, eftersom även människors klädsel bestäms av utetemperaturen. Under hela året gäller att den ekvivalenta temperaturen på eftermiddagarna ofta ligger någonstans mellan komforttemperaturerna för "stillasittande" respektive "shopping". Detta kan ses som att klimatet ofta är en kompromiss mellan idealiskt klimat vid de två aktiviteterna med den förutsatta klädseln.

Vissa klagomål som framkommit på luftkvalitet, luftfuktighet och akustik framstår som mycket logiska vid jämförelse med mätresultat m m. Sammanfattningsvis är det i stort sett god överensstämmelse mellan resultaten från de två helt skilda undersökningarna, d v s de fysikaliska / tekniska och de sociologiska / beteendevetenskapliga. Resultaten från de två skilda undersökningarna stödjer därigenom varandra, vilket gör att flera av slutsatserna från detta forskningsprojekt blir mer säkra och generella.

Som **sammanfattning** av hela avhandlingen visar resultaten att stora överglasningar i offentlig miljö i skandinaviskt klimat har goda förutsättningar att fungera väl både tekniskt och socialt. Genom överglasningen av gågatorna i Skärholmens Centrum har man t ex erhållit 4 000 m<sup>2</sup> uppskattade och väl utnyttjade ytor med ett i huvudsak bra termiskt klimat, samtidigt som hela anläggningens energiförbrukning för uppvärmning utifrån både teoretiska beräkningar och mätningar påvisas minska med storleksordningen 10 %. Avslutningsvis kan konstateras att stora överglasningar medför en rad fysikaliska / tekniska problem, men att dessa går att bemästra med dagens teknik.

# Referenser

Adams, J. Alan & Rogers, David F., 1973 : Computer-Aided Heat Transfer Analysis. McGraw-Hill Book Company, USA. 426 p.

Alfano, G. & d'Ambrosio, F.R., 1988 : Clothing : An essential individual adjustment factor for obtaining general thermal comfort. *Healthy Buildings '88*. pp. 355-362 in volume 2 : Planning, Physics and Climate Technology for Healthier Buildings. Swedish Council for Building Research D20 : 1988. Stockholm. 734 p.

Allmänna råd från socialstyrelsen 1988 : 2. Termiskt inomhusklimat. Socialstyrelsen. Stockholm (Allmänna förlaget AB). 32 s.

Alvedahl, Bernt & Liljekvist, Ingbritt & Löfgren, Rune, 1982 : Skärholmens Centrum – en vindstudie. Utredning. Tyréns. Stockholm. 18 s.

Andersson, M. & Svensson, B., 1987 : Glasade gårdar. En klimatstudie av 15 inglasningar i Sverige. Publikation 87:10. Examensarbete vid Avdelningen för husbyggnadsteknik, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Oktober 1987.

Andersson, Torkel, 1990 : Frölunda Torg. Idéer från Kiruna gav rekordbesparing. *Energimagasinet*. Nr 5 1990. s. 46-51.

Aschehoug, Øyvind & Hestnes, Anne Grete & Thyholt, Marit & Jacobsen, Terje, 1990 : Evaluation of the ELA-building (Advanced Case Study, IEA Task XI). SINTEF Report STF 62 A90017, Trondheim. 19 p.

Augustson, Bo & Olofsson, Ingvar, 1991 : Skador på glastak, glasfasader och "curtain wall"-konstruktioner. Erfarenheter från en fältundersökning. Rapport R63 : 1991. Byggnadsrådet, Stockholm. 84 s.

Bednar, Michael J., 1986 : The New Atrium. McGraw-Hill, New York. 238 p.

Bengtson, Ulla & Andersson, Morgan, 1990 : Mördande konkurrens mellan köpcentra i stockholmsregionen. *Byggindustrin*. Nr 32 1990. s. 11-19.

Bergman, B., 1989 : Överglasning: Mode och modernistisk tradition. Bakgrunden till en takforms epidemiska spridning. *Tidskrift för arkitekturforskning*. Nr 1-2 1989. s. 125-143.

- Björk, Folke & Öman, Robert, 1993 : Performance of EPDM-rubber Glazing Gaskets: the Effects of 6 Years' External Exposure in Sweden. Article to be published in *Construction & Building Materials*. Vol. 7 No. 2 1993.
- Botzenhart, K et al., 1984 : Molds in the air of greenhouse homes. *Indoor Air Proceedings* nr 3. pp 277-283. Stockholm.
- Brager, Gail S., 1992 : Using Laboratory-based Models to Predict Comfort in Office Buildings. *ASHRAE Journal*. Vol. 34 No. 4 1992. p. 44-49.
- Bring, Axel, 1982 : BRIS Programbeskrivning. Datorprogram för beräkning av rumsklimat, effekt- och energibehov. Avdelningen för installationsteknik, KTH, Stockholm. 118 s.
- Brown, Gösta, 1963 : Metod för datamaskinberäkning av kyl- och värmebehov. *VVS*. Nr 11 1963. s. 15-24.
- Brown, Gösta, 1989 : The BRIS Computer Program for Simulating Building Thermal Behaviour. Physical Basis and Principles of Data Handling. Bulletin No. 14. Department of Building Services Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm. 123 p. + appendices.
- Brown, Gösta, 1990 : The BRIS Simulation Program for Thermal Design of Buildings and Their Services. *Energy and Buildings*. Vol. 14 No. 4 1990. p. 385-400.
- Bryn, Ida, 1992 : An Energy Information System for Atrium Design. Doktor Ingeniøravhandling 1992:2. *VVS-rapport 1992:1*. Institutt for Varme-, Ventilasjons- og Sanitærtetnikk, Norges Tekniske Høgskole, Trondheim. January 1992. 150 p.
- Børresen, Bent A. & Fjærvik, Nils & Knudsen, Per & Salvesen, Fritjof, 1985 : Glassgårder. Norske erfaringer. Forslag til forsknings og utviklingsprogram. Komité for bygg- og anleggsteknisk forskning (BA-komiteen), Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF). Norges byggeforskningsinstitutt (NBI), Oslo. 114 s.
- Carlson, Per-Olof & Almstedt, Lars-Åke & Thor, Jörgen & Wozniak, Roman, 1985 : Överglasade rum. *Svensk Byggtjänst*, Stockholm. 224 s.
- Carlson, Per-Olof & Eek, Hans & Helmrot, Anna, 1986 : Överglasade gårdar vid renovering i befintlig bebyggelse. *Rapport R 42:1986*. Byggeforskningsrådet, Stockholm. 114 s.

Carlson, Per-Olof & Lindquist, Erik, 1988 : Praktiska erfarenheter av överglasade rum. En översiktlig uppföljning av 26 projekt i drift. Rapport R 36:1988. Byggeforskningsrådet, Stockholm. 115 s.

Carlson, Per-Olof, 1992 : Glasklart på fasaden? Regntvätt räcker inte! Tidskriften Byggeforskning. 1992 nr 7. s. 33–35.

Claesson, A-C. & Jernström, K. & Lundqvist, V. & Nordanberg, A-C., 1987 : Inneklimat i överglasad gård, kv Lektorn, Gävle. Specialarbete vid Polhemsskolan, Gävle.

Cold, Birgit & Fahti, Houchang & Asmervik, Sigmund, 1985 : Evaluering av den overdekte gaten på Universitetssentret på Dragvoll. SINTEF Rapport STF 62 A84007, Trondheim. 94 s.

Croome, D.J. & Rollason, D.H., 1988 : Freshness, ventilation and temperature in offices. *Healthy Buildings '88*. pp. 393–402 in volume 2 : Planning, Physics and Climate Technology for Healthier Buildings. Swedish Council for Building Research D20 : 1988. Stockholm. 734 p.

Croome, D. J. & Gan, G. & Swaid, H. & Awbi, H. B., 1992 : Energy Implication of Comfort Standards. Paper for the CIB W67 Workshop "Energy Efficiency and Ventilation" in Manchester, UK, 21–22 September 1992. 9 p. Department of Building Engineering, University of Manchester Institute of Science and Technology, UMIST.

Dahlsveen, Trond, 1984 : Delklimatiserte soner i bygg og byplansammenheng. (7) Varme- og klimateknikk. Bygg for Fremtiden. Norske Sivilingeniørers Forening. 1984-06-01. 18 s.

Delsing, Jerker & Frederiksen, Svend & Svensson, Bernt : Värmemätning i fjärrvärmesystem – en svår teknisk oppgift. *Energimagasinet* nr 6 1992. s. 74–77.

Dreier, Carsten & Gjelsvik, Tore & Herje, Jarle R. & Isaksen, Trygve & Nielsen, Anker F., 1985 : Glasstak. Konstruksjoner. Klimapåvirkninger og løsninger for nordiske forhold. Håndbok 36. Norges byggeforskningsinstitutt (NBI), Trondheim. 56 s.

Dreier, Carsten, 1987 : Feltundersøkelser av glasstak 1986. Prosjektrapport 23. Norges byggeforskningsinstitutt (NBI), Trondheim. 36 s.

Dufton, A.F., 1932 : The equivalent temperature of a room and its measurement. Dept. of Sci. and Industrial Research. Building Research Technical Paper No. 13, London.

- Engvall, Karin, 1989 : Probleminventering i hus med inglasad gård. Stockholmsprojektets boendeundersökning. Utredningsrapport nr 1989:6. Utrednings- och statistikkontoret, Stockholms stad. 76 s.
- Entréer, 1988. Byggnadsstyrelsen. Rapport nr 166. 1988-01. Stockholm. 30 s.
- Eriksson, Bertil, 1982 : Data rörande Sveriges temperaturklimat. SMHI Reports RMK 39. Norrköping. 34 s.
- Fanger, P.O., 1970 : Thermal Comfort. Danish Technical Press. Copenhagen. 244 p.
- Fanger, P.O. & Melikov, A.K. & Hanzawa, H. & Ring, J., 1988 : Air Turbulence and Sensation of Draught. Energy and Buildings. Vol. 12 No. 1 1988. pp. 21-39.
- Flink, Per, 1989 : Mechanical Properties of Natural Rubber Filled with Cellulose Fibers. Department of Polymer Technology, The Royal Institute of Technology, Stockholm. 56 p. + five papers.
- Franzén, Lars-Olof, 1968 : Riv Skärholmen! Dagens Nyheter den 10 sept 1968. Artikeln återgiven i Dagens Nyheter jubileumsbilaga 23 dec 1989.
- Förvaltningsfakta. Årskostnader 1990. REPAB Program AB, Mölndal. Goterna, Kungälv. Kontor, 63 s., dec 1989. Skolor, 53 s., mars 1990.
- Gagge, A.P. & Herrington, L.P. & Winslow, C.-E.A., 1937 : Thermal interchanges between the human body and its atmospheric environment. Amer. J. of Hyg., 26 : 84-102 1937.
- Glasoverdækkede uderum – en registrering af 12 skandinaviske byggerier. 1985. BUR rapport. Byggeriets Udviklingsråd, København, oktober 1985. 116 s.
- Glaumann, Mauritz, 1992 : Energibalansen hos ett glastak. Forskningsrapport TN:28. Statens institut för byggnadsforskning (SIB), Gävle. Maj 1992. 93 s.
- GTK Forskrifter, 1985 : Anbefalte retningslinjer for valg av glass til takkonstruksjoner og skråstilte fasader. Glassteknisk Komité. Oslo. 26 s.
- Gunnarshaug, Johs., 1985 : Erfaringer fra glassoverdekninger i Trondheim. SINTEF Rapport STF 62 A85013, Trondheim. 62 s.

- Hamrebjörk, Lars & Svensson, Jan, 1987 : Temperaturförhållanden sommartid i överglasade gårdar. Stockholmsprojektet. Höstvetet/Suncourt, Bodbetjänten. Examensarbete vid Projektgruppen för energihushållning i byggnader (EHUB), Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 64 s. + bilagor.
- Herrlin, Magnus, 1992 : Air-Flow Studies in Multizone Buildings. Models and Applications. Bulletin No. 23. Department of Building Services Engineering, The Royal Institute of Technology, Stockholm. 210 p.
- Hestnes, Anne Grete, 1989 : Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings. IEA Task XI. Four Norwegian Case Studies. SINTEF, Division for Architecture and Building Technology, Trondheim. January 1989. 25 p.
- Hyppel, Arne, 1987 : Personlig kommunikation.
- Höglund, Ingemar & Wånggren, Bengt, 1979 : Funktionsstudier av tätninglistor för fönster och dörrar. T 7:1979. Byggforskningsrådet, Stockholm. 55 s.
- Höglund, Ingemar & Girdo, Valdis & Troedsson, Carl Gösta, 1985 : Solinstrålningstabeller för helklara, halvklara och mulna typdagar. Strålning mot yttertor. Timvärden och dygnsvärden. Meddelande nr 145. Inst. för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 97 s.
- Höglund, Ingemar & Ottoson, Göran & Öman, Robert, 1987 : Överglasning av stora byggnadsvolymer – Skärholmens Centrum. Meddelande nr 150. Inst. för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 84 s.
- Höglund, Ingemar & Ottoson, Göran & Öman, Robert, 1989 : Glass Covering of Large Building Volumes. Commercial – Shopping Centre. Building Research and Practice. The Journal of CIB. No.4 1989. p. 214–222.
- Höglund, Ingemar & Ottoson, Göran & Öman, Robert, 1990 : Sigtunaprojektet – byggfysikaliska, energi- och produktionstekniska studier av PUR-isolerade småhus med nya byggnadskomponenter. Arbetsrapport 1990:3. Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 156 s.
- Höglund, Ingemar, 1990 : Glas över huvudet. Byggvarunytt (Svensk Byggtjänst). Nr 2 1990. s. 14–17.
- Instruction Manual, 1982. Thermal Comfort Meter Type 1212. Brüel & Kjær, Nærum, Denmark. January 1982. 25 p.



Isfält, Engelbrekt, 1988 : Byggnaders värmebalans – underlag för jämförelser mellan datorprogram för beräkning av rums klimat samt effekt- och energibehov för byggnaders klimatisering. Detaljerad redovisning av några BRIS-körningar med kommentarer. Meddelande nr 13. Institutionen för installationsteknik, KTH, Stockholm. 36 s.

Isfält, Engelbrekt, 1992 : Personlig kommunikation.

ISO 7730 – 1984. International Standard. Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization, 1984. 19 p.

ISO 7726 – 1985. International Standard. Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities. International Organization for Standardization, 1985. 40 p.

Jacobsen, T. : Thermal climate and air exchange rate in a glasscovered atrium without mechanical ventilation. Healthy Buildings '88, Volume 2 : Planning, Physics and Climate Technology for Healthier Buildings (734 p). Swedish Council for Building Research. D20 : 1988. Stockholm. pp. 567–576.

Jakab, Sten & Nissling, Mats, 1992 : En teoretisk studie av energibalansen i Täby Centrum. Examensarbete nr 235 vid Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm.

Korsgaard, Jens, 1988 : Demands of the allergic and hypersensitive populations. Healthy Buildings '88. pp. 25–38 in volume 1 : State of the Art Reviews. Swedish Council for Building Research D19 : 1988 . Stockholm. 210 p.

Lange, Egon, 1986 : Inglasningar. Klimat och energi. Erfarenheter från några mätprojekt. Byggforskningsrådet. Rapport R 35:1986. Stockholm. 78 s.

Langseth, Lise & Starkhammar, Mats, 1988 : Överglasning av södra stationshuset i Stockholm. Byggteknik och installationsteknik. Examensarbete nr 226 vid Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 69 s.

Levin, Per, 1991 : Building Technology and Air Flow Control in Housing. Document D16:1991. Swedish Council for Building Research, Stockholm. 133 p.

Ljunggren, Sten, 1986 : Skärholmens Centrum. Överglasningens betydelse för akustiken. Arbetsrapport 1986:2 från Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 14 s.

Lundquist, Göran & Persson, Roland & Angbjär, Jan & Andersson, Lars Olof & Isfält, Engelbrekt, 1980 : Camera Solaris. Arkitektur för vårt klimat. Byggnadsforskningens råd. T 28:1980. Stockholm. 144 s.

Lundström, Erik, 1986 : Occupant Influence on Energy Consumption in Single-Family Dwellings. Document D 5:1986. Swedish Council for Building Research, Stockholm. 96 p.

Madsen, T.L. & Olesen, B.W. & Kristensen, N.K. : Comparison between Operative and Equivalent Temperature under Typical Indoor Conditions. ASHRAE Transactions. Vol. 90, part 1, 1984. pp. 1077-1090.

Mayer, E. & Schwab, R., 1988 : Direction of low turbulent air flow and thermal comfort. Healthy Buildings '88, Volume 2 : Planning, Physics and Climate Technology for Healthier Buildings (734 p). Swedish Council for Building Research. D20 : 1988. Stockholm. pp. 577-582.

Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer. Nordiska ventilationsgruppen, NVG. T32:1982. Byggnadsforskningens råd, Stockholm, 1982. 67 s.

Mills, Frank, 1991 : Energy Efficient Commercial Atrium Buildings. Paper for the CIB W67 Workshop "Glazed Spaces in New and Existing Buildings. Glazed additions and Atria in Residential, Public and Commercial Buildings." Trondheim 27-28 May 1991. 21 p.

Modig, Arne, 1987 : Överglasning av Skärholmens Centrum. Attityder och förändrat utnyttjande. Rapport R 75:1987. Byggnadsforskningens råd, Stockholm. 79 s.

MTK Tak, 1990. Val och montering av glas i takkonstruktioner. Monteringstekniska kommittén, montering av glas (MTK), Växjö. 15 s.

Nielsen, Anker F., 1983 : Glasskledde uterom. Energimessige vurderinger. Norges byggnadsforskningens institutt (NBI), Byggnadsforskserien, Byggnadsdetaljer A 527.230. Oslo. 6 s.

Nielsen, Anker, 1991 : Snow Loads and Heat Cables on Glazed Roofs. Paper for the CIB W67 Workshop "Glazed Spaces in New and Existing Buildings. Glazed additions and Atria in Residential, Public and Commercial Buildings." Trondheim 27-28 May 1991. 6 p.

NKB-rapport nr 40 Maj 1981. Inomhusklimat. Nordiska kommittén för byggnadsbestämmelser (Statens planverk m fl). Stockholm 1981. 76 s.

Norrby-Herdenfeldt, Christina, 1989 : Att bo med inglasad gård. Stockholmsprojektets boendeundersökning. Utredningsrapport nr 1989:7. Utrednings- och statistikkontoret, Stockholms stad. 68 s.

Nybyggnadsregler. Boverkets författningssamling BFS 1988 :18 NR 1. Stockholm (Allmänna Förlaget AB) 1989. 398 s.

Olesen, Bjarne.W., 1982 : Thermal Comfort. Technical Review. Brüel & Kjaer, Naerum, Denmark. No. 2 1982. 43 p.

Olesen, Bjarne W., 1988 : Are the thermal factors critical for humans adequately considered in the design of new heating and air-conditioning systems? Healthy Buildings '88, Volume 1 : State of the Art Reviews (210 p). Swedish Council for Building Research. D19 : 1988 . Stockholm. pp. 83 - 90.

Parks, C. R. & Brown, R. J., 1976 : Rubber Chemistry and Technology. Vol. 49, p. 233, 1976.

Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings. IEA-SHC-Task XI. Five German Advanced Case Studies. Fraunhofer Institut für Bauphysik, Stuttgart, Germany. 1991.

Peterson, Folke. & Widegren-Dafgård, Karin, 1988 : Required and actual temperatures in buildings. Healthy Buildings '88, Volume 2 : Planning, Physics and Climate Technology for Healthier Buildings (734 p). Swedish Council for Building Research. D20 : 1988. Stockholm. pp. 459-468.

Riktlinjer Glastak. Glasbranschrådet, Stockholm. 1990. 15 s.

Roman, Paul & Lindh, Jonas, 1989 : Marknadsundersökning. Skärholmens Centrum april 1989. Roman & Lindh Marketing, Stockholm. 11 s.

Rudolphi, Erik, 1990 : Skärholmen Centrum. Ljudmiljö i inglasade torg. Inverkan av öppna butiksentréer. Rapport S-5582-A. DNV Ingemansson AB, Stockholmskontoret. 1990-04-05. 19 s.

Saxon, Richard, 1983 : Atrium Buildings. Development and Design. The Architectural Press, London. 182 p.

Science and Technology of Glazing Systems, 1990. Charles J. Parise, editor. American Society for Testing and Materials (ASTM), Special Technical Publication STP 1054. Philadelphia, USA. 134 p.

SMHI, 1991 : Broschyrmaterial om Energi-index. SMHI, Klimatsektionen, Norrköping.

Sunde, Kjell Edvin, 1991 : Energy Consumption and Thermal Balance in Buildings with Glazed Additions. Paper for the CIB W67 Workshop "Glazed Spaces in New and Existing Buildings. Glazed additions and Atria in Residential, Public and Commercial Buildings." Trondheim 27–28 May 1991. 10 p.

Svensk Byggnorm, SBN 1980. Utgåva 2. Statens planverks författningssamling PFS 1983 : 2. Stockholm (Liber) 1983. 608 s.

Taesler, Roger & Isfält, Engelbrekt, 1980 : Choice of Climatological Data for Testing of Computations of Energy Requirements in Buildings. A4-serien nr 28. Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm. 38 s.

Thyholt, Marit & Granum, Hans, 1990 : Oppvarmede glassgårder – utforming og kravnivå for byggeforskrifter. SINTEF Rapport STF 62 A90025, Trondheim. 42 s.

Thyholt, Marit, 1991 : Cost Analysis for Glazed Spaces. Paper for the CIB W67 Workshop "Glazed Spaces in New and Existing Buildings. Glazed additions and Atria in Residential, Public and Commercial Buildings." Trondheim 27–28 May 1991. 10 p.

Troedsson, Carl Gösta, 1988 : Experimentella och teoretiska studier av förutsättningarna för och möjligheterna till energibesparing i byggnader med fönster försedda med manövrerbara, genomsynliga och värmestrålnings-reflekterande plastfolier. Arbetsrapport 1988:3. Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 85 s.

Wall, Maria, 1990 : Inglasade gårdar. Parameterstudie – klimat och energi. Byggeforskningsrådet. Rapport R 21:1990. Stockholm. 121 s.

Westerberg, Ulla, 1991 : Bo i glashus. De boendes syn på överglasningen av ett affärs- och bostadskvarter mitt i stan. Forskningsrapport SB:38. Statens institut för byggnadsforskning, Gävle. 31 s.

Öman, Robert, 1990 : Reseberättelse från en vistelse i Japan 19 juli – 27 november 1987. Institutionen för byggnadsteknik, KTH, Stockholm. 1990. 22 s.

Öman, Robert, 1991 : Energy Balance and Temperature Conditions at the Glass-Covered Skärholmen Shopping Centre in Stockholm. Paper for the CIB W67 Workshop "Glazed Spaces in New and Existing Buildings. Glazed additions and Atria in Residential, Public and Commercial Buildings." Trondheim 27–28 May 1991. 10 p.

# Bilaga 1 Normalårs- korrigerig av uppmätt energiförbrukning

Normalårskorrigerig görs allmänt för att räkna ut vad den aktuella, uppmätta, energiförbrukningen skulle ha blivit om uteklimatet hade varit detsamma som ett normalår. Uteklimatet avgörs i detta sammanhang främst av uteluftens temperatur, men även solinstrålning och i viss mån vind inverkar. En metod för att korrigera även för solinstrålningens och vindens inverkan med ett sk energi-index har relativt nyligen tagits fram, se SMHI (1991). I detta fall baseras dock korrektionen enbart på utetemperaturen.

Genom att korrigera för att uteklimatet varierar från år till år vill man med den normalårskorrigerade energiförbrukningen få värden från olika år som är direkt jämförbara, dvs där enbart andra faktorer än uteklimatet orsakar eventuella skillnader. Dessa andra faktorer kan grovt delas in i två grupper; dels byggnadens rent tekniska egenskaper och dels driften ("den mänskliga faktorn"). En tilläggsisolering är exempel på en förändring av byggnadens tekniska egenskaper medan ändrad drifttid av den mekaniska ventilationen är exempel på ändrad drift. Till denna senare kategori, ändrad drift, kan i princip räknas alla åtgärder av förvaltare / boende / brukare som påverkar energibalansen. Även om normalårskorrigeringen lyckas bra så kan ett stort problem kvarstå när det gäller tolkningen av olika energiförbrukning olika år; vad orsakas av byggnadens tekniska egenskaper och vad orsakas av olika drift?

Detta fall med överglasning i samband med befintliga byggnader kan i viss mån jämföras med en tilläggsisolering. Det finns här ett vid det här laget välkänt samband mellan byggnadens tekniska egenskaper och driften; om inte en tilläggsisolering följs av minskad värmeförlust via uppvärmningssystemet tas "vinsten" av tilläggsisoleringen i stället ut genom högre innetemperatur och/eller ökad fönstervädring. En fastställd skillnad när det gäller energiförbrukningen före och efter en överglasning är alltså inte detsamma som en fastställd skillnad av just överglasningens egentliga inverkan. Trots denna delvis ofrånkomliga begränsning är det naturligtvis mycket intressant att se hur man lyckas i praktiken när det gäller energiförbrukning efter t ex en överglasning som i Skärholmens Centrum.

I allmänhet görs normalårskorrigerering med graddagar. För att möjliggöra en alternativ och förhoppningsvis noggrannare normalårskorrigerering, har den månadsvisa energiförbrukningen studerats som funktion av aktuell månadsmedeltemperatur ute, se figur 1. Utifrån i första hand normal utetemperatur och i andra hand inverkan av solinstrålning har de månadsvisa värdena delats in i tre grupper:

- Sommar: juni – augusti
- Vår/höst: april – maj och september – oktober
- Vinter: november – mars.

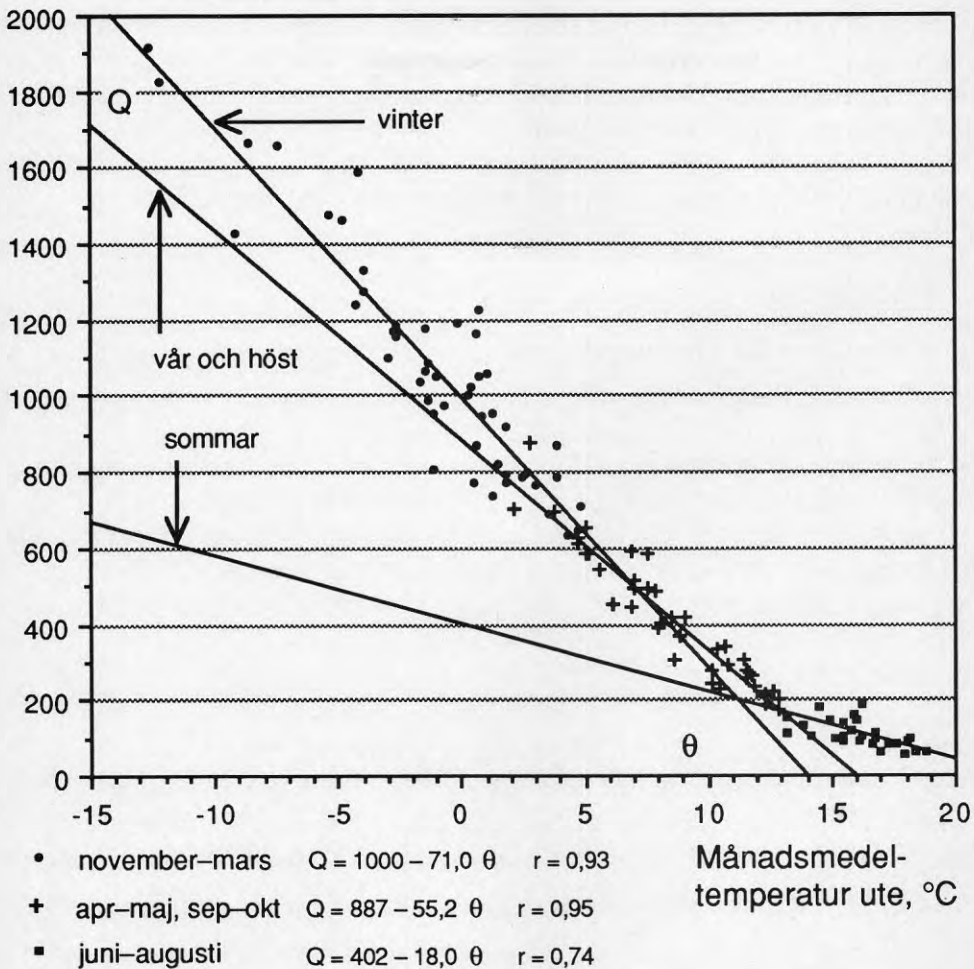
I samtliga fall där sambandet med utetemperaturen studeras avses energiförbrukningen per "medelmånad" med  $365 / 12 = 30,4$  dygn, varigenom inverkan av månadernas olika längd elimineras.

Aktuell månadsmedeltemperatur är den som SMHI anger för Bromma. Normalår avser i detta fall medelvärden från 30-årsperioden 1951–80 när det gäller utetemperaturen och från 18-årsperioden 1961/62 – 1978/79 när det gäller graddagar.

Som framgår av figur 1 beskrivs sambanden mellan verklig energiförbrukning och utetemperatur relativt väl av räta linjer. Riktningkoefficienterna har enheten MWh/mån °C, vilket i princip motsvarar byggnadernas totala specifika värmeförluster som vanligen anges med enheten W/°C. För vinterperioden kan värdet 71 MWh/mån °C omräknas till 97 kW/°C om innetemperaturen förutsätts konstant trots varierande utetemperatur (d v s att uppvärmningsgraden, se avsnitt 5.2.3, förutsätts vara 100 %).

I jämförelse med vinterperioden är riktningkoefficienten något mindre för vår/höst och betydligt mindre för sommaren; 55 respektive 18 MWh/mån °C. Detta kan förklaras av att uppvärmningsbehovets beroende av utetemperaturen blir svagare med högre utetemperatur och kraftigare solinstrålning. Mycket stor inverkan i detta sammanhang har även styrningen av värme- och ventilationssystemen. När t ex utetemperatur (och solinstrålning) når viss nivå kanske uppvärmningen med radiatorer stängs av medan tilluften alltjämt förväms till viss temperatur, vilket medför att energiförbrukningen påverkas mindre av utetemperaturen, d v s att riktningkoefficienten blir mindre. (Riktningkoefficienten är definitionsmässigt negativ, men jämförelser av dess storlek syftar naturligtvis på absolutbeloppet.)

## Energiförbrukning, MWh/mån



Figur 1. Energiförbrukning för uppvärmning av hus I–O i Skärholmens Centrum 1982–91 som funktion av aktuell månadsmedeltemperatur. För vinter, vår/höst och sommar anges ekvationerna för de räta linjer som bäst beskriver detta samband, där  $Q$  = energiförbrukning per månad,  $\theta$  = utetemperatur och  $r$  = korrelationskoefficient. Sambandet beskrivs relativt väl av tre olika räta linjer, vilket möjliggör normalårskorrigering utifrån riktningskoefficienterna (MWh/mån °C) för dessa linjer.

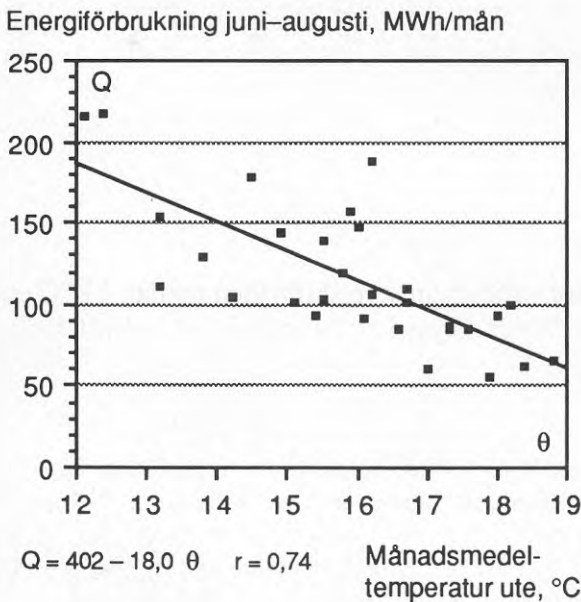
Perioden september – maj kan även beskrivas med samma typ av rät linje (68 MWh/mån °C och  $r = 0,97$ ). Värdena för sommaren avviker dock betydligt från värdena för övriga året. I figur 2 framgår sambandet mellan

energiförbrukning och utetemperatur för de tre sommarmånaderna (samma värden som i figur 1 men i större skala). Även för sommaren är faktiskt sambandet ganska tydligt, även om spridningen är betydligt större och riktningskoefficienten betydligt mindre jämfört med övriga årstider. Om energiförbrukningen sommartid i stället endast avsåg tappvarmvatten skulle riktningskoefficienten vara nära noll.

Den aktuella 10-årsperioden kan för Skärholmens Centrum delas in i tre delperioder:

- 1982–84: före överglasning
- 1985–88: efter överglasning med golvvärmen i drift
- 1989–91: efter överglasning utan golvvärmen i drift.

Golvvärme avser här den aktiva uppvärmningen av de överglasade gågatorna med golvvärmeslingor. I tabell 1 framgår energiförbrukningen som funktion av utetemperaturen för dessa tre delperioder var för sig och dessutom för hela 10-årsperioden. Anpassningarna till räta linjer utgår från samma värden och indelning i årstider som i figur 1, dock framgår även höst, vinter och vår (sep–maj) tillsammans.



*Figur 2. Uppmätt energiförbrukning som funktion av utetemperaturen. Som framgår är detta samband relativt tydligt även sommartid, där kallare sommarmånader motsvarar högre energiförbrukning.*

*Jämför även med figur 1.*



Av tabell 1 framgår att energiförbrukning per månad som funktion av aktuell månadsmedeltemperatur inte är alltför olika för perioderna före överglasning och efter överglasning med respektive utan golvvärmen i drift. I det följande görs därför korrigering utifrån MWh/mån °C med samma värden för hela 10-årsperioden 1982–91. Metoden med korrigering utifrån MWh/mån °C möjliggör dock att korrigeringen görs med olika värden för olika perioder om byggnadernas totala specifika värmeförluster skulle förändras mer radikalt.

Att korrelationskoefficienten,  $r$ , i tabell 1 är högst för den längsta perioden under året, sep–maj, beror delvis på definitionen av  $r$  som i allmänhet medför högre värde när värden från ett bredare intervall av  $x$ -axeln tas med. Man kan alltså inte dra slutsatsen att en rät linje i egentlig mening bättre beskriver sambandet för hela perioden sep–maj i jämförelse med apr–maj + sep–okt och nov–mar separat. För samma månader kan man dock utifrån värdena på  $r$  dra slutsatsen att en rät linje beskriver sambandet ungefär lika väl oberoende av årtal, vilket bekräftar att samma korrigering utifrån MWh/mån °C för hela 10-årsperioden är lämpligast i detta fall. Bättre underlag på  $r$  talar också för att utgå från hela 10-årsperioden.

För sommarperioden är korrelationskoefficienterna i de flesta fall betydligt lägre än för övriga perioder. Detta beror delvis på att sommarperioden motsvarar det smalaste intervallet av  $x$ -axeln, men även på sämre korrelation i egentlig mening. (Det höga värdet  $r = 0,97$  för jun–aug 1989–91 är med största sannolikhet en ren tillfällighet på få värden).

I det följande jämförs tre olika sätt att korrigera den uppmätta energiförbrukningen månadsvis till normalår:

- Graddagar till 17 °C
- Graddagar till 22 °C
- Korrektion utifrån MWh/mån °C.

Graddagar till 17 °C beräknas för varje dygn som skillnaden mellan 17 °C och dygnsmedeltemperaturen. Man räknar då med att basvärme och solinstrålning tillför värme som motsvarar värmebehovet från innetemperaturen 17 °C till normal innetemperatur. Basvärme avser el som inte används för aktiv uppvärmning och värme från människor. För att ytterligare kompensera för solinstrålningens inverkan antas att uppvärmningsbehovet och därmed graddagarna är noll för dygn då dygnsmedeltemperaturen överstiger 12 °C under april, 10 °C under maj, juni och juli, 11 °C i augusti, 12 °C i september och 13 °C i oktober. Dessa graddagar är mycket vanliga för normalårskorrigering och bestäms av SMHI för ett stort antal mätstationer; i detta fall har värden från Bromma använts.

Tabell 1. Energiförbrukning per månad för hus I-O i Skärholmens Centrum som funktion av aktuell månadsmedeltemperatur anpassat till räta linjer för olika år och årstider, jämför även figur 1 och 2. Ekvationerna utgör underlag för normalårskorrigerig, men kan även användas direkt för att uppskatta energiförbrukningen för normalår, se tabell 7.4.

$$Q = a - b \cdot \theta_u$$

där

$Q$  = förbrukad uppvärmningsenergi, MWh/månad

$a$  =  $Q$  vid 0 °C (linjens skärningspunkt med y-axeln)

$b$  =  $Q$  per °C (linjens riktningskoefficient)

$\theta_u$  = månadsmedeltemperaturen ute, °C

$r$  = korrelationskoefficienten.

1982-84: före överglasning

1985-88: efter överglasning med golvvärmen i drift

1989-91: efter överglasning utan golvvärmen i drift.

År	Antal år	Antal värden	Månader	Ekvation för Q	r
1982-91	10	30	jun-aug	$Q = 402 - 18,0 \cdot \theta_u$	0,74
1982-84	3	9	jun-aug	$Q = 283 - 10,5 \cdot \theta_u$	0,54
1985-88	4	12	jun-aug	$Q = 440 - 20,7 \cdot \theta_u$	0,71
1989-91	3	9	jun-aug	$Q = 505 - 24,4 \cdot \theta_u$	0,97
1982-91	10	40	apr-maj, sep-okt	$Q = 887 - 55,2 \cdot \theta_u$	0,95
1982-84	3	12	apr-maj, sep-okt	$Q = 854 - 51,0 \cdot \theta_u$	0,96
1985-88	4	16	apr-maj, sep-okt	$Q = 913 - 58,6 \cdot \theta_u$	0,95
1989-91	3	12	apr-maj, sep-okt	$Q = 865 - 53,1 \cdot \theta_u$	0,95
1982-91	10	50	nov-mar	$Q = 1000 - 71,0 \cdot \theta_u$	0,93
1982-84	3	15	nov-mar	$Q = 1033 - 80,9 \cdot \theta_u$	0,93
1985-88	4	20	nov-mar	$Q = 1032 - 64,2 \cdot \theta_u$	0,92
1989-91	3	15	nov-mar	$Q = 932 - 60,7 \cdot \theta_u$	0,89
1982-91	10	90	sep-maj	$Q = 999 - 67,7 \cdot \theta_u$	0,97
1982-84	3	27	sep-maj	$Q = 1036 - 70,5 \cdot \theta_u$	0,98
1985-88	4	36	sep-maj	$Q = 1006 - 68,0 \cdot \theta_u$	0,97
1989-91	3	27	sep-maj	$Q = 927 - 59,6 \cdot \theta_u$	0,97

Graddagar till 22 °C är de graddagar som används i detta fall av förvaltaren. Utgångsvärdena är även i detta fall graddagar till 17 °C med samma definition som ovan, men bestämda utifrån temperaturmätningar vid Observatoriekullen i centrala Stockholm i stället för Bromma. Ett tillägg med 5 graddagar per dygn görs sedan för att kompensera för förbrukning av tappvarmvatten, d v s dessa graddagar är egentligen tänkta att användas för att normalårskorrigera summan av energiförbrukning för uppvärmning och en viss andel tappvarmvatten. Under november – mars är namnet ”graddagar till 22 °C” helt korrekt. Övriga månader medför dock inskränkningen att graddagarna till 17 °C inte tas med för dygn med dygnsmedeltemperatur överstigande 10–13 °C, samtidigt som tillägget 5 graddagar avser alla dygn, att detta namn egentligen inte är helt korrekt. För enkelhetens skull används dock namnet ”graddagar till 22 °C” genomgående i stället för det mer korrekta ”graddagar till 17 °C + 5 graddagar per dygn för alla dygn”.

Tillägget med 5 graddagar per dygn medför att detta tillägg motsvarar 33 % av antalet graddagar till 22 °C per år, vilket kan sägas motsvara en tänkt andel energi för tappvarmvatten i flerbostadshus. I Skärholmens Centrum motsvarar tappvarmvatten som tidigare nämnts uppskattningsvis bara 1–1,5 % av den direkt avlästa energiförbrukningen. Dessa graddagar till 22 °C kan därför tyckas vara mindre lämpliga för Skärholmens Centrum. Definitionen av dessa graddagar till 22 °C medför dock t ex att antalet graddagar per månad aldrig blir särskilt nära noll (minimivärdet blir 150 per månad för juni när antalet graddagar till 17 °C är noll). Detta medför den fördelen att korrektionsfaktorn aldrig blir orimligt stor, vilket den kan bli för de konventionella graddagarna till 17 °C.

Värdena på graddagar till 17 °C kommer i detta fall från Bromma medan graddagarna till 22 °C kommer från Observatoriekullen i centrala Stockholm. Årsmedeltemperaturen vid dessa platser är 6,2 respektive 6,6 °C, alltså 0,4 °C högre i centrala Stockholm. När det gäller SMHI:s bestämmingar används i första hand värden från Bromma, vars klimat bedöms mycket snarlikt det i Skärholmen (denna likhet bekräftas vid jämförelser mellan resultaten av egna utetemperaturmätningar i Skärholmen och SMHI:s mätningar från Bromma). Om man utgår från Bromma kan man därför säga att dessa graddagar till 22 °C i genomsnitt motsvarar graddagar till  $22 - 0,4 = 21,6$  °C.

Vid korrektion med graddagar multipliceras uppmätt energiförbrukning för respektive månad med kvoten mellan graddagar ett normalår och aktuella graddagar för samma månad. För de månader då antalet graddagar är litet blir resultatet osäkert, vilket exemplifieras längre fram.

Vid korrektion med MWh/mån °C utgår man från skillnaden mellan månadsmedeltemperatur ett normalår och aktuell månadsmedeltemperatur. Denna temperaturskillnad multipliceras med byggnadernas totala specifika värmeförluster angivet i MWh/mån °C, vilket ger en korrektionsterm i MWh/mån som adderas till uppmätt energiförbrukning. De specifika värmeförlusterna kan som i detta fall bestämmas utifrån uppmätt samband mellan energiförbrukning och utetemperatur eller utifrån teoretiska beräkningar av totala transmissions- och ventilationsförluster. En fördel med att utgå från ett uppmätt samband är att man eliminerar den osäkerhet som ett teoretiskt beräknat värde på energiförlusterna innefattar bl a eftersom verklig luftomsättning oftast är osäker. En annan fördel är att det uppmätta sambandet inkluderar inverkan av det verkliga sambandet mellan inne- och utetemperatur, d v s inverkan av verklig uppvärmningsgrad (se avsnitt 5.2.3). Det kan tilläggas att sambandet mellan energiförbrukning och utetemperatur ibland kallas för en byggnads energisignatur.

En viktig principiell skillnad är att korrektion med MWh/mån °C görs med en korrektionsterm, medan graddagskorrektion görs med en korrektionsfaktor. Graddagar kan definieras på olika sätt. I detta fall jämförs resultaten med två olika graddagar; dels förvaltarens graddagar till 22 °C och dels de vanligare graddagarna till 17 °C.

I tabell 2 framgår resultaten med dessa tre sätt att normalårskorrigera och dessutom resultatet utan normalårskorrigerings. Två olika kriterier har använts för att utvärdera resultatet.

Först jämförs hur väl sambandet mellan energiförbrukning per månad och månadsmedeltemperaturen ett normalår kan beskrivas med en rät linje. Korrelationskoefficienten,  $r$ , anger hur approximativt det är att beskriva detta samband med ekvationen för en rät linje. Lite förenklat bör sambandet efter normalårskorrigerings följa en rät linje, d v s ju bättre korrigerings desto högre värde på korrelationskoefficienten.

En jämförelse har även gjorts av hur stor avvikelse från medelvärdet för respektive månad som erhållits under aktuell 10-årsperiod. För varje månad har standardavvikelsen beräknats för de 10 värdena med olika normalårskorrigerings. Sedan har variationskoefficienten,  $v$ , d v s den relativa standardavvikelsen, beräknats. Här visas slutligen medelvärdet av  $v$  för aktuella månader. Lite förenklat bör avvikelsen efter normalårskorrigerings vara minimal, d v s ju bättre korrigerings desto lägre värde på variationskoefficienten.

Tabell 2. Jämförelse mellan olika sätt att korrigera energiförbrukningen till normalår. Korrelationskoefficienten,  $r$ , anger hur approximativt det är att beskriva sambandet mellan energiförbrukning per månad och månadsmedeltemperatur ett normalår med ekvationen för en rät linje. Variationskoefficienten,  $v$ , anger hur stor avvikelse från medelvärdet för respektive månad som erhållits under aktuell 10-årsperiod (i tabellen redovisas medelvärdet av  $v$  för aktuella månader). De värden som är "bäst" har markerats med fet stil.

Månader	Utan korrektion	Graddagar till 22 °C	Graddagar till 17 °C	Korr. utifrån MWh/mån °C
<u>Korrelationskoefficient, <math>r</math></u> (= 1 vid perfekt passning till en rät linje)				
jun-aug	<b>0,52</b>	0,47	–	0,39
apr-maj, sep-okt	0,91	<b>0,95</b>	0,60	<b>0,96</b>
nov-mar	0,51	0,73	0,80	<b>0,84</b>
sep-maj	0,87	0,95	0,91	<b>0,97</b> <sup>1)</sup>
<u>Variationskoefficient, <math>v</math></u> (= 0 om alla värden är lika med medelvärdet)				
jun-aug	0,31	0,29	–	<b>0,26</b>
apr-maj, sep-okt	0,18	<b>0,12</b>	0,30	0,13
nov-mar	0,23	0,13	0,11	<b>0,10</b>
sep-maj	0,21	0,13	0,20	<b>0,12</b> <sup>1)</sup>

1) Värdet gäller med olika korrektion för nov-mar och apr-maj + sep-okt. Med samma korrektion sep-maj erhålls  $r = 0,97$  (0,001 lägre) och  $v = 0,13$  (0,012 högre).

Denna utvärdering utifrån anpassning till rät linje och avvikelse från medelvärde är som påpekats lite förenklad. Eftersom även andra faktorer än uteklimatet påverkar energiförbrukningen är ju inte konstant förbrukning år från år det rätta, d v s en perfekt normalårskorrigering motsvarar inte korrelations- och variationskoefficienter med exakt värdena 1 och 0. En viktig förutsättning för att denna utvärdering ändå skall vara meningsfull är därför, som i detta fall, att den normalårskorrigerade energiförbrukningen inte varierar alltför mycket från år till år. Resultatet måste dock tolkas med försiktighet, eftersom något egentligt facit inte existerar.

I sex av åtta fall erhålls bäst resultat med korrektion utifrån MWh/mån °C, d v s en korrigering utgående från verkligt genomsnittligt samband mellan uppmätt energiförbrukning per månad och aktuell månadsmedeltemperatur. Resultaten med graddagar till 22 °C och korrektion utifrån MWh/mån °C är i flera fall ungefär likvärdiga, dock är resultaten vintertid sämre med graddagar till 22 °C.

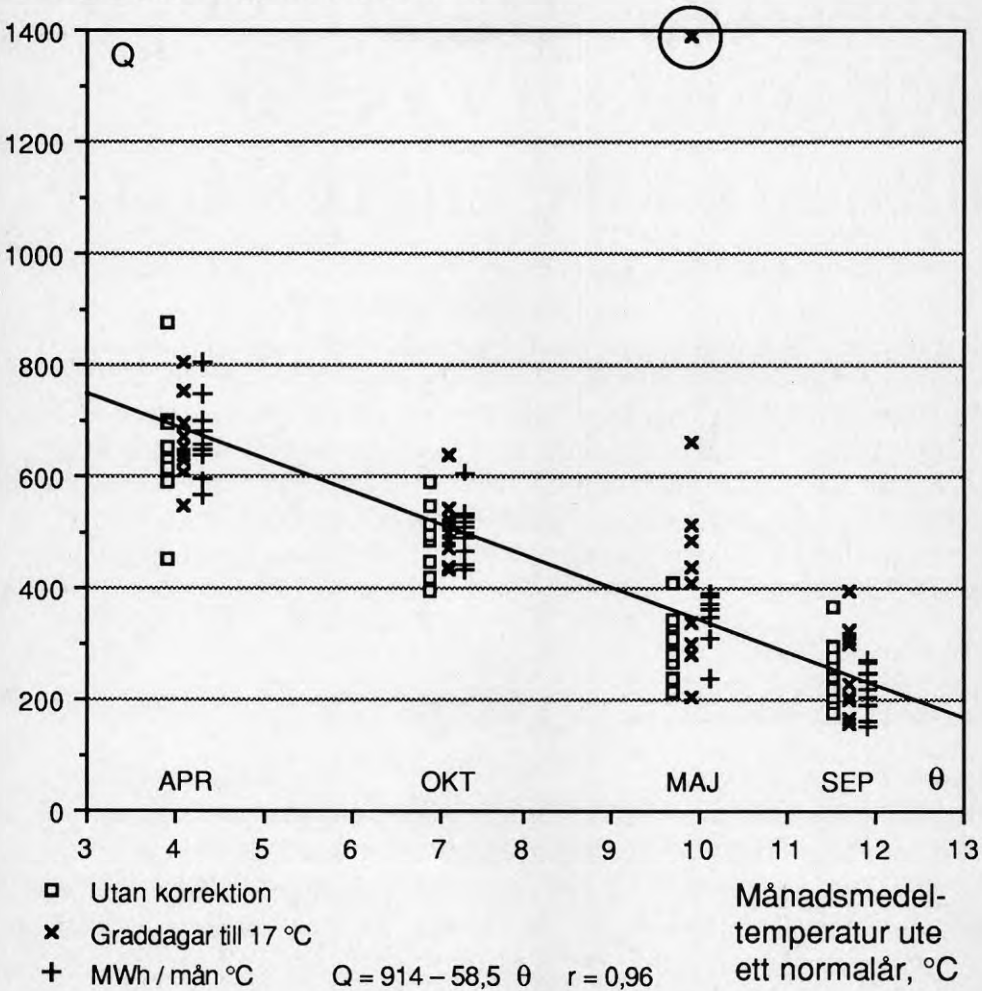
Graddagar till 17 °C ger bra resultat vintertid men anmärkningsvärt stor avvikelse vår och höst, se figur 3. För maj är antalet graddagar till 17 °C ett normalår 148. Beroende på definitionen av dessa graddagar, se ovan, så blir verkligt antal graddagar mycket lågt vissa år. För ett år (inringat i figur 3) är verkligt antal graddagar endast 23, vilket ger den orimliga korrektionsfaktorn 6,43. En viktig slutsats i detta sammanhang är att man måste vara mycket försiktig med att korrigera med graddagar för de månader då antalet graddagar är relativt nära noll, eftersom korrektionsfaktorn då lätt blir orimlig.

Att försöka normalårskorrigera energiförbrukningen sommartid kan sägas ha misslyckats. Efter korrigering blir visserligen variationskoefficienten något lägre, men samtidigt blir anpassningen till en rät linje försämrad (korrelationskoefficienten blir lägre). Trots ett relativt tydligt samband med utetemperatur, se figur 2, beror alltså energiförbrukningen sommartid i alltför hög grad på andra faktorer än utetemperaturen för att normalårskorrigering skall vara meningsfull i detta fall. Sommartid är det inte möjligt att använda graddagar till 17 °C eftersom antalet graddagar då ofta är noll.

Den normalårskorrigering som slutligen valts för Skärholmens Centrum är för september – maj korrektion med MWh/mån °C, d v s utifrån det uppmätta sambandet mellan energiförbrukning och månadsmedeltemperatur. Med värden från 10-årsperioden 1982–91 som underlag har korrektionen för apr–maj + sep–okt respektive nov–mar bestämts till 55,2 respektive 71,0 MWh/mån °C. För sommarmånaderna juni – augusti används dock uppmätt energiförbrukning utan korrektion.

För 1977–81 finns endast årssummor av energiförbrukningen tillgänglig. För dessa fem år har därför en förenklad normalårskorrektion gjorts utifrån summa graddagar till 17 °C från Bromma under sep–maj. För 1977–81 har antagits att förbrukningen sep–maj liksom genomsnittet 1982–91 utgör 95,2 % av årssumman. Förbrukningen jun–aug antas alltså 4,8 % av årssumman och korrigeras inte. En jämförelse visar att denna förenklade normalårskorrektion tillämpad även 1982–91 ger mycket rimligt resultat. Eftersom summa graddagar för en 9-månadsperiod används undviks orimliga korrektionsfaktorer enstaka månader.

## Energiförbrukning, MWh/månad



Figur 3. Energiförbrukning per månad vår och höst utan normalårskorrektion och efter korrektion dels med graddagar till 17 °C och dels utifrån MWh/mån °C (för att kunna urskilja de tre grupperna av värden har dessa åtskiljts med 0,2 °C). Den anpassning till en rät linje som visas avser värdena korrigerade utifrån MWh/mån °C. Korrektionen med graddagar misslyckas för maj, där ett värde (inringat) blir helt orimligt.

# Bilaga 2 Datormodell och indata för beräk- ningarna av energibalans

Skärholmens Centrum beskrivs såväl byggnads- som installationstekniskt i kapitel 3. I detta avsnitt beskrivs den geometriska modell (i det följande kallad "modellen") och övriga indata som har använts vid datorberäkning av energibalansen. Alla indata har inte tagits med, men beskrivningen är ändå ganska utförlig med många kommentarer. Information om olika ytors storlek, ingående material, luftflöden m fl indata har i de flesta fall hämtats från ritningar, från förvaltaren (Svenska Bostäder) och genom egna observationer och fältmätningar.

## Datormodellens geometri

Den överglasade delen av Skärholmens Centrum omfattar sex huskroppar med tre mellanliggande överglasade gågator och två torn, se figur 3.7. Detta har i modellen förenklats till två huskroppar som omger en överglasad gågata och ett torn. Härigenom har i princip 11 olika rum (byggnader) ersatts med fyra. Som framgår av det följande har denna förenkling kunnat göras utan någon betydande approximation när det gäller olika delytor m m. Understrukna värden i detta avsnitt avser de mått som slutligt valts för modellen.

Studierna av energibalansen avser dels hela anläggningen och dels energibalansen uppdelad på överglasning och omgivande byggnader. Teoretiskt skulle alltså två rum (byggnader, zoner) vara tillräckligt för modellen. Det minsta antal rum som visar sig geometriskt kunna beskriva Skärholmens Centrum på ett bra sätt är dock fyra stycken, där rum 1 + 2 motsvarar verklig-  
hetens överglasning och rum 3 + 4 motsvarar verklighetens omgivande byggnader:

Rum 1: Överglasning.

Rum 2: Torn.

Rum 3: Hus mot väster.

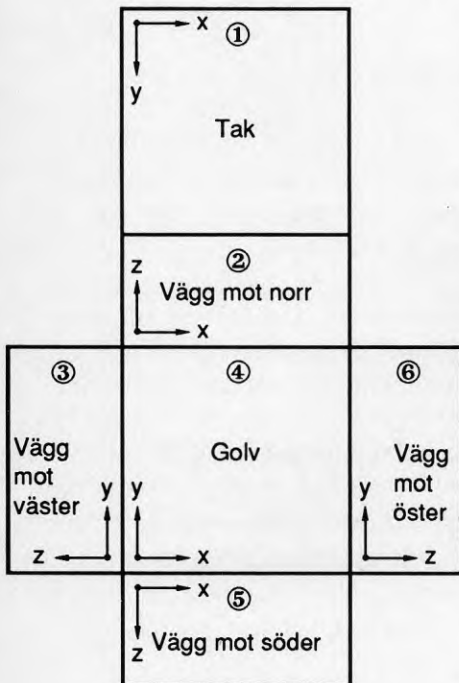
Rum 4: Hus mot öster.



I figur 1 framgår hur varje rum beskrivs geometriskt, där alla ytor måste vara antingen vertikala eller horisontella. Trots denna approximation kan dock en lutande yta vid datorberäkningen med BRIS erhålla rätt solinstrålning genom att rätt lutning gäller just när solinstrålningen beräknas. Denna möjlighet att luta ytor gäller dock bara rummens huvudytor och inte delytor.

Modellens enda överglasade gågata motsvarar i princip Storholmsgatan förlängd med Lillholms- och Byholmsgångens längd. Överglasningens (gångatans) längd har bestämts utifrån villkoret att den sammanlagda längden för fasadytorna mellan överglasning och omgivande byggnader är densamma för modellen som i verkligheten. Fasadernas raka längd parallellt med överglasningen bestämdes till 658 m. Dessutom tillkommer 108 m p g a fasadytor vinkelräta mot överglasningen, d v s totala längden blir 766 m. Detta motsvarar en helt rak överglasad gågata med längden  $766 / 2 = 383$  m.

Överglasningens verkliga golvyta,  $3\,950\text{ m}^2$ , har använts även för modellen. Längden 383 m medför då att den genomsnittliga bredden blir  $3\,950 / 383 = 10,3$  m.



Figur 1. Som indata till BRIS ges bredd, längd och höjd ( $x$ ,  $y$  och  $z$ ) för varje rum, varvid huvudytorna ① – ⑥ är definierade. Varje delyta bestäms sedan av dess utsträckning i  $x$ -,  $y$ - och  $z$ -led, dess koordinater för hörnet närmast origo och av numret för den huvudyta som delytan tillhör.

Väderstrecken i figuren gäller för modellen av Skärholmens centrum, där de fyra rummen har följande mått i  $x$ -,  $y$ - och  $z$ -led:

Rum 1, överglasning:  $10,3 \times 383 \times 6,78$  m.

Rum 2, torn:  $10,3 \times 24,2 \times 29,0$  m.

Rum 3 och 4, hus mot väster respektive öster:  $28,3 \times 383 \times 10,0$  m.

Se även figur 2 – 3.

Golvarea ovan mark för omgivande byggnader (hus I–O) är 47 200 m<sup>2</sup> fördelade på två och tre våningar. Bredden för modellens två huskroppar, rum 3 och 4, bestäms dock av att verklig takyta bibehålls. Total takyta för hus I–O är 21 700 m<sup>2</sup> (varav 5 600 m<sup>2</sup> är fläktrum). För modellen medför detta  $21\,700 / 2 = 10\,850$  m<sup>2</sup> per hus, som då får bredden  $10\,850 / 383 = \underline{28,3\text{ m}}$ . Medeltakhöjd för den verkliga överglasningen är  $28\,800\text{ m}^3 / 3\,950\text{ m}^2 = 7,29$  m. Avgörande för modellens överglasning får dock bli den totala fasadytan mellan överglasning och hus I–O, som är 5 190 m<sup>2</sup>. Med längden 766 m motsvarar detta medelhöjden  $5\,190 / 766 = \underline{6,78\text{ m}}$ .

Total fasadyta mellan hus I–O och ute är 11 300 m<sup>2</sup>. Höjden för modellens två hus,  $h_h$ , kan nu beräknas utifrån de två villkoren att den totala fasadytan bibehålls såväl mellan hus I–O och ute som mellan hus I–O och överglasning:

$$11\,300 = h_h \cdot (2 \cdot (383 + 2 \cdot 28,3)) + (h_h - 6,78) \cdot 2 \cdot 383$$

$$11\,300 = h_h \cdot 1\,645 - 5\,193$$

$$h_h = \underline{10,0\text{ m}}$$

Det kan tilläggas att denna höjd för rum 3 och 4 är av samma storleksordning som för verklighetens hus I–O.

Den totala projicerade horisontella ytan mellan överglasning och ute, 3 950 m<sup>2</sup>, stämmer exakt överens med golvytan eftersom ytorna för skärmtak beräknats som skillnaden mellan golvytor och projicerade horisontella ytor för glasning, plastpanel och tak över torn. Den totala ytan mellan överglasning och ute, 6 090 m<sup>2</sup>, är 54 % större än den totala projicerade horisontella ytan.

När det gäller ytorna mellan överglasning och ute tas även hänsyn till de vertikala 34 – 90 cm höga sarger som utgör övergång mellan glasning respektive plastpanel och skärmtak, tak över torn m m, se figur 3.11 och 3.13. Den sammanlagda längden för dessa sarger bestämdes till 781 m och ytan till 539 m<sup>2</sup>.

Plastpanelen (Everlite) har en krökt yta, som i tvärsnitt motsvarar en cirkelbåge med 122 ° vinkel, se figur 3.8. Dess bredd längs cirkelbågen är 8,12 m och längden är totalt 139,2 m, vilket ger ytan  $8,12 \times 139,2 = 1\,130$  m<sup>2</sup>. Den verkliga projicerade horisontella ytan av plastpanelen är  $6,70 \times 139,2 = 933$  m<sup>2</sup>.

En approximation är att följande ytor i modellen antagits horisontella :

228 m<sup>2</sup> glastak med 20 ° lutning mot söder

460 m<sup>2</sup> glastak med 46 ° lutning mot öster

249 m<sup>2</sup> tak över tornen med 30 ° lutning mot väster

1 130 m<sup>2</sup> plastpanel som i verkligheten har en krökt yta.

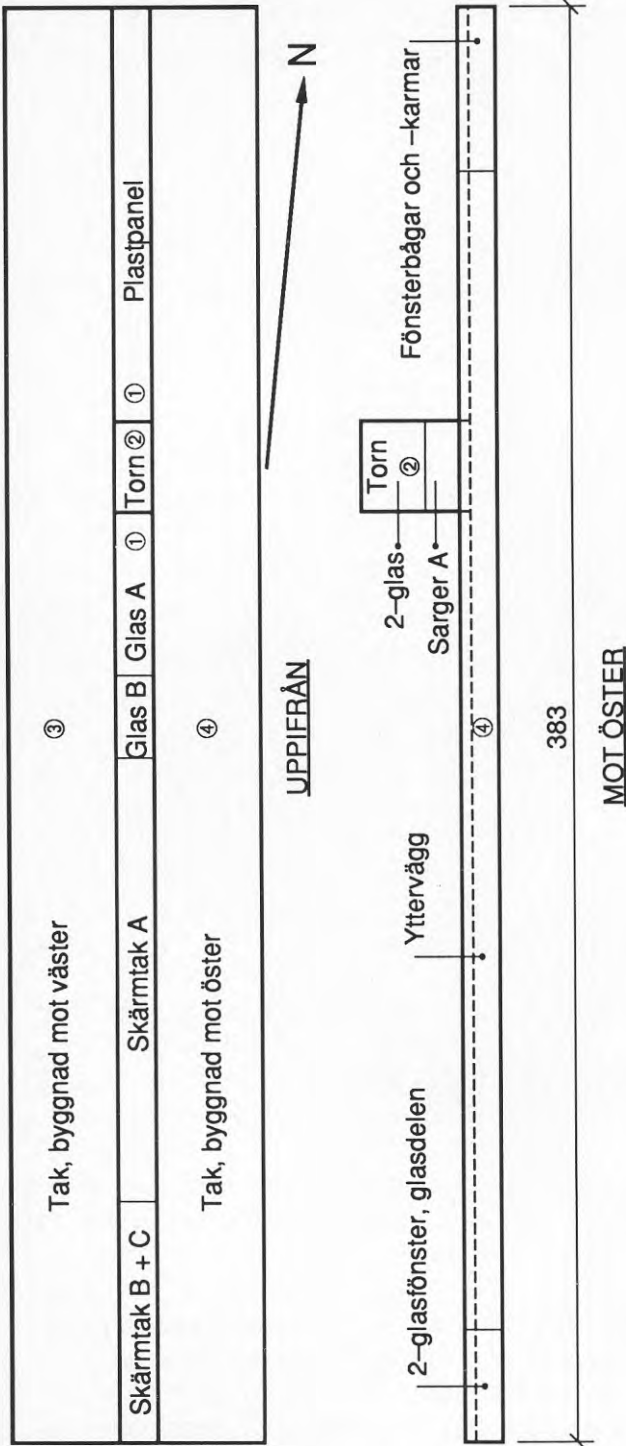
Detta skulle medföra att överglasningens horisontella takyta blir 384 m<sup>2</sup> större för modellen än i verkligheten, vilket dock har kompensrats genom att 384 m<sup>2</sup> av skärmtakens yta antas vertikal och tillförs tornet.

De två tornen ersätts i modellen av ett torn, som ges de ytor som bäst motsvarar ytorna hos de verkliga två tornen och överglasningens övriga vertikala glaspartier m m. Tornet förses med glasade vertikala ytor, samtliga sarger och med de 384 m<sup>2</sup> av skärmtaken som i modellen antas vertikala. Det verkliga lutande isolerade plåttaket är i modellen horisontellt. Taket ges samma yta som i verkligheten, d v s 249 m<sup>2</sup>.

Liksom i verkligheten antas att tornet inte har kontakt med omgivande byggnader, utan endast med överglasningen. Tornet kan trots detta antas ha samma bredd som överglasningen, d v s 10,3 m. Vid själva BRIS-beräkningen förutsätts nämligen att såväl torn som omgivande byggnader gränsar till uteklimatet där de egentligen (strikt geometriskt) gränsar mot varandra. Att införa en marginal mellan torn och omgivande byggnader vore därför en onödig komplikation. Med takytan 249 m<sup>2</sup> blir då tornets längd  $249 / 10,3 = 24,2 \text{ m}$ . De två verkliga tornens bredd är 13,0 respektive 8,1 m, och deras längd (parallellt med gågatan) är 12,3 respektive 7,4 m.

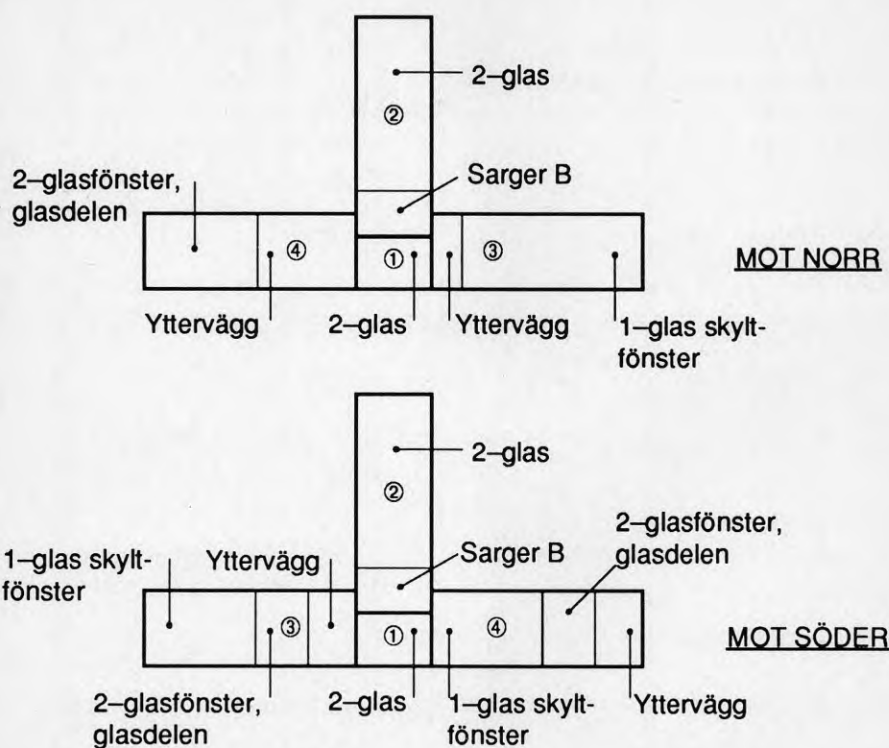
Modellens överglasning, d v s rum 1, har två vertikala glasade ytor; en mot söder och en mot norr vid den överglasade gågatans respektive ände. Dessa har respektive yta  $10,3 \times 6,78 = 70 \text{ m}^2$ . Till tornet, d v s rum 2, återstår då de vertikala delytor som framgår längre fram av tabell 1. Höjden för tornet har sedan bestämts av summan av alla dessa vertikala delytor. Tornet ges därför höjden 29,0 m över överglasningen, d v s höjden  $29,0 + 6,78 = 35,8 \text{ m}$  över mark (och  $35,8 - 10,0 = 25,8 \text{ m}$  över omgivande byggnader). De verkliga tornen når som högst 21 m över mark.

Av figur 2 och 3 framgår modellens utseende. Den geometriska modellen innebär sammanfattningsvis ingen approximation av betydelse när det gäller anläggningens geometri. Denna likhet när det gäller verklighetens och modellens delytor gäller såväl överglasning och omgivande byggnader som delytorna däremellan.



Figur 2. Den överglasade delen av Skärholmens Centrum beskrivs förenklat med denna geometriska modell, där ① - ④ är numren på de rum (byggnader) som används. Glas A och B är glastak med 46° lutning mot öster respektive 20° lutning mot söder. Skärmtak A och B + C innehåller betong med mineralull urvärdigt respektive stålbjalkar, plåt och mineralull. Se även figur 3. Mått i meter. Skala 1:2000.

MOI NORR



Figur 3. Den geometriska modellens delytor mot norr och söder, där ① – ④ är numren på de rum (byggnader) som används. Sarger B motsvarar i Skärholmens Centrum de mineralullsisolerade sarger som ansluter glastaken över Lillholms- och Byholmsgången med skärmtaken. Se även figur 2. Skala 1:1000.

## Datormodellens delytor

I tabell 1 har sammanställts modellens samtliga ytor, varav en del även framgår av figurerna 2 – 3. Delytorna för modellen enligt tabell 1 motsvarar praktiskt taget de verkliga delytorna. Några mindre (försumbara) justeringar har dock gjorts för att undvika att onödiga små delytor införs. Skärmtaken har tre stycken olika konstruktioner. Skärmtak med konstruktion A har betong närmast överglasningen, vilket har betydelse för den tillgängliga värmekapaciteten. Skärmtak med konstruktion B och C saknar dock betong och är relativt lika, varför dessa delytor har slagits ihop och beskrivs av samma konstruktion.

Tabell 1. Samtliga huvudytor och delytor för den geometriska modellen. Varje rum (byggnad) har sex huvudytor, se figur 1. Jämför även med figur 2–3. Beskrivningen av huvudytor avser de delar av huvudytorerna som återstår sedan eventuella delytor dragits ifrån. (Forts. på nästa sida.)

Huvud- yta nr	Delyta nr	Vägg nr	Föns- ter nr	Area m <sup>2</sup>	Beskrivning
<u>Rum 1: Överglasning</u>					
1			1	1 130	Tak av 3-skikts plastpanel.
2			2	70	Glasning (2-glas) mot norr.
3		1		1 456	Vägg mot rum 3.
4		2		3 947	Golv mot lastgator.
5			3	70	Glasning (2-glas) mot söder.
6		3		1 456	Vägg mot rum 4.
1	7	4		661	Skärmtak B+C.
1	8	5		1 219	Skärmtak A.
1	9		4	228	Glastak (2-glas). Glas B. Egentligen 20° lutning mot söder.
1	10		5	460	Glastak (2-glas). Glas A. Egentligen 46° lutning mot öster.
1	11	6		249	Tak mot rum 2.
3	12	7		1 065	Skyltfönster (enkelglas) mot rum 3.
3	13	8		74	Fönster, glasdelen (2-glas) m. rum 3.
6	14	9		1 065	Skyltfönster (enkelglas) mot rum 4.
6	15	10		74	Fönster, glasdelen (2-glas) m. rum 4.
<u>Rum 2: Torn</u>					
1		11		249	Tak.
2			6	233	Glasning (2-glas) mot norr.
3			7	217	Glasning (2-glas) mot väster.
4				249	Golv mot rum 1.
5			8	233	Glasning (2-glas) mot söder.
6			9	393	Glasning (2-glas) mot öster.
2	7	12		66	Sarger B mot norr.
3	8	13		99	Sarger B mot väster.
3	9	14		384	Skärmtak B+C (vertikalt) mot väster.
5	10	15		66	Sarger B mot söder.
6	11	16		308	Sarger A mot öster.

Tabell 1. (forts.).

Huvud- yta nr	Delyta nr	Vägg nr	Föns- ter nr	Area m <sup>2</sup>	Beskrivning
<u>Rum 3: Hus mot väster</u>					
1		17		10 828	Tak.
2		18		40	Vägg mot norr.
3		19		3 245	Vägg mot väster.
4		20		10 828	Golv mot källarvåning.
5		21		56	Vägg mot söder.
6		22		930	Vägg mot öster.
2	7		10	243	Skyltfönster (enkelglas) mot norr.
3	8		11	293	Skyltfönster (enkelglas) mot väster.
3	9		12	292	Fönster, glasdelen (2-glas) m. väster.
5	10		13	162	Skyltfönster (enkelglas) mot söder.
5	11		14	65	Fönster, glasdelen (2-glas) m. söder.
6	12			1 065	Skyltfönster (enkelglas) mot rum 1.
6	13			74	Fönster, glasdelen (2-glas) m. rum 1.
6	14			1 456	Vägg mot rum 1.
6	15		15	303	Fönster, glasdelen (2-glas) mot öster.
<u>Rum 4: Hus mot öster</u>					
1		23		10 828	Tak.
2		24		129	Vägg mot norr.
3		25		586	Vägg mot väster.
4		26		10 828	Golv mot källarvåning.
5		27		56	Vägg mot söder.
6		28		3 089	Vägg mot öster.
2	7		16	154	Fönster, glasdelen (2-glas) mot norr.
3	8			1 065	Skyltfönster (enkelglas) mot rum 1.
3	9			74	Fönster, glasdelen (2-glas) m. rum 1.
3	10			1 456	Vägg mot rum 1.
3	11		17	355	Skyltfönster (enkelglas) mot väster.
3	12		18	292	Fönster, glasdelen (2-glas) m. väster.
5	13		19	162	Skyltfönster (enkelglas) mot söder.
5	14		20	65	Fönster, glasdelen (2-glas) m. söder.
6	15		21	303	Fönster, glasdelen (2-glas) mot öster.
6	16	29		438	Fönsterbågar och karmar mot öster.

Delytorna har fördelats praktiskt taget lika mellan hus 3 och 4, varigenom transmissionsförluster och solinstrålning blir praktiskt taget lika för de två husen. Genom att även övriga indata för dessa hus är desamma bör skillnaderna mellan hus 3 och 4 bli försumbara både när det gäller temperaturförhållanden och energibehov.

Samtliga ytor beskrivs i indata till BRIS som antingen "vägg" eller "fönster" med löpande numrering, se tabell 1. Som "vägg" beskrivs alla ytor i såväl väggar som bjälklag som inte transmitterar solstrålning. För varje vägg anges tjocklek för ingående material, vilka i sin tur indelas i ett eller flera delskikt. För varje material anges antal delskikt och följande materialdata (alternativt ges en kodsiffra för ett vanligt byggnadsmaterial, varvid BRIS beräknar antal delskikt och använder lagrade materialdata):

- värmekonduktivitet,  $\lambda$ , W/m °C
- densitet,  $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>
- specifik värmekapacitet,  $c$ , J/kg °C.

Omgivande byggnaders ytterväggar är i de flesta fall isolerade med 8 cm mineralull och har 8 cm betong både in- och utvändigt, vilket även gäller de f d ytterväggar som nu vetter mot överglasningen. Omgivande byggnaders tak har 10 cm mineralull medan de isolerade tak och sarger som omger överglasningen har 10 – 16 cm mineralull.

Som tidigare nämnts gör BRIS en iterativ beräkning med finita differenser. Detta innebär att Fouriers tal har stor betydelse, se t ex Adams och Rogers (1973). Fouriers tal,  $Fo$ , är en dimensionslös storhet som i detta fall definieras:

$$Fo = \frac{a \cdot \Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (1)$$

- där  $a$  = temperaturledningstal (termisk diffusivitet), m<sup>2</sup>/s  
 $\Delta t$  = tidssteget (beräkningssteget),  $d$  v s intervallet mellan de tidpunkter för vilka beräkningarna görs, s  
 $\Delta x$  = delskiktets tjocklek, m.

I Adams och Rogers (1973) används även namnet "Fourier number increment", när man som här avser en tidsskillnad och ett avstånd mellan två noder (motsvaras i detta fall av tidssteg respektive delskiktets tjocklek).



Temperaturledningstalet,  $a$ , beror på materialdata enligt:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (2)$$

där  $\lambda$ ,  $\rho$  och  $c$  framgår ovan.

Temperaturledningstalet anger hur fort en temperaturutjämning sker i materialet. Nämnaren i ekv (2) motsvarar specifik värmekapacitet per volymsenhet,  $J/kg\ m^3$ . Ett material utjämnar alltså en temperaturskillnad långsammare med lägre värmekonduktivitet och högre specifik värmekapacitet per volymsenhet. För många byggnadsmaterial gäller att låg värmekonduktivitet även motsvaras av låg specifik värmekapacitet per volymsenhet och tvärtom, varför t ex betong och mineralull (med  $\rho \approx 70\ kg/m^3$ ) faktiskt har ungefär samma temperaturledningstal. För de flesta byggnadsmaterial är vidare den specifika värmekapaciteten av samma storleksordning, varför hög densitet (t ex för betong) i praktiken även motsvarar hög specifik värmekapacitet per volymsenhet. Av vanliga byggnadsmaterial har trä lägst temperaturledningstal, d v s trä "reagerar" mycket långsamt på ändrade temperaturförhållanden.

Fouriers tal för ett delskikt enligt ekv (1) kan inverka på två sätt. Ett alltför litet värde, t ex alltför stor tjocklek, medför sämre beräkningsnoggrannhet. Ett alltför stort värde, t ex alltför liten tjocklek, medför risk för instabilitet i beräkningarna, d v s att ökat antal iterationer inte successivt minskar skillnaden mellan resultaten. I Bring (1982) ges vissa riktlinjer för maximal tjocklek för delskikt av olika material, t ex 4 – 5 cm för betong med tidssteget 30 minuter. Här används genomgående tidssteget 1 timme, vilket ökar nämnda tjocklek med en faktor  $\sqrt{2}$  till 6 – 7 cm. Enligt erfarenheter av Isfält (1992) är instabilitet normalt inget problem för betong ned till ca 1 cm tjocklek med tidssteget 1 timme. I det följande används Fouriers tal med 1 cm respektive 7 cm betong som utgångspunkt för att bedöma lämplig tjocklek för delskikt av olika material, se tabell 2.

I tabell 2 framgår även materialdata för några av de byggnadsmaterial som använts. Trä har lägst temperaturledningstal, vilket medför att även lämplig skiktjocklek har lägsta värden för trä. Stål har mycket högt  $\lambda$ -värde vilket medför mycket högt temperaturledningstal och att skiktjockleken inte bör understiga ca 45 mm med givna förutsättningar. Att i modellen ange verkliga 0,7 mm stålplåtar är därför mycket olämpligt p g a risk för instabilitet. Stål har därför undvikits i detta fall, men värmekapaciteten är ändå medräknad genom att t ex den invändiga betongens värmekapacitet ökats i motsvarande grad.

Tabell 2. Sammanställning av data för några av de material som används i detta fall. Som jämförelse har även stål tagits med. Temperaturledningstalet,  $a$ , definieras av ekv. (2). Lämplig tjocklek,  $\Delta x$ , för ett skikt av varje material har beräknats utifrån Fouriers tal (se ekv. 1) för 10 och 70 mm betong med tidssteget 1 timme,  $d$  v s  $0,54 \leq Fo \leq 27$ . De flesta värden på  $\lambda$ ,  $\rho$  och  $c$  har tagits från Bring (1982).

Material	$\lambda$ W/m °C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c$ J/kg °C	$\rho \cdot c$ kJ/m <sup>3</sup> °C	$a$ m <sup>2</sup> /s	$\Delta x$ , min-max mm
Trä	0,14	500	2300	1150	$0,12 \cdot 10^{-6}$	4 – 28
Gips	0,22	900	840	760	$0,29 \cdot 10^{-6}$	6 – 44
Glas	0,8	2600	840	2180	$0,37 \cdot 10^{-6}$	7 – 49
Betong	1,5	2300	880	2020	$0,74 \cdot 10^{-6}$	10 – 70
Betong <sup>1)</sup>	3,0	2300	1760	4050	$0,74 \cdot 10^{-6}$	10 – 70
Mineralull <sup>2)</sup>	0,05	50	750	38	$1,33 \cdot 10^{-6}$	13 – 94
Stål <sup>3)</sup>	60	7850	500	3920	$15,29 \cdot 10^{-6}$	45 – 318

- 1) Fördubblad  $\lambda$  och  $c$  för att simulera ökad värmekapacitet utan att förändra betongens temperaturledningstal.
- 2) Inklusivt köldbryggor.
- 3) Stål undveks i detta fall.

I de överglasade gågatorna är de allra flesta stålpelare och stålbalkar (utom de som är inbyggda i skärmtak) och limträbalkar fritt exponerade mot luften,  $d$  v s tillgängliga för värmelagring under en dygnssvängning. Stålpelare och stålbalkar (av konstruktionsstål SIS 1412) utgör 117,6 ton. Uppskattningsvis är 80 % av dessa tillgängliga för värmelagring;  $0,80 \cdot 117,6 = 94,1$  ton stål motsvarande  $12,0 \text{ m}^3$ . Dess värmekapacitet blir  $0,500 \cdot 94,1 = 47,0 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$ . Limträbalkar (av kvalitet L 40) utgör 13,2 ton motsvarande  $26,4 \text{ m}^3$ . I princip är alla limträbalkar tillgängliga för värmelagring och dess värmekapacitet blir  $2,300 \cdot 13,2 = 30,4 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$ . Totalt motsvarar detta stål och trä värmekapaciteten  $77,4 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$ .

Hänsyn till denna värmekapacitet hos stål och trä tas i den geometriska modellen genom att öka den specifika värmekapaciteten,  $c$ , för betongen på ena väggen som vetter mot överglasningen; rum 1 huvudyta nr 3 (exkl deltyr). Areal  $1\,456 \text{ m}^2$  och 80 mm betong  $\Rightarrow 116,5 \text{ m}^3$  eller 268 ton betong

vars  $c$  ökas  $77\,400 / 268 = 290 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ , d v s från 880 (se tabell 2) till  $1\,170 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ . På motsvarande sätt har värmekapaciteten för invändig stålplåt i tornet (rum 2) medräknats genom att den invändiga gipsskivans specifika värmekapacitet ökats från 840 till  $1\,200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ .

I verkligheten motsvaras rum 3 och 4 av sex byggnader med två eller tre våningar och ett stort antal rum. Tillgänglig värmekapacitet blir därför väsentligt större för de verkliga byggnaderna än för de teoretiska rum 3 och 4, där ju mellanbjälklag, mellanväggar, pelare och inredning saknas. Betong med fördubblad  $\lambda$  och  $c$  och ungefär fördubblat inre konvektivt värmeövergångstal används därför i detta fall för samtliga invändiga betongskikt i rum 3 och 4. Härigenom fördubblas tillgänglig värmekapacitet, t ex vid dygnssvängning, eftersom temperaturledningstalet samtidigt är oförändrat. Att uppskatta verklig tillgänglig värmekapacitet är här liksom i de flesta fall svårt beroende på bl a inredning och att ett fritt värmeutbyte med invändiga betongytor i många fall försvåras av olika ytskikt, innertak, mattor m m. Den fördubblade värmekapaciteten i detta fall motsvarar en grov uppskattning för att simulera verklig värmekapacitet. Att den invändiga betongens  $\lambda$ -värde fördubblats har försumbar inverkan på transmissionsförlusterna.

Värmeisoleringen utgörs i samtliga fall av mineralull. Väg- och takkonstruktioner i såväl de äldre omgivande byggnaderna som i den nyare överglasningen (dess utskjutande tak och sarger) innehåller köldbryggor av stål, betong och trä av olika omfattning. Hänsyn till dessa köldbryggor har i detta fall tagits genom ett högre  $\lambda$ -värde för skikten med mineralull; för de flesta väggar och tak används  $\lambda = 0,05 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  i stället för  $\lambda = 0,03 - 0,04$  som gäller för enbart mineralull. Det ekvivalenta  $\lambda$ -värdet 0,05 är ett grovt uppskattat medelvärde för aktuella konstruktioner.

För fönster anges avskärmningsfaktorer för såväl direkt som totalt transmitterad solstrålning, och dessutom  $U$ -värde (värmegenomgångskoefficient). För skyltfönster med enkelglas används här  $U$ -värdet  $5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Värmetransmissionen genom enkelglas beror nästan helt på inre och yttre värmeövergångstal, varför  $U$ -värdet i praktiken inte är konstant.  $U$ -värdet  $5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  gäller om medelvärdet av inre + yttre värmeövergångsmotstånd är  $0,2 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ . För 2-glasfönstrens glasdel används  $U$ -värdet 2,7, medan fönsterbågar + karmar har slagits ihop till en enda över  $400 \text{ m}^2$  stor delyta, se tabell 1. Denna delyta har förenklat beskrivits med 6 cm trä, vilket motsvarar  $U$ -värdet ca 1,5.

Glastak och vertikala glaspartier med 2-glas isolerrutor har s k brutna köldbryggor. I praktiken har man dock vissa köldbryggor p g a genomgående

skruvar och konsoler av aluminium som bär isolerrutorna, se t ex figur 10.2. Dessutom innebär distansprofilen av aluminium mellan isolerrutornas glas en köldbrygga som inte är försumbar, se t ex den förenklade beräkningsmetoden enligt Dreier et al. (1985) och mätresultat enligt Troedsson (1988). Här används det genomsnittliga U-värdet 3 för glastak och vertikala glaspartier inklusive dessa köldbryggor.

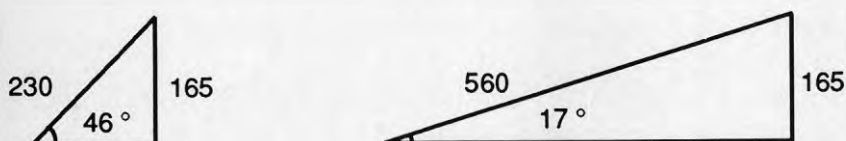
Som tidigare nämnts finns möjligheten att luta ytor för att erhålla rätt solinstrålning och därmed rätt solvärmeinläckning bara för huvudytor och inte för delytor. Överglasningens tak, dvs rum 1 yta nr 1, kan därför inte delas upp i delytor när det gäller infallande solstrålning. I taket ingår dock egentligen 228 m<sup>2</sup> glastak som lutar 20 ° och vetter mot söder och 460 m<sup>2</sup> glastak som lutar 46 ° och vetter mot öster.

Den skuggning som i detta fall erhålls främst av omgivande byggnader går inte att beskriva på ett bra sätt med en horisontavskärmning, eftersom geometrin är komplicerad. En grov uppskattning av verklig solavskärmning för såväl överglasning som omgivande byggnader har därför i stället gjorts genom att anpassa värdena på avskärmningsfaktorerna F1, se tabell 3. Det mycket låga värdet 15 % för plastpanelen motiveras både av att materialet i sig har låg avskärmningsfaktor och av att plastpanelen större delen av dagen ligger i skugga från omgivande byggnader och dess skärmtak.

*Tabell 3. Sammanställning av alla delytor i överglasningens tak som vetter mot det fria (delytor till huvudyta nr 1 i rum 1). Avskärmningsfaktorn F1 är totalt transmitterad strålning i % av totalt transmitterad strålning genom två rutor av vanligt fönsterglas. Orientering anges i ° avvikelse från söder, där väster resp. öster motsvarar 90 resp. -90 °.*

Delyta	Yta nr	A, m <sup>2</sup>	Lutn., °	Orient., °	F1, %	F1·A, m <sup>2</sup>
Skärmtak B+C	7	661	0	Hor.	0	0
Skärmtak A	8	1219	0	Hor.	0	0
Glas B	9	228	20	-6	70	160
Glas A	10	460	46	-96	50	230
Plastpanel	1	1130	0	Hor.	15	170
						Σ 560

I det följande försummas att en mindre del av glastaket lutar  $20^\circ$  mot söder. Däremot tas hänsyn till att en del av glastaket lutar  $46^\circ$  mot öster genom att hela huvudytan ges en viss lutning mot öster. Denna lutning bestäms utifrån villkoret att den totala projicerade vertikala ytan (motsvarande "ren" 2-glas-yta, d v s  $F1 \cdot A$ ) mot öster är densamma som i verkligheten, se figur 4.



Figur 4. En begränsning i BRIS är att endast huvudytor kan ges en lutning vid beräkning av solvärmeinläckning. I detta fall motsvaras därför inverkan av att en delyta i verkligheten lutar  $46^\circ$  i den geometriska modellen av att hela huvudytan lutar  $17^\circ$ . Denna omräkning har gjorts utifrån del- respektive huvudykans  $F1 \cdot A$ , d v s produkten av avskärningsfaktor och area, se även tabell 3:

$$560 \cdot \sin x^\circ = 230 \cdot \sin 46^\circ = 165 \text{ m}^2$$

$$x = \arcsin 165 / 560 = \underline{17^\circ}.$$

Som indata anges alltså  $17^\circ$  lutning för hela huvudyta nr 1 i rum nr 1 och dess orientering  $-96^\circ$ . På detta sätt erhålls solvärmeinläckning från öster som på ett godtagbart sätt motsvarar verkligheten, även om solvärmeinläckningens vinkelberoende medför att detta i viss mån är en approximation.

## Övriga indata

När det gäller luftbehandling finns i BRIS möjligheten att använda två olika luftflöden per rum, varav det ena kan avse överluft från ett annat rum. Använda luftflöden i detta fall framgår av tabell 1 o s v lite längre fram. För överglasningen, rum 1, avser det ena luftflödet summan av mekanisk tilluft och luftläckning, och det andra avser överluftsflödet från omgivande byggnader. För att simulera inverkan av tornet, rum 2, var den ursprungliga tanken att använda ett tredje luftflöde, nämligen ett överluftsflöde från torn till överglasning, som ju i verkligheten har ett fritt luftutbyte.

Eftersom det inte går att använda tre luftflöden per rum har i stället tornets inverkan simulerats genom ett mycket högt värmeutbyte genom den fiktiva vägg (golv/tak) med ytan  $249 \text{ m}^2$  som utgör gräns mellan torn och överglasning. Denna fiktiva konstruktion har försetts med 10 cm betong med en värmekonduktivitet som är  $150 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ , d v s 100 ggr verkligt värde för betong. Detta motsvarar värmemotståndet för endast 1 mm betong, men när det gäller Fouriers tal erhålls likhet med 1 cm betong, vilket bör vara acceptabelt med hänsyn till risk för instabilitet i beräkningarna, se tabell 2.

Det konvektiva värmeövergångstalet har satts till  $100 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  på båda sidor om den fiktiva konstruktionen, som då erhåller U-värdet ca  $50 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Detta motsvarar den specifika värmetransporten ca  $12 \text{ kW/}^\circ\text{C}$  mellan torn och överglasning, vilket är samma värmetransport som skulle erhållas med överluftsflödet  $36\,000 \text{ m}^3/\text{h}$  åt båda håll. Detta överluftsflöde erhålls t ex med lufthastigheten  $0,1 \text{ m/s}$  genom den verkliga kontaktytan ( $216 \text{ m}^2$ ), om flödet åt vardera hållet fördelas på halva ytan. Den värmetransport som erhålls genom den fiktiva ytan tycks härigenom ha rimlig storlek i förhållande till verkligt överluftsflöde mellan torn och överglasning, där dock det verkliga flödet är okänt och säkerligen varierar med tiden.

Horisontavskärmningen har satts till konstant  $10^\circ$  över horisonten (vilket enligt Troedsson (1988) "kan anses som ett typiskt värde i mera tätbebyggda områden"). I stället har hänsyn tagits till den solavskärmning som omgivande byggnader ger genom anpassade värden på avskärmningsfaktorerna, se t ex tabell 3. Med dessa olika avskärmningsfaktorer erhålls en mycket grov uppskattning av verklig solavskärmning.

Markens reflektion av solstrålning kan i praktiken variera, och blir t ex tillfälligt hög när marken täcks av snö. Här har antagits att markens reflektionsfaktor är  $0,2$  i genomsnitt, ett värde som även används av Bring (1982), Isfält (1988) och Troedsson (1988).

Vid beräkning av strålningsutbytet mellan rummens delytor antas i BRIS att den långvågiga värmestrålningen absorberas helt, d v s att reflektionsfaktorn är  $0$  för samtliga delytor. När det gäller kortvågig strålning (synligt ljus) från sol och belysning anger man däremot individuella reflektionsfaktorer för samtliga delytor.

Vertikala temperaturgradienter i verkliga rum är mycket svåra att beräkna teoretiskt, se t ex Olesen (1988). I BRIS räknar man normalt med samma (genomsnittliga) temperatur i hela rummen. Man kan dock även ange att temperaturen vid golv och tak avviker från genomsnittet, vilket påverkar den konvektiva värmeöverföringen vid golv- och takytor (inte väggytor). Utifrån

mätresultat, se avsnitt 5.2.4, har antagits att lufttemperaturen invid golv resp. tak är 1 °C lägre resp. högre än genomsnittet för överglasning och torn (rum 1 och 2), medan ingen gradient har antagits för omgivande byggnader (rum 3 och 4).

Tre olika "fasader" anges för de olika ytornas utsidor:

- 1. mot det fria
- 2. mot lastgator
- 3. mot källarvåning.

För fasaderna mot det fria anges absorptionsfaktorn 0,7 för solstrålning. Lufttemperatur i lastgator antas utifrån mätningar 14 °C november till mars och 18 °C april till oktober, se även avsnitt 5.2.6. I källarvåningen antas 18 °C konstant.

För de storheter för vilka föreskrivs olika värden under dygnet hänvisar man i BRIS till indata uppställda i särskilda tabeller. I detta fall används 9 tabeller, vilka kortfattat beskrivs i det följande. Värdena i dessa tabeller avser medelvärden för veckans sju dagar (möjligheten finns även att ange andra värden för sön- och helgdagar). Indata till de beräkningar som redovisas i avsnitt 7.5.2 avser vardagar, varför främst drifttider inte exakt motsvarar följande värden. Luftflöden anges som indata egentligen i kg/h, medan den vanligare enheten m<sup>3</sup>/h används i det följande. De luftflöden som anges har naturligtvis mycket stor betydelse, se även kapitel 6. Värden som gäller för rum 3 och 4 avser här summorna, vilka sedan fördelats med 50 % vardera till rum 3 och 4.

**Tabell 1 (rum 1): Läckluft, kg/h.** Tabellens "läckluft" motsvarar här all luft som tillförs överglasningen utom överluft. Värdena är oberoende av veckodag. Mekanisk tilluft ingår dagtid 13 h/dygn med 25 % av verkligt flöde, p g a värmeväxling med 75 % temperaturverkningsgrad, vilket motsvarar  $0,25 \cdot 20\,600 = 5\,150$  m<sup>3</sup>/h. Det har antagits att verkligt = projekterat flöde 20 600 m<sup>3</sup>/h.

Antagen luftläckning ingår både med ett konstant värde, 2 900 m<sup>3</sup>/h (0,1 oms/h) dagtid och 5 800 m<sup>3</sup>/h (0,2 oms/h) nattetid. Dessutom tillkommer ytterligare ett värde dagtid 13 h/dygn, 3 500 m<sup>3</sup>/h, p g a luftläckning genom ytterentréer. De sex ytterentréernas effektiva area är 39 m<sup>2</sup> och det har antagits 0,05 m/s i genomsnitt in/ut genom respektive 39/2 m<sup>2</sup>. Totalt erhålls 11 600 m<sup>3</sup>/h kl 9–22 och 5 800 m<sup>3</sup>/h kl 22–9.

**Tabell 2 (rum 1): Personvärme, W.** Värmeavgivningen antas 120 W per person i genomsnitt, vilket motsvarar aktiviteten ca 1,2 met, se avsnitt 4.1.1. Kl 9–11 och kl 17–22 antas 50 personer (80 m<sup>2</sup>/person) vilket medför 6 kW. Kl 11–17 antas 250 personer (16 m<sup>2</sup>/person) vilket medför 30 kW. Övriga tider vistas inga människor under överglasningen. Jämför även figur 11.1, där man på grund av julhandeln hade betydligt fler besökare. Personvärmens tillför totalt 222 kWh/dygn.

**Tabell 3 (rum 1): Belysningseffekt, W.** Denna inkluderar här även värmestillskott från tilluftsfläktar och entrévärmare. Utifrån observationer antas att i genomsnitt 95 % av lamporna är hela och att de fyra olika typer av lampor som finns varit tända mellan olika tidpunkter med även viss nattbelysning kl 22–8. Belysningseffekten varierar under dygnet mellan 10 och 25 kW. Av tilluftsfläktarnas elförbrukning antas att 90 % blir värme som tillförs rummet, vilket motsvarar 6,7 kW kl 8–22.

Entrévärmarna har totalt 81,2 kW el installerat (80 kW värme och 1,2 kW fläkteffekt). Eftersom dessa entrévärmare (12 st) styrs av individuella termostater är den genomsnittliga värmeavgivningen svår att uppskatta. En ytterligare komplikation är att all värmeavgivning från entrévärmarna inte tillförs rummet, eftersom en del av värmen försvinner direkt p g a exfiltration genom ytterentréerna. Utifrån observationer m m antas att 25 % av 81,2 kW, d v s 20,3 kW, tillförs rummet varje dag kl 8–22 från november till mars.

November till mars blir tillförd energi totalt 805 kWh/dygn och april till oktober 520 kWh/dygn. Detta motsvarar mellan 2,5 och 13 W/m<sup>2</sup> golvarea vid olika tidpunkter under dygnet. Mer än hälften av denna tillförda energi kommer från belysningen.

**Tabell 4 (rum 1): Tilluftsmängd, kg/h.** Överluft från rum 3 (om rum 3 eller 4 anges har ingen praktisk betydelse, eftersom temperaturförhållandena är praktiskt taget desamma i dessa rum). Detta luftflöde sker från omgivande byggnader (butiker) till de överglasade gågatorna genom öppna butiksentréer dagtid. Grovt medelvärde utifrån mätningar är 17 m<sup>3</sup>/s under butikernas öppettid, i genomsnitt 8,3 h/dygn. Detta motsvarar  $17 \cdot 3600 \cdot 8,3/8 = 63\,500$  m<sup>3</sup>/h under 8 h/dygn, kl 9–17.

**Tabell 5 (rum 3 och 4): Läckluft, kg/h.** Denna "läckluft" motsvarar här liksom i tabell 1 all luft som tillförs rummet utom överluft, d v s tilluft + luftläckning. Luftläckningen har antagits 22 100 m<sup>3</sup>/h (0,1 oms/h) dygnet runt. Mekanisk ventilation motsvarar 365 500 m<sup>3</sup>/h i genomsnitt 9,8 h/dygn, där denna i de flesta butiker bestäms av ett tilluftsflöde som är större än frånluftsflödet.



Överluft från rum 1 motsvarar 21 600 m<sup>3</sup>/h i genomsnitt 8,3 h/dygn enligt tabell 8, vilket förutsätts ersätta motsvarande mängd infiltration av uteluft (i de butiker där det mekaniska frånluftsflödet är större än tilluftsflödet). Totalt erhålls 380 300 m<sup>3</sup>/h kl 7–9, 357 900 m<sup>3</sup>/h kl 9–17 och 22 100 m<sup>3</sup>/h kl 17–7.

**Tabell 6 (rum 3 och 4): Personvärme, W.** Liksom i tabell 2 antas 120 W per person. Totala värden för omgivande byggnader med totalt 47 200 m<sup>2</sup> golvarea blir 2 520 kWh/dygn.

Kl 8–10 och kl 17–22 antas 600 personer (80 m<sup>2</sup>/person) vilket medför 72 kW. Kl 10–17 antas 2 400 personer (20 m<sup>2</sup>/person) vilket medför 288 kW. Övriga tider vistas inga människor i omgivande byggnader.

**Tabell 7 (rum 3 och 4): Belysningseffekt, W.** Inkluderar all el som används i omgivande byggnader med totalt 47 200 m<sup>2</sup> golvarea. Belysningseffekten har antagits variera mellan 2 och 20 W/m<sup>2</sup> golvarea under dygnet och totalt erhålls 9 200 kWh/dygn.

**Tabell 8 (rum 3 och 4): Tilluftsmängd, kg/h.** Överluft från rum 1. Detta luftflöde sker från de överglasade gågatorna till omgivande byggnader (butiker) genom öppna butiksentréer dagtid. Grovt medelvärde utifrån mätningar är 6,0 m<sup>3</sup>/s under butikernas öppettid, i genomsnitt 8,3 h/dygn.  $6,0 \cdot 3600 \cdot 8,3/8 = 22\,400$  m<sup>3</sup>/h under 8 h/dygn. I de flesta fall sker dock överluftsflödet åt andra hållet, varför detta motriktade flöde är ca tre gånger så stort, se tabell 4.

Beräkningsmässigt fungerade det inte med motriktade riktiga överluftsflöden, varför detta överluftsflöde från överglasning till butiker simulerades med samma luftflöde, men med konstant 18 °C. Denna förenkling har försumbar inverkan på omgivande byggnaders energibalans, dels eftersom skillnaden mellan 18 °C och överglasningens temperatur dagtid under uppvärmningssäsongen är relativt liten, och dels för att detta överluftsflöde motsvarar mindre än 6 % av all tilluft till omgivande byggnader.

**Tabell 9 (rum 3 och 4): Rumsluftens temperatur, °C.** Detta är den minimitemperatur som gäller för uppvärmningssystemet i omgivande byggnader; 21 °C dagtid kl 7 – 17 och 19 °C övrig tid. Jämför med mätresultaten enligt tabell 5.2.



**R18:1993**

ISBN 91-540-5536-9

Bygghälsö, Stockholm

Art.nr: 6813018

Abonnemangsgrupp:

Y. Byggnadsfunktion

Z. Konstruktioner  
och material

Distribution:

Svensk Byggtjänst

171 88 Solna

Cirkapris: 157 kr inkl moms